

А. А. СПЕКТОР, М. А. РАЙФЕЛЬД

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ
ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ
ПАССИВНОЙ
СЕЙСМИЧЕСКОЙ
ЛОКАЦИИ**



**НОВОСИБИРСК
2 0 1 8**

УДК 621.396.96:519.22
С 714

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор *В.И. Носов*
заслуженный деятель науки и техники, д-р техн. наук,
профессор *Г.Я. Шайдуров*
заслуженный деятель науки и техники, д-р техн. наук,
профессор РФ *К.К. Васильев*
д-р техн. наук, профессор *В.Р. Крашенинников*

Спектор А.А.

С 714 Статистические задачи и методы пассивной сейсмической локации : монография / А.А. Спектор, М.А. Райфельд. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – 200 с. (Серия «Монографии НГТУ»).

ISBN 978-5-7782-3665-3

Рассматриваются статистические задачи и методы их решения в системах пассивной сейсмической локации (ПСЛ), эффективность которых в значительной мере определяется применяемыми методами обработки сигналов. Исследуются основные локационные задачи, такие как обнаружение сейсмически активных объектов, оценивание характеристик движения, определение типа объекта (классификация). Предложенные методы получили свое развитие при работе авторов над реальными проектами по созданию новых систем ПСЛ. Большая роль в развитии статистической теории ПСЛ принадлежит экспериментам, значительная часть которых выполнена на сейсмическом полигоне Новосибирского государственного технического университета.

УДК 621.396.96:519.22

ISBN 978-5-7782-3665-3

© Спектор А.А., Райфельд М.А., 2018
© Новосибирский государственный
технический университет, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	7
Введение	9
Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПАССИВНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ.....	19
1.1. Физические основы пассивной сейсмической локации	19
1.2. Сигналы и помехи сейсмической пассивной локации	22
1.3. Пример распределенной системы ПСЛ.....	30
1.4. Основные задачи обработки сейсмических сигналов в ПСЛ	34
Глава 2. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ СЕЙСМИ- ЧЕСКИ АКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	39
2.1. Обнаружение сигналов человека в ПСЛ	41
2.1.1. Математическая модель сейсмосигналов человека и их байесовское обнаружение	42
2.1.2. Непараметрическое обнаружение сейсмосигналов человека	46
2.1.3. Цифровое обнаружение сейсмосигналов человека	50
2.2. Непараметрическое обнаружение САО на основе счетчика «нулей».....	53
2.2.1. Алгоритм обнаружения САО на основе счетчика числа нулей	53
2.2.2. Вероятность ложной тревоги и определение порога обна- ружения.....	57
2.2.3. Вероятность правильного обнаружения.....	59
2.3. Непараметрическое обнаружение на основе анализа спектров сейсмических сигналов.....	68
2.4. Обнаружение объектов в выделенной части зоны действия сис- темы ПСЛ.....	77

2.4.1. Правило принятия решения о нахождении сейсмоактивного объекта в определенной области на местности с использованием последовательного критерия Вальда	77
2.4.2. Сейсмическое обнаружение объекта в ВЗ на основе определения апостериорных вероятностей его положения	89
Глава 3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТРАЕКТОРИЙ И ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ПСЛ	97
3.1. Оценивание локальных характеристик движения объекта в ПСЛ	98
3.2. Анализ ошибок оценивания	103
3.3. Оценивание параметров движения человека в ПСЛ при неоднородном характере первичных данных	106
3.4. Применение корреляционных измерений на этапе получения первичных оценок	110
3.5. Траверзный метод определения местоположения объектов	115
3.6. Траекторные измерения на основе сейсмических пеленгационных датчиков и марковской фильтрации	120
3.6.1. Измерение координат при помощи сейсмических пеленгационных датчиков	120
3.6.2. Сглаживание измерений на основе марковской фильтрации	122
3.7. Оценка координат человека в ПСЛ при неточном знании скорости распространения сейсмического сигнала в грунте	126
3.8. Методы получения информации о задержках сигналов на сейсмических датчиках с использованием следящего алгоритма	134
3.9. Трассировка движущегося транспортного средства с непрерывным воздействием на грунт	140
3.9.1. Описание проблемы и постановка задачи	140
3.9.2. Физические основы затухания сейсмических сигналов в грунте	141
3.9.3. Синтез алгоритма оценки координат автомобиля	144
Глава 4. МЕТОДЫ КЛАССИФИКАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПСЛ	151
4.1. Байесовская классификация сейсмоактивных объектов на основе корреляционных признаков	152
4.2. Статистическая классификация САО по спектральным признакам сигналов	159



4.3. Классификация объектов на основе анализа спектральных характеристик огибающих сейсмических сигналов.....	168
4.4. Статистическая классификация САО во временной области, основанная на использовании специализированных обнаружителей сигналов различных классов.....	178
Квазиоптимальный алгоритм классификации один человек / группа людей в сейсмической системе наблюдения.....	179
Заключение.....	186
Библиографический список	187

Глава 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПАССИВНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ

1.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПАССИВНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ

Физической основой пассивной сейсмической локации является возбуждение сейсмических волн в поверхностных слоях грунта движущимся по нему объектом и их регистрация приемными устройствами. Принятые сигналы имеют ярко выраженный случайный характер, а полезная локационная информация заключается в тех или иных параметрах сигналов. Поэтому неотъемлемой частью локационного процесса является специальная обработка сейсмических сигналов, выполняемая вычислительными устройствами, структурно встраиваемыми в состав аппаратуры сейсмической локационной системы.

Основными элементами СЛС являются: сейсмический датчик, размещаемый в грунте на глубине 0,25...0,45 м (рис. 1.1); усилитель-преобразователь сигнала, на выходе которого образуется сейсмический сигнал, обычно в цифровом виде; вычислительное устройство, выполняющее все операции анализа и принятия решения. Цифровая обработка сигналов создает предпосылки для реализации таких функций, как ведение архива событий, зарегистрированных изделием, запись и хранение сейсмических сигналов. Последнее имеет большое значение для анализа работы СЛС, а также при проведении исследований и разработок новых систем ПСЛ.

Сообщения о принятых решениях обычно передаются в той или иной форме дежурному оператору. Один из удобных вариантов – видеоинтерфейс оператора, при помощи которого на мониторе изделия



могут отображаться карта местности с указанием основных расположенных на ней предметов; текущие события, зафиксированные изделием; параметры устройств и алгоритмов обработки сигналов; текущие сейсмические сигналы, визуальный анализ которых позволяет опытному оператору в сложных условиях принять участие в выработке решения. Ситуации, когда оператор принимает участие в принятии решения, обычно не являются частыми (при качественной работе автоматической системы принятия решений) и поэтому не требуют непрерывной напряженной работы оператора. Возможный вид фрагмента интерфейса оператора показан на рис. 1.2, *а* при обнаружении автомобиля (здесь же показана траектория движения, построенная устройством обработки) и на рис. 1.2, *б* – при обнаружении группы людей.

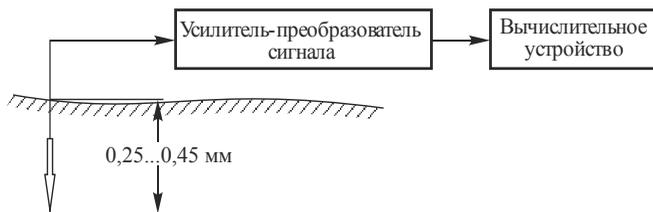
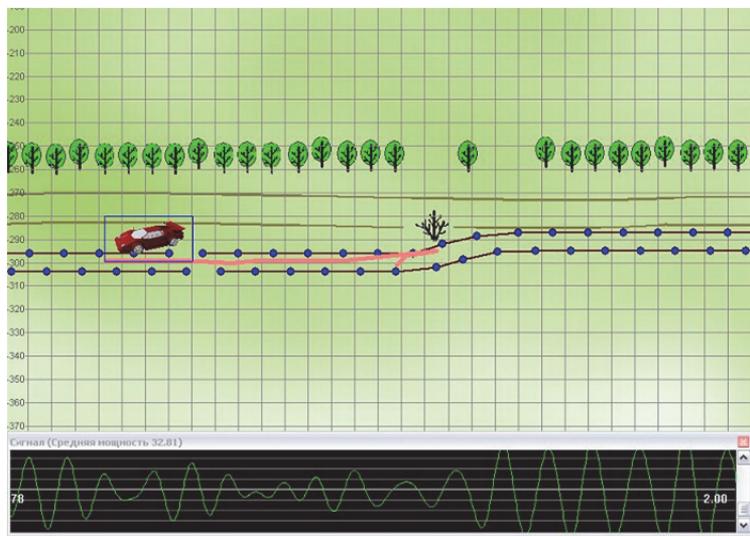


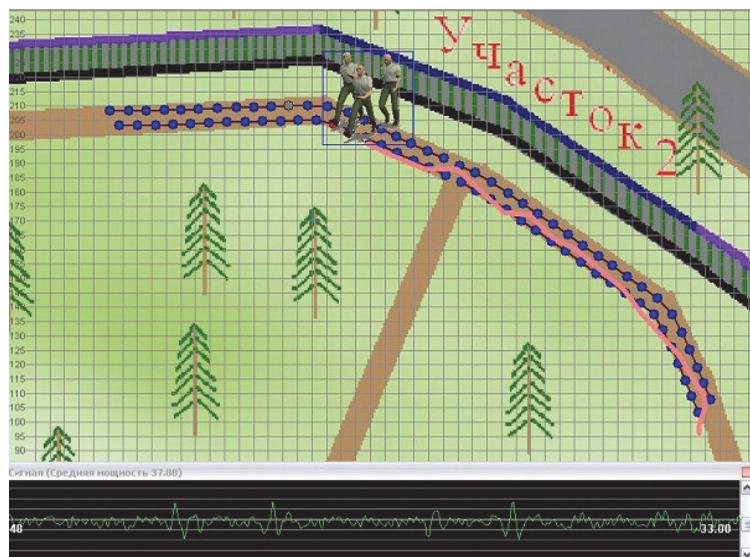
Рис. 1.1. Получение и прием сейсмического сигнала

Для передачи сигналов в СЛС могут использоваться линии связи различных типов. Многие СЛС используют проводные линии. При этом кабели размещаются в грунтах, и благодаря этому достигается максимальная скрытность систем. Обычно по такому принципу строятся стационарные изделия. В этих случаях размещению изделия в контролируемой зоне предшествует тщательное изучение сейсмических свойств (уровень сейсмического фона, его особенности, сеймопроводящие характеристики грунтов, особенности рельефа и т. п.). Это дает возможность на этапе размещения максимально адаптировать математическое обеспечение к особенностям рабочей зоны.

Другим вариантом может быть использование радиосвязи для передачи всех сигналов. Этот вариант содержит предпосылки создания систем быстрого развертывания, однако последнее может быть достигнуто лишь при развитии и использовании в таких изделиях тех или иных принципов самоорганизации.



а



б

Рис. 1.2. Вид интерфейса оператора:

а – при обнаружении автомобиля; *б* – при обнаружении группы людей



По общему мнению многих специалистов [12, 13, 21, 34, 75], роль математического и программного обеспечения (МиПО) на данном этапе развития техники ПСЛ является для эффективности СЛС определяющей. Задачи, решаемые МиПО, полностью определяются общими задачами СЛС. Вычислительное устройство, по существу, выполняет преобразование сигналов на выходах приемных устройств в информацию об объектах наблюдения такую, как сообщение о наличии или отсутствии сейсмоактивного объекта, его принадлежности к тому или иному классу, его характеристиках движения. В число задач также могут входить обеспечение взаимодействия СЛС с системами наблюдения других видов, при котором СЛС на основе принятых в ней решений может использоваться для управления другими системами. Одним из вариантов может быть управление работой системы видеонаблюдения, при котором СЛС включает систему видеонаблюдения при обнаружении объекта и обеспечивает прицеливание видеокамеры в направлении обнаруженного объекта. Другой разновидностью взаимодействия может быть принятие решений на базе совместного анализа сигналов нескольких типов систем, например, СЛС и системы акустического наблюдения, сигналы которой образуются на выходе акустических приемников (микрофонов).

1.2. СИГНАЛЫ И ПОМЕХИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ

Хорошо известно, что тактические характеристики радиолокационных систем ограничиваются внутренними тепловыми шумами приемных устройств [33, 45, 65–67, 74]. Аналогичную роль в СЛС в принципе играют тепловые шумы усилителей сейсмических сигналов. Однако значительно больший вклад вносят внешние помехи, обусловленные наличием в грунтах фоновых сейсмических колебаний. Их природа двойственна. Практически всегда проявляется действие *природных* механизмов, таких, например, как ветровые колебания деревьев, кустарника, травы, при которых движение находящихся в грунте корней становится источником сейсмического возбуждения.

Механизмы второго типа *антропогенные*. Многие виды активной деятельности приводят к образованию механического воздействия на поверхность земли. Некоторые сейсмоактивные производства, содер-



жащие в своем технологическом цикле прессы, другие ударные механизмы, тяжелые транспортные перемещения, создают сейсмический фон, дальность действия которого может составлять многие километры.

Часто сейсмические сигналы образуются в результате воздействия на грунт сильной акустической волны, так что, например, антропогенный источник сейсмических колебаний может не производить непосредственного механического воздействия на грунт, а быть источником акустического сильного сигнала. Смешанные сейсмоакустические механизмы образования сигналов весьма распространены. Это привлекает внимание к созданию мультисенсорных систем, в которых наряду с сейсмическими датчиками целесообразно использовать датчики акустических сигналов (микрофоны).

Наличие сейсмического фона является существенным фактором, препятствующим эффективному применению СЛС и требующим разработки таких систем, которые способны обеспечить максимальную или близкую к ней помехоустойчивость. В первую очередь это может быть достигнуто применением высокоэффективной обработки сигналов, направленной на достижение максимального эффекта в решении той или иной задачи, стоящей перед СЛС, в условиях действия помех, характерных для конкретной рабочей площадки. Это, конечно, не означает, что для каждой рабочей зоны необходимо создание специализированных технологий обработки сигналов. Речь может идти, например, о параметрической адаптации универсальных процедур.

Часто встречаются ситуации комбинированного природно-антропогенного возникновения сейсмического фона. Распространенным примером может служить образование фоновой обстановки на датчиках СЛС, размещенных вблизи ограждений, крепежные элементы которых находятся в земле. Конструкции такого типа при ветровых воздействиях создают мощную помеху, которая практически одновременно регистрируется всеми датчиками антенной системы, расположенными вдоль ограждения. Мощность таких помех существенно зависит от типа ограждения и достигает больших величин при высокой парусности.

Сложный многолучевой характер распространения сейсмических волн от точек их возникновения до отдельных сейсмических приемников приводит к суперпозиции большого числа колебаний в точке приема. Следствием этого является нормализация сейсмического фона. Из приведенных примеров также видно, что сейсмический фон служит

нестационарным случайным процессом, характеристики которого меняются в процессе наблюдения. Экспериментальные исследования показывают, что изменяются не только энергетические параметры (как в примере с ветровыми воздействиями на ограждения), но и при относительно неизменной фоновой мощности наблюдаются достаточно быстрые изменения спектрально-корреляционных параметров. Учет таких свойств помехи – обязательный элемент проектирования новых изделий ПСЛ. Одним из подходов может служить применение адаптации, при которой в процессе функционирования изделия ПСЛ осуществляется оценивание характеристик фона и использование постоянно (или периодически) обновляемых оценок в работе основных алгоритмов.

Характерный образец фонового сейсмического сигнала показан на рис. 1.3, где применена шкала относительного времени $i = t/\Delta t$, а шаг дискретизации $\Delta t = f_{\text{д}}^{-1}$ соответствует частоте взятия отсчетов $f_{\text{д}} = 597 \text{ Гц}$ ¹. Усилитель сейсмического сигнала имел полосу пропускания частот до 120 Гц.

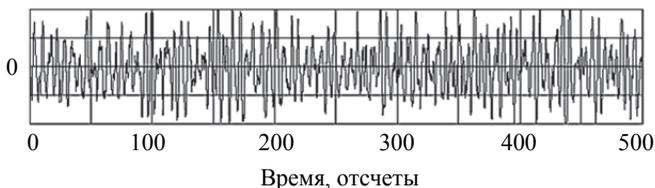


Рис. 1.3. Пример сейсмического фона с постоянной интенсивностью

На рис. 1.4 показаны примеры сейсмического сигнала, вызванного движением человека, на рис. 1.4, *а* сейсмический фон достаточно слабый, на рис. 1.4, *б* – значительно сильнее. Существенной чертой сигнала человека является его импульсный характер, причем импульсы

¹ Приводимые в книге экспериментальные данные получены при помощи СЛС «Азимут 1», серийно выпускаемой ФГУП ПО «Север» (г. Новосибирск), предприятием государственной корпорации «Росатом». Коллективу, руководимому авторами книги (кафедра теоретических основ радиотехники Новосибирского государственного технического университета), принадлежит создание математического и программного обеспечения.



при стационарном движении образуют последовательность, которая близка к периодической, хотя строго периодической не является. По внутренней структуре каждый импульс представляет собой случайный процесс, мгновенные значения которого распределены по нормальному закону (вследствие суммирования сигналов, образованных многолучевым распространением), а интервал корреляции заметно меньше длительности импульсного сигнала. Следует отметить, что спектрально-корреляционные характеристики этого случайного процесса отличаются от характеристик сейсмического фона ввиду различия источников возбуждения и многолучевых структур, порождающих

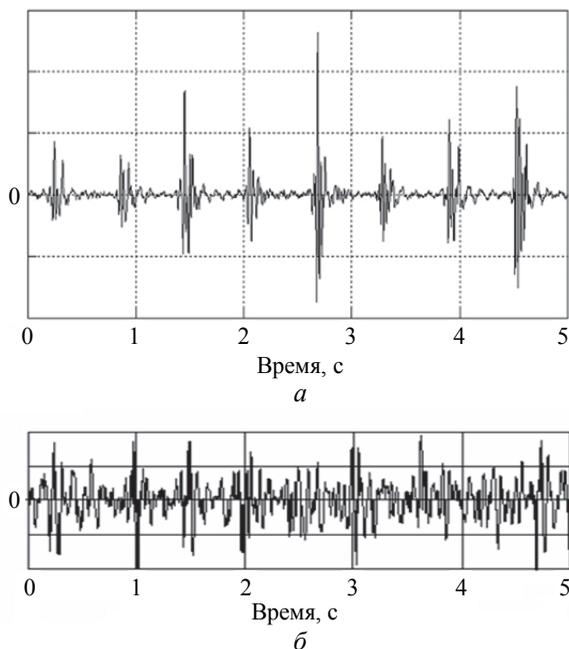


Рис. 1.4. Сейсмический сигнал человека:

a – при слабом сейсмическом фоне; *б* – при умеренном сейсмическом фоне

эти разные сейсмические сигналы. Как видно из рис. 1.4, *б*, при сильной помехе даже визуальное определение присутствия сигнала человека представляется проблематичным. Ресурс автоматического обнару-



жения, как в любых информационных системах, работающих в условиях помех, состоит в эффективном накоплении наблюдаемых сигналов в процессе их приема, поэтому, естественно, пассивная сейсмическая локация никакого принципиального исключения не составляет.

На рис. 1.5 иллюстрируются характерные сейсмические сигналы, регистрируемые геофоном, который размещен вблизи сплошного забора, имеющего высокую парусность. Опоры ограждения погружены в грунт, поэтому при ветровых ударах возникают импульсные сигналы

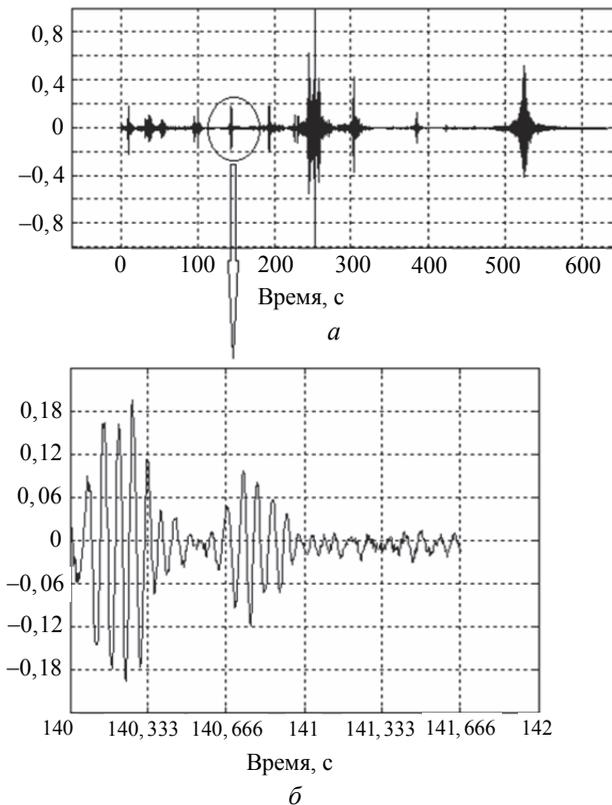


Рис. 1.5. Пример сейсмического фона, обусловленного ветровым воздействием на ограждение:
a – продолжительная запись сигнала на интервале 600 с;
б – фрагмент длительности 1,66 с



высокой интенсивности. По физическим свойствам сигналообразующая среда может рассматриваться как колебательная система с невысокой добротностью, о чем свидетельствует фрагмент общей записи, показанный на рис. 1.5, б. Общий вид сигнала определяется как свойствами этой колебательной системы, так и характеристиками ветрового воздействия. Так, в частности, из рис. 1.5, а видно, что отдельные импульсные участки сигнала имеют значительно различающиеся длительности, что отражает разнообразие ветровых ударов как по силе, так и по длительности. Для работы СЛС сигналы, показанные на рис. 1.5, в большинстве случаев являются сильной помехой, существенно усложняющей функционирование системы.

На рис. 1.6 изображен характерный сейсмический сигнал, регистрируемый при проезде автомобиля. Это нестационарный случайный процесс с участками нарастания и спада. Участок максимального значения соответствует минимальному расстоянию между автомобилем и сейсмическим датчиком (автомобиль на данном участке своей траектории находится на траверзе датчика). Общая длительность сигнала достаточно большая и составляет 30...40 с. Спектральный анализ показывает, что на этом интервале изменяются не только интенсивность, но и спектрально-корреляционные характеристики. В области максимальной интенсивности сигнал имеет максимальную ширину спектра, на краях она становится меньше. Это объясняется тем, что поверхностные слои грунта служат для сейсмических волн фильтром, ослабляющим верхние частоты тем сильнее, чем больше длина проходимого пути.

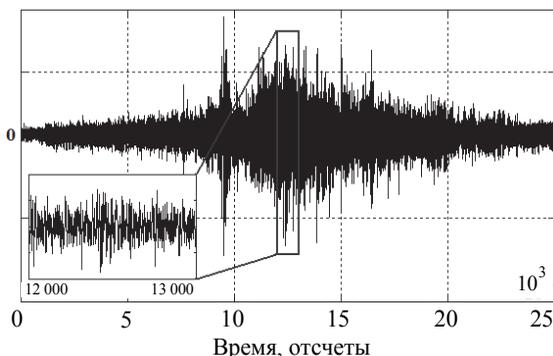


Рис. 1.6. Сейсмический сигнал автомобиля



Пример сейсмического сигнала, полученный при прохождении группы людей, приведен на рис. 1.7. В отличие от сигнала одиночного человека наблюдается утрата периодической структуры из-за отсутствия общей ритмичности движения участников группы. Общее количество импульсов увеличивается, что, конечно, приводит к изменению характеристик сигнала.

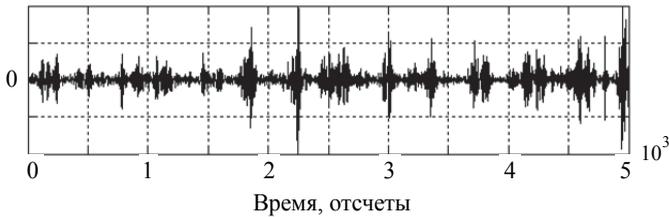


Рис. 1.7. Сейсмический сигнал группы людей

Акустосейсмический механизм возникновения сейсмического сигнала самолета, пролетающего вблизи системы ПСЛ, показан на рис. 1.8. Акустическое давление, создаваемое работающими механизмами летательного аппарата, достигает поверхности земли и возбуждает в ней волну сейсмическую. На рис. 1.9 изображен сигнал, образованный при совместном воздействии движущегося человека и винтового самолета в двух масштабах временной развертки: в большем (рис. 1.9, а) и меньшем (рис. 1.9, б). Свойствами акустосейсмического сигнала самолета являются большая длительность, высокая интенсивность, узкополосный характер колебаний, обладающих заметной когерентностью.

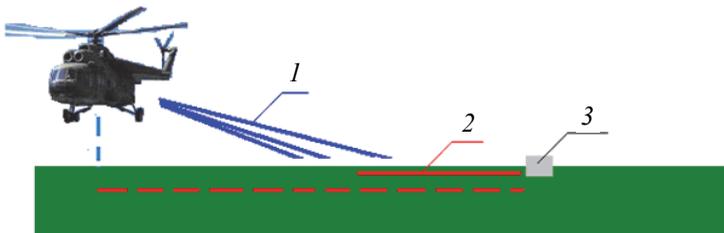
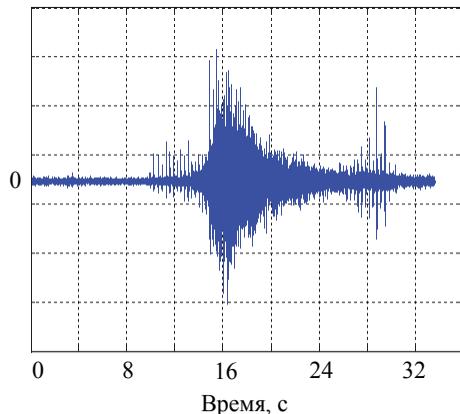
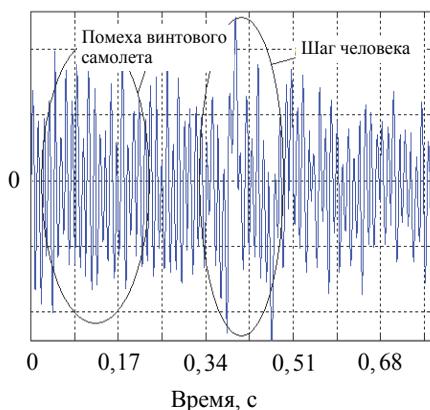


Рис. 1.8. Образование сейсмического сигнала самолета:
1 – распространение акустической волны; 2 – распространение сейсмической волны; 3 – сейсмический датчик



a



б

Рис. 1.9. Сейсмический сигнал человека на фоне пролетающего винтового самолета в большем (*a*) и меньшем (*б*) масштабах развертки

Представленные данные о сейсмических сигналах показывают весьма обширный диапазон их свойств. Сигналы, создаваемые при движении объектами наблюдения, разнообразны – от квазипериодических импульсных (одиночный человек) до непрерывных колебательных у объектов, создающих непрерывное сейсмическое или акустиче-



ское воздействие на грунт (автомобиль, самолет). Как полезные сигналы, так и сейсмический фон представляют собой случайные процессы, гауссовское распределение которых является обоснованной вероятностной моделью вследствие многолучевого распространения в среде и суммирования в приемнике сигналов отдельных лучей.

К сожалению, сейсмические сигналы характеризуются непостоянством своих вероятностных параметров: изменяются текущие мощности полезных сигналов, мощность сейсмического фона. Анализ спектрально-корреляционных характеристик сейсмического фона показывает, что они также не остаются постоянными. Эти обстоятельства подталкивают к использованию в обработке сигналов принципов адаптации.

Анализ сигналов вместе с тем показывает, что в них содержится информация о наличии или отсутствии сейсмоактивного объекта, месте его положения относительно сейсмических датчиков, типе объекта, создающего сейсмический сигнал. Основными задачами обработки сигналов должно быть извлечение этой информации. Решение задач должно опираться на методы теории случайных процессов, обнаружения сигналов и оценивания их параметров, классификации сигналов и распознавания образов.

1.3. ПРИМЕР РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ПСЛ

Наиболее полно локационные функции реализуются в распределенных системах ПСЛ, использующих большое число сейсмических датчиков, которые позволяют контролировать обстановку на территориях больших размеров. Наряду с этим особенностью ПСЛ – в пассивном принципе действия, поскольку отсутствует излучение первичных сигналов, что свойственно большинству локационных систем других типов.

На построение систем ПСЛ и разработку методов обработки сигналов оказывают прямое влияние нестационарный и неоднородный характер сигналов с быстрыми изменениями их свойств как во времени, так и в пространстве; многолучевой характер распространения сейсмических сигналов и частотно-зависимые свойства среды распространения; сейсмический фон, представляющий собой суперпозицию большого числа колебаний, связанных с различными по мощности и месту расположения воздействиями на грунт. Следствием суперпозиции является нормализация распределения сейсмического фона. Указанные особенности



ПСЛ служат причиной применения принципов статистической адаптации при синтезе алгоритмов обработки сигналов.

Пассивная сейсмическая локация представляет собой сумму технологий, предназначенных для регистрации и обработки сигналов, распространяющихся в среде в виде сейсмических волн, с целью решения характерных локационных задач обнаружения объектов, производящих сейсмическое воздействие, для их классификации и оценки местоположения и параметров движения.

Кратко остановимся на структуре аппаратной части системы ПСЛ. Хотя существуют различные подходы к построению таких систем, можно выделить определенные черты, присущие всем вариантам, основанным на использовании точечных сейсмических датчиков (геофонов), рис. 1.10, выполняющих функции приемников сейсмических сигналов. Обобщенная структурная схема системы ПСЛ, предназначенной для обеспечения автоматической охраны протяженного рубежа, изображена на рис. 1.10, а.

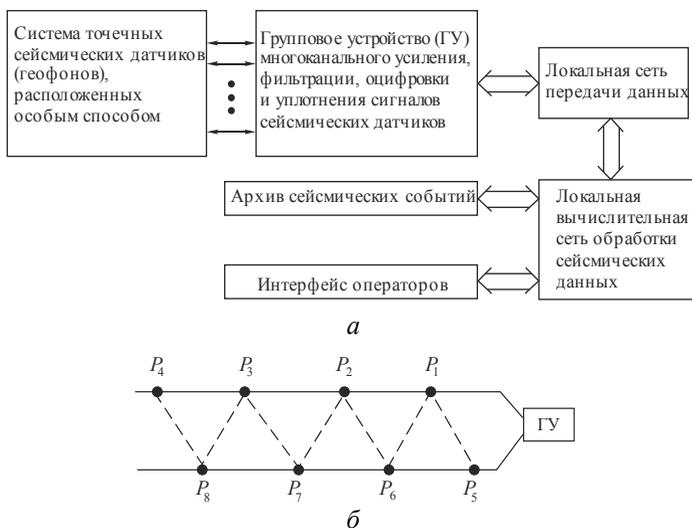


Рис. 1.10. Пример структурной схемы системы ПСЛ:

а – структурная схема системы; б – антенны и групповое устройство

Как правило, точечные сейсмические датчики располагаются таким образом, чтобы образовать антенную решетку, способствующую обнаружению источника сигнала и получению оценки его местоположения.



Пространственная плотность размещения датчиков определяется из компромисса между требованием исключить неконтролируемые участки в заданной зоне действия (при больших расстояниях между датчиками образуются участки, от которых сигналы могут затухать ниже уровня чувствительности приемников) и стремлением уменьшить общее число датчиков (что определяет конструкторскую сложность и стоимость изделий).

Для оценки местоположения с использованием метода триангуляции достаточно группы из трех точечных датчиков. Если скорость распространения сейсмической волны в грунте неизвестна, то она включается в число оцениваемых параметров, и минимальное число датчиков, необходимых для решения указанной задачи, увеличивается до четырех. Задача определения координат местоположения объекта в ПСЛ имеет статистический характер. Проблема заключается в том, что измерение задержек сигнала на датчиках сопряжено с ошибками (из-за помех и сейсмического фона), поэтому решение системы навигационных уравнений, как правило, находится с использованием статистических критериев. Точность оценивания можно увеличить за счет увеличения объема наблюдений (что в ПСЛ достигается использованием многих разнесенных в пространстве датчиков). Каждая система ПСЛ имеет некоторую зону контроля (участок на местности, где система с заданным качеством решает поставленные задачи). Размер и конфигурация зоны определяется задачами, решаемыми конкретной системой. Для формирования зоны контроля могут быть использованы различные способы расположения датчиков, один из часто используемых вариантов показан на рис. 1.10, б. Если задачи оцифровки и уплотнения сигналов и маршрутизации реализуются в самом датчике, то в использовании группового устройства (ГУ) нет необходимости. Датчик в этом случае играет роль узла локальной сети передачи данных, обычно реализуемой в соответствии со стандартом IEEE 802.15 (ZigBee).

В состав системы ПСЛ включают такие элементы, как интерфейс оператора и архиватор сейсмических событий, зафиксированных автоматической системой. Анализ записей, сделанных в архиве, дает возможность оценить качество выполнения системой своих функций, а также осуществить при необходимости настройку параметров аппаратуры и алгоритмов обработки сигналов. Характер архивных данных должен быть достаточным для проведения анализа. Так, в их состав могут входить записи принятых сейсмических сигналов, значения параметров адаптации, принятые системой решения (формулярные данные).



Интерфейс оператора содержит изображение карты местности с указанными на ней сейсмическими антеннами. На рис. 1.11 показан интерфейс оператора системы «Азимут 1», размещенной на сейсмическом полигоне Новосибирского государственного технического университета. Запись выполнена при проведении эксперимента, в ходе которого рабочую зону пересекали две группы людей. Разными цветами обозначены активные (на которых обнаружители зафиксировали присутствие объекта) и пассивные датчики. На экране нанесена координатная сетка, цветные линии отображают измеренные траектории движения групп. Интерфейс может содержать цифровой осциллограф для наблюдения текущих осциллограмм сейсмических сигналов, элементы оперативной регулировки параметров обработки.

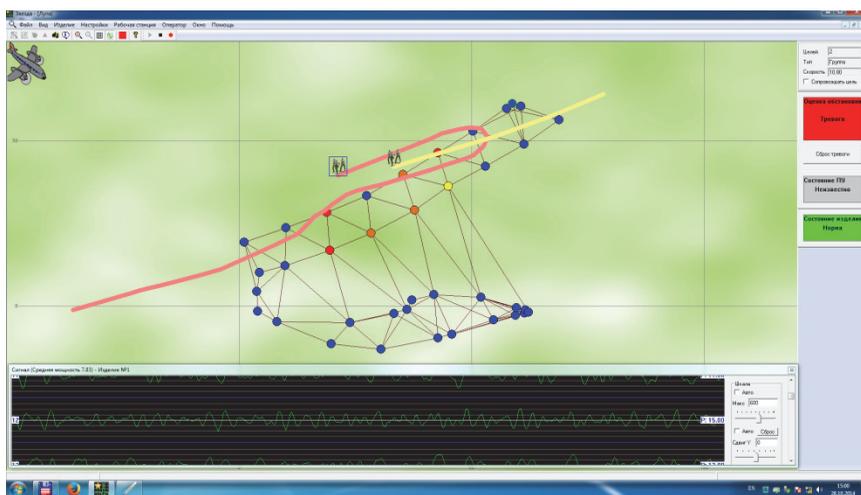


Рис. 1.11. Интерфейс оператора при движении двух групп людей (полигон НГТУ)

Развитие техники пассивной сейсмической локации может происходить при взаимодействии теоретических и экспериментальных методов, в распоряжении исследователей и разработчиков при этом должны находиться экспериментальные ресурсы. Наиболее эффективным является применение полигона. Наряду с работами по сейсмической локации на нем могут выполняться исследования и разработки комплексированных изделий, в которых сочетаются системы наблюдения, основанные