

УДК 550.34.01

ЖУРАВСКИЙ М. Н., к.т.н. (Национальный университет гражданской защиты Украины),
МОРОЗОВА Г. В., к.т.н., доцент (Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта)

Методы определения параметров геофизических явлений природного и искусственного происхождения на сейсмических станциях Службы специального контроля Государственного космического агентства Украины

В практике работы Службы специального контроля Государственного космического агентства Украины применяется несколько основных методов определения постоянных и характеристик сейсмической аппаратуры. В статье проведено экспериментальное исследование этих методов. Также выполнен анализ точности определения параметров сейсмических явлений природного и искусственного происхождения.

Ключевые слова: служба специального контроля, методы определения постоянных и характеристик сейсмической аппаратуры, амплитудная и фазовая характеристики, адаптивная обработка.

Постановка проблемы

Начало XXI столетия характеризуется глобальными переменами в геополитической картине мира, которые привели, в частности, к изменению военно-политических условий, сложившихся в мире.

Ведущие государства мира (США, Россия, Франция, Англия, Италия, Китай, Япония и др.) все шире используют средства сейсмического контроля в военных целях, постоянно наращивают свою военную технику за счет создания и развертывания сейсмических систем нового поколения, которые обеспечивают армии этих и союзных им государств разведывательной, топогеодезической информацией [1, 2].

В настоящее время традиционные способы получения информации, необходимой для укрепления национальной безопасности, если не близки к границам своих возможностей, то практически заранее известны как по характеру, так и по последовательности шагов (мероприятий). Поэтому все большее внимание отводится поиску новых источников информации и способов ее извлечения из явлений, которые происходят в окружающем пространстве [1-3].

В условиях активного противодействия противника всем видам разведки, вопросы обнаружения геофизических явлений искусственного и природного происхождения в последнее время приобретают все большую актуальность. Для выявления геофизических явлений используются сейсмические средства Службы специального контроля (ССК) при Государственном космическом агентстве Украины (ГКАУ).

© М. Н. Журавский, Г. В. Морозова, 2017

При необходимости уточнения разведывательной информации, которая получена от других источников, огромную роль может сыграть сеть наблюдения ССК. Она обладает такими уникальными возможностями, как: скрытность работы, оперативность получения данных, непрерывность регистрации информации при использовании различных физических принципов. Такими возможностями в настоящее время не обладает ни один из известных видов современной технической разведки. Особое значение приобретает такого рода информация при оценке обстановки в районах расположения потенциально опасных объектов (АЭС, химических предприятий, железнодорожных магистралей, автодорог и т. д.).

Вопросы обнаружения геофизических явлений искусственного и естественного происхождения в последнее время приобретают все большую актуальность. Для обнаружения геофизических явлений используются сейсмические средства ССК при ГКАУ. Обнаружение и правильная интерпретация сейсмических сигналов от геофизических явлений – важные составляющие при решении таких задач ССК, как сейсмический мониторинг проведения испытаний ядерного оружия, обнаружение опасных техногенных аварий и катастроф (взрывы на АЭС и крупных промышленных объектах), землетрясений в сейсмоопасных районах. Особое значение имеет использование сейсмических средств ССК в качестве источника информации о перемещениях войск, нанесении ракетно-бомбовых ударов, стартах баллистических ракет, взлетах-посадках самолетов [1, 2, 4].

Дальнейшие шаги совершенствования средств ССК неразрывно связаны со всесторонним изучением

пространственно-временной структуры сигналов, особенностей их распространения, спектрального состава, корреляционных свойств с целью установления новых информативных параметров сигналов, свидетельствующих о повышенной военной активности разведываемой стороны, а широкий набор средств, которые имеются в распоряжении ССК, позволит добывать и поставлять информацию, в том числе и в интересах Вооруженных Сил Украины.

В настоящее время в отечественной сейсмологии, как правило, регистрация сейсмических явлений ведется аналоговой аппаратурой. Преобразование сигналов, приводящее к искажению, осуществляется в непрерывной области, а компенсация искажений проводится в цифровом виде [5, 6]. Для полной обработки и принятия решения о месте, времени и мощности геофизического события необходимо около 30 минут, что не удовлетворяет современным требованиям. Ведь для своевременного реагирования на событие необходимо время около 5 минут.

Кроме того, остро стоит задача не регистрировать факт (событие), а оперативно реагировать на него. Как следствие возникает необходимость ускорения процесса обработки сейсмических сигналов. Это возможно лишь при условии внедрения современных методов цифровой обработки информации и адаптивных алгоритмов [7-10].

Практически любое проявление жизнедеятельности человека на (вблизи) земной поверхности приводит к ее деформации, вызывая распространение сейсмических волн. Регистрация сейсмических волн и обработка зарегистрированных сейсмических данных позволяют судить об источнике этих волн, определять его параметры. Одним из наиболее важных параметров сейсмического источника является его местоположение. Существующие в настоящее время методы определения местоположения сейсмического источника не всегда обеспечивают приемлемую точность местоопределения.

В данной работе будут рассмотрены применяемые в настоящее время методы определения постоянных и характеристик сейсмической аппаратуры, проанализированы их основные достоинства и недостатки, предложены пути решения поставленной задачи.

Анализ литературы

В настоящее время развитию сейсмического метода регистрации отдается предпочтение в силу ряда причин. Это и развитая, самостоятельная инфраструктура сейсмических средств наблюдения. Это и особенности сейсмического метода наблюдений – относительная быстрота получения информации о том или ином сейсмическом событии в любом уголке Земного шара, несложная методика обработки

зарегистрированных геофизических событий, надежность средств сейсмического контроля. Нельзя забывать об уникальном расположении самой Украинской сейсмической группы на природной платформе, что обеспечивает сравнительно низкий уровень природных микросейсм [4, 11].

Известно, что для целей обнаружения и идентификации геофизических возмущений природного и техногенного характера, произведенных в различных средах, необходима регистрация волн различных типов – продольных, поперечных и поверхностных. Периоды колебаний этих волн при одном и том же событии различны [12]. Более того, периоды одних и тех же типов волн и соответствующие соотношения интенсивностей в объемных и поверхностных волнах при различных видах взрывов значительно различаются. Поэтому, даже при одних и тех же параметрах взрыва, особенно небольшой мощности, на эпицентральных расстояниях свыше 1000 км не всегда удается получить достаточно интенсивные записи различных объемных и поверхностных волн с помощью только одного комплекта сейсмоприемной аппаратуры. Это связано в основном с малым динамическим диапазоном аппаратуры регистрации и с наличием интенсивных микросейсм, и неидентичностью амплитудно-частотных характеристик одноименных каналов регистрации [12, 13].

На станциях обнаружения геофизических явлений природного и техногенного характера приходится устанавливать несколько комплектов аппаратуры, различной по техническим характеристикам (диапазон частот, чувствительность и т. д.). При этом особенно обращается внимание на идентичность комплексно-частотных характеристик (КЧХ) одноименных сейсмических каналов, разнесенных на поверхности Земли. Как правило, этим достигается однозначность пространственно-временной обработки (повышение суммарного выходного эффекта). Каждый из комплектов сейсмической аппаратуры настроен на оптимальные параметры для получения наиболее удовлетворительных записей либо объемных, либо поверхностных волн, и, кроме того, производить запись с различными (обычно двумя) уровнями увеличения.

Усовершенствование аппаратуры регистрации проводится главным образом в направлении придания ей большей чувствительности в определенном ограниченном диапазоне периодов [4, 7, 8]. Это обеспечивает повышение увеличения в 60-500 раз на периодах порядка 1 секунды. Однако, одновременно с этим возрастают требования к идентичности одноименных сейсмических каналов.

Например, длиннопериодные сейсмографы с применением режекторных фильтров и

гальванометрической записи обеспечивают на периодах порядка 10-25 секунд увеличение $(1-1,5) \cdot 10^4$.

В настоящее время наиболее информативной является регистрация сейсмических данных с использованием трехкомпонентных установок, датчики которых ориентированы в трех взаимно перпендикулярных направлениях. В процессе регистрации производится частотная фильтрация сигналов, запись сигналов и помех, визуальное определение оператором вступлений сейсмических волн, обработка с целью определения координат эпицентра геофизического явления, интерпретация полученных в ходе обработки результатов. Перспективным является переход на цифровые методы регистрации с последующей автоматической обработкой данных [7, 9, 13].

Каждый из датчиков трехкомпонентной установки регистрирует одну составляющую сигнала – проекцию полного смещения почвы на направление ориентации датчика. Выделение вступлений волн слабой интенсивности и их интерпретация часто бывают затруднены наложением микросейсмического шума и помех промышленного происхождения, приходящих с различных направлений. Ввиду того, что частотный диапазон микросейсмического шума и многих помех совпадает с частотой сигнала (0,5...5,0 Гц для объемных волн), проводимой частотной фильтрации оказывается недостаточно для уверенного выделения сигнала и его идентификации.

Поэтому, одной из основных задач, стоящих перед ССК, является обеспечение идентичности АЧХ и ФЧХ сейсмических каналов, которое может достигаться путем настройки уже готовых сейсмических каналов, совершенствования методик определения характеристик сейсмических каналов, устранения неидентичностей АЧХ и ФЧХ характеристик сейсмических каналов методами адаптивной обработки [7, 8, 9].

Цель статьи

В данной статье проводится анализ точности и достоверности существующих методов определения постоянных и характеристик сейсмической аппаратуры геофизических явлений природного и искусственного происхождения. Также приводятся результаты экспериментальных исследований этих методик и показано дальнейшее их влияние на определение характеристик геофизических явлений природного и искусственного происхождения. Кроме того, были предложены возможные пути дальнейших исследований.

Изложение основного материала

Быстрый рост городов, строительство крупных гидроэлектростанций и других важных объектов различного назначения в сейсмоактивных районах Украины,

разработка проблемы прогноза времени землетрясений и решение других важных научных и практических задач стимулирует расширение теоретических и экспериментальных сейсмологических исследований.

Показано, что к числу основных задач, возникающих при разработке сейсмической аппаратуры, относится оптимизация характеристик измерительных каналов и автоматизация накопления и обработки получаемой информации. Эти и другие, но технически сложные задачи необходимо решать в настоящее время, с учетом особенностей сейсмологических наблюдений и существующих возможностей. Необходимо широко внедрять уже известные в других областях методы и приемы обработки информации [5, 7, 8, 10].

Таким образом, основные направления развития сейсмической аппаратуры должны быть тесно связаны с задачами, стоящими перед сейсмологией. В силу специфики наблюдений и особенностей волновой картины на разных эпицентральных расстояниях предъявляются разные требования к аппаратуре сейсмических станций, входящих в группы, и станций для региональных и экспедиционных наблюдений.

Анализ волновой картины показывает, что сейсмическая аппаратура должна иметь суммарный динамический диапазон 120-140 дБ в диапазоне 0,005-5 Гц, с возможностью оперативной передачи информации к потребителям. Используемая сейчас сейсмическая аппаратура в полной мере не удовлетворяет требованиям, возложенным на нее.

Сейсмический метод представлен аппаратурой стандартных аналоговых каналов регистрации и частично аналого-цифровой аппаратурой сейсмического площадного группирования и позволяет регистрировать сигналы от региональных и глобальных сейсмических событий в диапазоне частот 0,025-2,5 Гц.

Требования, предъявляемые к получаемой информации, с развитием технических средств изменяются в сторону увеличения пороговой чувствительности, расширения динамического диапазона и полосы пропускания, одобрены разными странами и стандартизированы.

Установление природы сейсмического источника осуществляется на основе анализа всех зарегистрированных сигналов всех пунктов наблюдения и выделенных на этих сигналах типов сейсмических волн путем комплексного анализа.

Таким образом, при некачественной обработке зарегистрированных сигналов и неидентичных КЧХ сейсмических каналов (на этом этапе часть операций выполняется вручную) комплексный анализ приведет к существенным ошибкам. Они же приведут к значительным неточностям при оценке последствий геофизических явлений как искусственного, так и природного происхождения.

По аналогии между сейсмическими и звуковыми волнами внутренняя часть Земли никогда не бывает «тихая», а всегда до некоторой степени «шумит». Сейсмический шум состоит из сигналов, порожденных множеством источников, не имеющих отношения к землетрясениям или взрывам. Эти источники включают в себя другие землетрясения и их афтершоки, штормы на море, ветер и местную деятельность человека, например железнодорожное движение и движение по шоссе. Ветер и возмущения, вызванные человеческой деятельностью, порождают очень короткопериодный шум, измеряемый долями секунды; штормы на море возбуждают шум, имеющий максимум на периоде около 7 секунд; остающийся шум принадлежит непрерывному, распространенному по всей Земле фону от мелких землетрясений [14].

Большое значение имеет настройка частотных характеристик регистрирующей аппаратуры. Несмотря на необходимость тщательного выставления границы полосы частот, где происходит обнаружение сейсмических сигналов, реальные диапазоны регистрации сейсмических волн шире. Идет борьба за расширение частотного диапазона регистрации при сохранении чувствительности аппаратуры. Как показывает практика, требуется постоянная регулировка (подстройка) амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик в процессе регистрации с учетом условий реальной помеховой обстановки.

Кроме того, сейсмоприемники, входящие в группу, пространственно разнесены (от нескольких километров до нескольких десятков километров). И вследствие неоднородности грунта, на котором они расположены, характеристики этих сейсмоприемников будут неодинаковы. Поэтому возникает необходимость ориентирования сейсмоприемников на определенную структуру грунта.

Одним из наиболее перспективных путей решения данной проблемы является введение автоматизированного процесса настройки сейсмической аппаратуры.

Таким образом, можно сказать о том, что:

1. Настройка производится одинаково для комплектов одноименной аппаратуры (короткопериодной, длиннопериодной, широкополосной) в силу известной природы и вида шумов на соответствующих частотных диапазонах.

2. Существенным недостатком эксплуатируемой аппаратуры является ручной характер настройки, что не удовлетворяет современным требованиям.

3. Субъективный характер (правила) настройки аппаратуры, базирующийся на большом количестве эмпирических данных и сильно зависящий от местности расположения сейсмической аппаратуры, не может лечь в основу автоматизированного процесса настройки сейсмической аппаратуры.

В настоящее время большое внимание уделяется оптимизации пространственных структур одноименных сейсмических каналов, что дает толчок к исследованию способов размещения, пространственной настройки и совместной обработки сейсмических сигналов разнесенных пунктов приема, которые еще не получили достаточного развития.

Необходимо установить правило выбора кривых увеличения сейсмографов, вариантов установки, регулировки АЧХ и ФЧХ комплектов сейсмической аппаратуры (короткопериодных, широкополосных, длиннопериодных) и решить проблему выбора оптимальных параметров сейсмических каналов для автоматизации процесса обнаружения.

Так как во многих случаях весь диапазон входных условий может быть неизвестен точно, даже в статистическом смысле, или условия могут время от времени изменяться, то в этом случае самонастраивающаяся система, которая, используя регулярный процесс поиска, постоянно ищет оптимум в пределах допустимого класса возможностей, имеет преимущества по сравнению с неизменяемой системой [14, 15, 16].

Поэтому и в сейсмологии остро стоит вопрос о необходимости обеспечения идентичности частотных характеристик сейсмических трактов (особенно для случая прихода слабых сейсмических сигналов от источников различного происхождения из дальней зоны при регистрации их группой сейсмоприемников). В этом случае необходимым условием высокой вероятности обнаружения и правильной идентификации является, прежде всего, идентичность АЧХ и ФЧХ всей группы сейсмоприемников. На данном этапе добиться выполнения этого условия неавтоматическими способами сложно ввиду необходимости одновременного учета большого количества факторов.

Как в радиолокации, так и в сейсмологии идентичность приборов может быть как полной, так и частичной [3, 10].

В сейсмологии при частичной или неполной идентичности приборов требуется, чтобы их частотные характеристики были практически одинаковыми, т. е. чтобы расхождения частотных характеристик не выходили за обусловленные пределы, например, 5 % [6]. В сейсмологии полная идентичность предусматривает одинаковость как частотных характеристик, так и коэффициентов увеличений сейсмоприемников.

Используемые в настоящее время методы построения частотных характеристик обладают достаточной громоздкостью, а точность получаемых частотных характеристик колеблется в пределах 5–10 % [13].

В процессе развития и совершенствования системы сейсмических наблюдений развиваются и методы

определения постоянных и характеристик сейсмической аппаратуры. К основным из них можно отнести: метод затухающих колебаний, метод чувствительностей и генераторный метод. Но точностные и оперативные возможности, достигаемые этими методами, на сегодняшний день не удовлетворяют потребителей информацией о геофизических явлениях искусственного и природного происхождения.

Обработка сейсмограмм ведется вручную, что существенно снижает точность и скорость определения параметров сейсмического явления. Время полной обработки сейсмического сигнала составляет по существующим нормативным документам 1 час с момента вступления первой волны. Вместе с тем, например, для ГСЧС Украины время, необходимое для своевременного уменьшения количества человеческих жертв и разрушений, должно составлять около 30 минут [11, 12].

Рассмотрим основные методы определения частотных характеристик сейсмических каналов обработки и степень их соответствия современным требованиям, методику и технику производства сейсмических наблюдений, проведем сравнение этих методов, рассмотрим основные требования, которые предъявляются к микросейсмическому шуму.

Метод затухающих колебаний. В настоящее время в стационарных наблюдениях стал традиционным так называемый метод затухающих колебаний, когда коэффициенты электромагнитного затухания «а» катушек сейсмометра и гальванометра определяются из записей слабозатухающих колебаний. В этом методе частотная характеристика и увеличение характеризуют сейсмическую систему в целом и определяются по определенным формулам. Кривая увеличения и фазовая характеристика $tg(\gamma)$ определяется выражением

$$tg(\gamma) = \frac{-1 + pT^2 - sT^4}{mT - qT^3}, \quad (1)$$

где T – период регистрируемого процесса, а входящие в выражение (1) переменные p, s, m, q определяются выражениями:

$$p = \frac{1}{T_s^2} + \frac{1}{T_g^2} + \frac{4D_s D_g}{T_s T_g}, \quad (2)$$

$$s = \frac{1}{T_s^2} * \frac{1}{T_g^2}, \quad (3)$$

$$m = 2 * \left(\frac{D_s}{T_s} + \frac{D_g}{T_g} \right), \quad (4)$$

$$q = 2 * \left(\frac{D_s}{T_s T_g^2} + \frac{D_g}{T_g T_s^2} \right), \quad (5)$$

где T_s, T_g – собственный период сейсмометра (гальванометра), а D_s, D_g – постоянная затухания сейсмометра, гальванометра.

Увеличение V обычно представляется в виде произведения коэффициента увеличения сейсмографа на его амплитудную частотную характеристику. Для сейсмических каналов, построенных по прямой схеме включения $T_s \gg T_g$ и $D_s \ll D_g$, коэффициент увеличения и амплитудная характеристика записываются в виде

$$\left. \begin{aligned} V_0 &= \frac{2A}{L_s} \cdot \sqrt{\frac{K_s}{K_g}} \cdot \sqrt{\frac{D_s T_g}{D_g T_s}} \cdot \delta^2, \\ U &= \frac{2D_g}{T_g} \sqrt{T^{-2} + a + bT^2 + cT^4 + dT^6} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где V_0 – коэффициент увеличения;

U – амплитудно-частотная характеристика;

A – оптический рычаг (расстояние от зеркал гальванометра до фотоленты);

K_s, K_g – момент инерции чувствительного элемента сейсмометра (гальванометра) относительно оси вращения;

D_s, D_g – постоянная затухания сейсмоприемника, гальванометра;

L_s – приведенная длина маятника сейсмометра;

δ^2 – коэффициент связи (характеризует взаимодействие сейсмометра и гальванометра при гальванометрической регистрации).

Следовательно, чтобы вычислить кривую увеличения и фазовую характеристику, необходимо знать величины $A, L_s, K_s, K_g, T_s, T_g, D_s, D_g, \delta^2$.

Точность определения отдельных величин достигает следующих значений: периоды – 1%, затухания – 2%, сопротивления – 0,5%, моменты

инерций – 1 %, приведенная длина – 0,5 %, постоянная тока – 1-2 %, оптический рычаг – 0,5 %.

Данный способ довольно громоздкий и не является универсальным для широкого класса сейсмических каналов. Он требует длительного времени на расчет основных параметров сейсмического канала и не обладает достаточной точностью полученных характеристик (в силу применения часов, линеек). К тому же, невозможно осуществлять контроль за изменением характеристик тракта в процессе работы, что является существенным недостатком этого метода контроля и регулировки характеристик сейсмического канала.

Метод чувствительностей. Широкое распространение приборов для регистрации сильных движений (малочувствительные сейсмографы с малым коэффициентом связи) привело к развитию так называемого метода чувствительностей, когда значение коэффициентов электромагнитного затухания определяется через чувствительности преобразователей сейсмометра и гальванометра, а частотные характеристики определяются как результат перемножения характеристик сейсмометра и гальванометра.

Метод чувствительностей получил широкое распространение в инженерной сейсмометрии и при измерениях колебаний в технике. Характерным для этого метода является использование чувствительности сейсмометра S_s и чувствительности гальванометра S_g . Через эти величины сравнительно просто выражаются коэффициенты чувствительности при гальванометрической регистрации. Данное выражение является общим для прямой и обратной схем работы сейсмоприемника.

$$\left. \begin{aligned} V_0 &= \frac{2A}{L_s} \cdot \sqrt{\frac{K_s}{K_g}} \cdot \sqrt{\frac{4D_s D_g}{T_g T_s m^2}} \cdot \delta^2, \\ U &= \frac{m}{\sqrt{T^{-2} + a + bT^2 + cT^4 + dT^6}} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Затухание $D_s = D_{s0} + D_{sg} + D_{sd}$ в методе чувствительностей является величиной расчетной в отличие от метода затухающих колебаний. Начальное затухание D_{s0} , как правило, усредняется, что вносит незначительные ошибки при дальнейших расчетах. Опыт показывает, что оно находится в пределах 0,008–0,015. Отклонение от среднего составляет по отношению к $D_s = 0,7$ приблизительно 0,5-1 %.

Значения D_{sg} и D_{sd} (доли затухания сейсмометра, вносимые соответствующими обмотками) рассчитываются по формуле:

$$\left. \begin{aligned} D_{sg} &= \frac{\alpha_{sg} \cdot T_s}{(R_{sg} + R_{BH})}; & D_{sd} &= \frac{\alpha_{sd} \cdot T_s}{(R_{sd} + R_d)}, \\ \alpha_{sg} &= \frac{S_{sg}^2 \cdot L_s^2}{4\pi \cdot K_s}; & \alpha_{sd} &= \frac{S_{sd}^2 \cdot L_s^2}{4\pi \cdot K_s}, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где R_{BH} – омическое сопротивление для рабочей катушки сейсмометра. Величина α_s (Ом/с) представляет собой применяемый в сейсмометрии коэффициент a_s (коэффициент электромагнитного затухания), приведенный к периоду колебаний $T_s = 1$ с. K_s – момент инерции чувствительного элемента сейсмометра (относительно оси вращения). Введение величин α_s удобно и оправдывается тем, что приборы инженерной сейсмометрии, в зависимости от решаемых задач, могут настраиваться на разные периоды собственных колебаний. Но для этого необходимо проводить громоздкие расчеты, обладающие недостаточно высокой точностью полученных и требуемых характеристик сейсмических каналов.

Амплитудную частотную характеристику сейсмического канала можно представить в виде

$$U = U_K \cdot U_s \cdot 2D_g \cdot \frac{U_g}{u_g} \cdot W, \quad \text{где } u_g = \frac{T}{T_g}. \quad (9)$$

Здесь U_K, U_s и U_g – АЧХ устройств обработки, сейсмометра и гальванометра соответственно, W – сложная функция от параметров сейсмографа. Для величин, входящих в выражение АЧХ, строятся номограммы для облегчения расчетов.

Из формул (8, 9) видно, что, для того чтобы рассчитать функцию увеличения сейсмического канала, необходимо знать много различных параметров. Кроме того, необходимо знать омическое сопротивление схемы соединения. В настоящее время эти параметры заносятся в паспорт на изделие и переопределяются один раз в год. Эта процедура довольно трудоемка и недостаточно точна в силу причин, указанных выше.

Анализ суммарных погрешностей показывает, что точность расчета увеличения по методу чувствительностей составляет 6-7 %, что недостаточно для выполнения требований, предъявляемых ССК к получаемым характеристикам сейсмических явлений природного и искусственного происхождения.

Генераторний спосіб калібровки сейсмічних каналів. В останнє время в сейсмічних спостереженнях застосовуються більш складні канали з проміжним посиленням, переписувачами приладів реєстрації і т. п. В зв'язі з цим все більше поширення отримує спосіб калібровки сейсмічних каналів з допомогою генераторів. При ретельному застосуванні точність цих методів калібровки може бути доведена до 5 %.

Цей метод калібровки отримав широке поширення в останнє время і часто застосовується. Суть його полягає в визначенні частотної характеристики сейсмічного каналу і його експериментальній калібровке шляхом накладання збуджуючої сили к станині сейсмометра.

Так як робота подавляючого більшості сейсмометрів, застосовуваних в нинішнє время, ґрунтується на відносному переміщенні станини і рухомої маси, то можна виробляти калібровку, накладуючи збуджуючу силу не к станині, а к рухомій масі, здійснюючи так зване силове збудження. В цьому випадку можна знайти співвідношення між прикладеною силою і відповідним фіктивним зміщенням станини сейсмометра.

Калібровка сейсмічного каналу генераторним методом має свої особливості. К одній з котушок сейсмометра підключається генератор низької частоти. Між генератором і сейсμοприемником вмикається велике розв'язуюче опір для того, щоб не змінилося значення затухання сейсμοприемника. Величина сигналу генератора вибирається такою, щоб на записі отримувалися читаемі амплітуди. Знаючи амплітудне значення сигналу генератора на даному періоді, величину послідовно включених опорів в ланці, визначається значення сили струму. По величині сили струму, а також по даним котушки сейсμοприемника визначається величина фіктивного зміщення станини сейсμοприемника. Якщо на періоді T амплітуда на записі y , то збільшення

$$V_T = y/X = K_s \omega^2 / G_s L_s i,$$

де $\omega = 2\pi/T$

Якщо невідомі параметри маятника, на котушку якого подається сигнал від генератора, то в цьому випадку можна отримувати тільки форму частотної характеристики сейсмічного каналу.

При генераторному способі калібровки сейсмічного каналу поряд з амплітудною можна отримувати і фазову частотну характеристику. Для цього на котушку сейсмометра, на яку подають сигнал від генератора, паралельно йому через розв'язуюче опір вмикають опорний гальванометр. Собственный період цього

гальванометра повинен бути менше найменшого періоду, на якому визначається частотна характеристика основного каналу. На одній сейсмограмі отримують записи як основного, так і опорного гальванометрів. При достатньо швидкій розв'язці записи можна визначити фазовий зсув досліджуваного сейсмічного каналу на кожному періоді. Цей спосіб отримання фазової характеристики не знає широкого застосування на практиці в силу своєї складності і недостатньої точності визначення цієї характеристики.

В нинішнє время найбільш широко застосовується метод генераторної калібровки сейсмічних каналів. Уточнення частотних характеристик виробляється щомісячно в час проведення місячних регламентних робіт. Допустимі відхилення від паспортних значень повинні становити не більш 5 % в кожен бік. Але в подальшій роботі по визначенню основних параметрів сейсмічних явищ уточнені дані не використовуються. Також не враховується змінюваний мікросейсмічний шум, який змінюється в залежності від часу року, доби, сили вітру і т. д.

Ці і інші фактори змушують шукати нові способи і методи проведення калібрровок сейсмічних каналів і зняття частотних характеристик. Перспективним вважається застосування алгоритмів відновлення сейсмічних сигналів після проходження етапів обробки, використання цифрових засобів обробки сейсмічних сигналів з застосуванням адаптивних алгоритмів. Це дозволить суттєво підвищити точність і оперативність обробки сейсмічних сигналів.

Висновки

1. Існуючі засоби сейсмічного контролю дозволяють контролювати не тільки регіональні процеси, але і глобальні геофізичні процеси і події, що підтверджує актуальність застосування геофізичних засобів як в Україні, так і за її межами.

2. Зміщення якості прийому і обробки сейсмічних сигналів може бути досягнуто:

- прийняттям заходів для підвищення ідентичності характеристик однотипних сейсμοприемників;
- удосконаленням апаратури і способів реєстрації і обробки сигналів від геофізичних явищ.

3. Необхідні якісна реєстрація і виявлення сейсмічної хвилі, що передбачає її виділення з мікросейсмічного шуму.

4. Найбільш доцільним напрямком для усунення помилок визначення параметрів геофізичних явищ вважається підвищення

идентичности КЧХ однотипных сейсмических каналов регистрации.

5. Анализ суммарных погрешностей показывает, что точность расчета увеличения методами затухающих колебаний, чувствительностей или же генераторным методом составляет 5-10 %, что недостаточно для выполнения требований, предъявляемых ССК к получаемым характеристикам обрабатываемых геофизических явлений природного и искусственного происхождения.

6. Перспективным является применение алгоритмов восстановления сейсмических сигналов после прохождения трактов обработки, использование цифровых средств обработки сейсмических сигналов с применением адаптивных алгоритмов. Это позволит существенно повысить точность и оперативность при обработке сейсмических сигналов.

7. Существующие и используемые в настоящее время методы настройки КЧХ не удовлетворяют современным требованиям.

8. Учитывая мировой опыт и современные тенденции построения и настройки подобных пассивных регистрирующих систем, наиболее целесообразным подходом решения задачи идентичности КЧХ одноименных сейсмических каналов является достижение идентичности КЧХ с возможностью перестройки КЧХ в зависимости от складывающейся сигнально-фоновой обстановки и различной природы регистрируемых сейсмических сигналов.

9. Для решения задач определения параметров геофизических явлений в соответствии с современными требованиями необходима автоматизированная настройка КЧХ сейсмических каналов, что даст возможность решения задачи увеличения точности определения параметров геофизических явлений в военных целях.

10. Наряду с прямым предназначением – обнаружением ядерных взрывов на ТВД и ядерных испытаний на полигонах ССК способна дать много дополнительной или, работая в специализированных режимах обработки, заданной информации в пределах возможностей средств сейсмического контроля в сочетании с другими методами наблюдения. Дополнительная информация: взрывы обычных боеприпасов, вторичные промышленные взрывы, грозовые образования, изменение радиоактивного фона. В результате дополнительной обработки слабых сигналов можно установить факты: старта баллистических ракет, посадки самолетов, движения колонн тяжелой техники.

Список литературы

1. Системы дистанционного наблюдения за полем боя на базе разведывательно-сигнализационных приборов [Текст] // Зарубежное военное обозрение. – 2000. – №2. – С. 21-27.
2. Радиоэлектронные средства охраны ВС США и перспективы их развития [Текст] // Зарубежное военное обозрение. – 2001. – №3. – С. 26-29; №4. – С. 23-26.
3. Пасечник, И. П. Характеристики сейсмических волн при ядерных взрывах и землетрясениях [Текст] / И.П. Пасечник. – М.: Наука, 1970. – 410 с.
4. Гуков, В. М. О возможности использования сети наблюдения ГЦСК в интересах Вооруженных сил [Текст] / В.М. Гуков и др. // Зб. наук. праць. – Харків: ХВУ, 2001. – Вип. 4(34).
5. Ширман, Я. Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех [Текст] / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
6. Саваренский, Е. Ф. Элементы сейсмологии и сейсмометрии [Текст] / Е.Ф. Саваренский, Д. П. Кирнос. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1955.
7. Уидроу, Б. Адаптивная обработка сигналов [Текст] / Б. Уидроу, С. Стирнз. – М.: Радио и связь, 1983. – 350 с.
8. INTERNATIONAL JOURNAL OF ADAPTIVE CONTROL AND SIGNAL PROCESSING Int. J. Adapt. Control Signal Process. 2016; 30:1465–1549477 Published online 25 January 2016 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/acs.2670
9. INTERNATIONAL JOURNAL OF ADAPTIVE CONTROL AND SIGNAL PROCESSING Int. J. Adapt. Control Signal Process. 2016; 30:1547–1549 Published online 2 September 2016 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/acs.2711
10. Караваев, В. В. Статистическая теория пассивной локации [Текст] / В.В. Караваев, В.В. Сазонов. – М.: Радио и связь, 1987. – 240 с.
11. Терещенко, И. В. Система сейсмического контроля как источник информации о геофизических возмущениях искусственного и природного происхождения [Текст] / И.В. Терещенко, М.Н. Журавский // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: зб. наук. праць. – Харків, 2003. – Вип. 2(41). – С. 10-12.
12. Можаяев, А. А. Глобальные геомагнитные эффекты, вызванные сейсмической активностью [Текст] / А.А. Можаяев, С.В. Арепьев, В.М. Коновалов, М.Н. Журавский // Системи обробки інформації: зб. наук. праць / НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – Харків, 2001. – Вип. 2(12). – С. 136-139.
13. Журавский, М. Н. Методика устранения неидентичностей трактов обработки сейсмических сигналов [Текст] / М.Н. Журавский, И.В. Терещенко, О.И. Солонец // Системи обробки

- інформації: зб. наук. праць / НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – Харків, 2002. – Вип. 4(20). – С. 83-88.
14. Пашенко, Р.Е. Аналіз сигналів геофізичних датчиків для виявлення землетрусів малої інтенсивності з використанням фазових портретів та фрактальної розмірності [Текст] / Р.Е. Пашенко, Д.В. Карлов, С.В. Медведський, М.М. Журавський // Системи обробки інформації: зб. наук. праць / МОУ, ХУПС ім. Івана Кожедуба. – Харків, 2010. – Вип.6(87). – С. 267-272.
15. Пашенко, Р.Е. Аналіз сигналів сейсмічних датчиків з використанням фрактальних розмірностей [Текст] / Р.Е. Пашенко, Д.В. Карлов, С.В. Медведський, М.М. Журавський // Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних Сил / МОУ, ХУПС ім. Івана Кожедуба. – Харків, 2010. – Вип. 2(24). – С. 157-162.
16. Пашенко, Р.Е. Аналіз сигналів сейсмічних датчиків з використанням фазових портретів [Текст] / Р.Е. Пашенко, Д.В. Карлов, С.В. Медведський, М.М. Журавський // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. праць / МОУ, ХУПС ім. Івана Кожедуба. – Харків, 2010. – Вип. 3(15). – С. 247-253.

Журавський М.М., Морозова Г.В. Методи визначення параметрів геофізичних явищ природного та штучного походження на сейсмічних станціях Служби спеціального контролю Державного космічного агентства України. У практиці роботи Служби спеціального контролю Державного космічного агентства України застосовується декілька основних методів визначення постійних і характеристик сейсмічної апаратури. У статті проведено експериментальне дослідження цих методів. Також проведено аналіз точності визначення параметрів сейсмічних явищ природного та штучного походження.

Ключові слова: служба спеціального контролю, методи визначення постійних і характеристик сейсмічної апаратури, амплітудна і фазова характеристики, адаптивна обробка.

In this paper, an analysis of the accuracy and reliability of existing methods for determining the characteristics of permanent and seismic equipment geophysical phenomena of natural and artificial origin. Also, an analysis of the accuracy of determining the parameters of seismic effects of natural and man-made, using known methods and possible ways of further research.

Keywords: Special Monitoring Service, and methods for determining the permanent characteristics of the seismic equipment, the amplitude and phase characteristics of the adaptive signal processing.

Надійшла 23.12.2016 р.

Zhuravskij Maxim, Candidate of Technical Sciences, deputy chief of the educational-methodical department, National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.

Morozova Galina, Candidate of technical science, associate professor of the department descriptive geometry and computer graphics, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. Number ORCID: [http:// orcid.org/0000-0003-1183-3430](http://orcid.org/0000-0003-1183-3430) E-mail: galmor@kart.edu.ua

Журавський Максим Миколайович, кандидат технічних наук, заступник начальника навчально-методичного відділу, Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна. E-mail: zhuravskij@nuczu.edu.ua

Морозова Галина Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри нарисної геометрії та комп'ютерної графіки, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. Номер ORCID: [http:// orcid.org/0000-0003-1183-3430](http://orcid.org/0000-0003-1183-3430) E-mail: galmor@kart.edu.ua

Zhuravskij M.N., Morozova G.V. Methods for determining the parameters of geophysical phenomena of natural and artificial seismic stations for monitoring special services of the State Space Agency of Ukraine. In the practice of the Service special control of the State Space Agency of Ukraine applies a few basic methods for determining the characteristics of permanent and seismic equipment - a method of damped oscillations, and the sensitivity of the method, the so-called regenerative method of calibrating seismic channels.