

УДК 51-74

## КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ В СЕЙСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОХРАНЫ

**К. В. Костенко,**

аспирант

Международный университет природы, общества и человека «Дубна»

**В. Ф. Шевцов,**

канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Объединенный институт ядерных исследований

Показано, что сигнал единичного сейсмического датчика содержит в себе классификационную информацию об объектах различных типов. Рассматриваемые информационные признаки позволяют производить классификацию объектов, относя каждый из них к одному из трех классов, которые являются типичными для данных систем охраны, — человек, группа людей и транспортное средство.

**Ключевые слова** — охранные системы, сейсмические датчики, сейсмический сигнал, обработка информации, классификация объектов, алгоритмы классификации.

### Введение

Системы охранной сигнализации, предназначенные для обнаружения нарушителей на открытом пространстве, являются основной частью комплексов автоматизированной физической защиты важных и особо важных объектов (граница, ядерно-опасные производства и т. д.). Без таких систем на современном этапе усиления глобальных угроз (терроризм, религиозный экстремизм, сепаратизм) невозможно обеспечить безопасность государства, населения и личности в конечном итоге.

Системы периметровой охранной сигнализации и соответствующие средства обнаружения можно подразделить на две большие категории — стационарные и быстроразвертываемые. Первые гораздо шире распространены и известны, доступно множество изделий отечественного и зарубежного производства, имеется техническая литература, их описывающая и классифицирующая, «закрытость» в недалеком прошлом этой тематики, по сути, отброшена. Вторые известны и распространены гораздо меньше в силу специфичности решаемых задач, их реальный рынок в нашей стране только складывается [1, 2].

### Классификация объектов

Рассмотрим вопрос классификации движущихся объектов в сейсмических системах, кото-

рый является актуальным в «военных» и «гражданских», стационарных и быстроразвертываемых охранных системах.

Классификация объектов уместна только тогда, когда произошло их обнаружение. Для устранения воздействия случайных помех и, соответственно, ложных срабатываний обычно применяется следующий принцип. Устройство первичной обработки сигнала (обнаружитель) следит за состоянием сигнально-помеховой ситуации и рассчитывает среднее значение шумности, которое меняется в течение суток, зависит от погодных условий и наличия других источников помех. Если накопленный порог будет превышен на определенный процент в течение некоторого времени, произойдет событие обнаружения цели. В этот момент накопление данных о средней шумности прекращается и начинается работу алгоритм классификации по рассматриваемым далее признакам.

При исследовании вопроса классификации авторами была использована программа имитации сигналов человека и группы людей, основанная на принципах, изложенных в работе [3].

### Классификационные признаки

*1. Коэффициент заполнения выборки полезным сигналом.*

Сигнал от человека, получаемый с сейсмического датчика, имеет импульсный характер.

Основными характеристиками импульсного сигнала являются длительность импульса, скважность (отношение периода следования импульсов к длительности) и амплитуда импульсов. Эти параметры зависят от индивидуальных особенностей человека (таких как скорость его движения, длина шагов, масса), а также от рельефа местности. Данный классификационный признак опирается на характеристики длительности и скважности.

Коэффициент заполнения выборки полезным сигналом показывает, какую долю времени во взятой выборке занимает полезный сигнал. Сигнал от помехи отделяется по пороговому значению. Рассмотрим алгоритм расчета данного коэффициента. Описываемая последовательность преобразований применяется к каждой отдельной реализации (выборке) временного сигнала.

**Шаг 1.** Для правильной работы алгоритма сигнал, получаемый с датчика (рис. 1), необходимо отцентрировать. Дело в том, что уровень сигнала при отсутствии возмущений может не быть равным нулю, а иметь какое-то положительное или отрицательное значение. Это связано как с исполнением электронной части датчика, так и с воздействием на датчик каких-либо постоянных источников излучений. Нужно отцентрировать сигнал, для этого вычислим среднее значение сигнала в выборке, а затем вычтем это значение из каждого отсчета (измерения).

Далее в формулах нижний индекс обозначает номер отсчета, верхний — номер преобразования, которому подвергается сигнал.

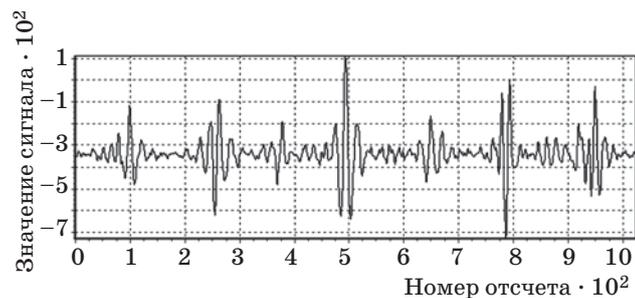
Таким образом, значение  $i$ -го отсчета определяется по формуле

$$S_i^1 = S_i^0 - \sum_{i=1}^N S_i^0 / N, \quad (1)$$

где  $S_i^0$  — значение отсчета, полученное с датчика;  $N$  — число отсчетов в выборке.

**Шаг 2.** Переводим сигнал в область положительных значений, взяв модуль каждого отсчета:

$$S_i^2 = |S_i^1|. \quad (2)$$



■ Рис. 1. Реализация сигнала человека

**Шаг 3.** Вычисляем значение шумового порога сигнала данной реализации как среднее квадратичное его отсчетов:

$$P = \sqrt{\sum_{i=1}^N (S_i^2)^2} / N. \quad (3)$$

**Шаг 4.** Производим сглаживание колебаний сигнала, разбивая реализацию на короткие отрезки и усредняя сигнал на этих отрезках.

**Шаг 5.** Обнуляем те отсчеты, которые не проходят шумовой порог, т. е. оставляем только полезный сигнал.

**Шаг 6.** Рассчитываем значение коэффициента заполнения как отношение количества отсчетов, больших нуля, к длине реализации:

$$F = \sum_{i=1}^N (S_i^2 > 0) / N. \quad (4)$$

По данному алгоритму были рассчитаны зависимости коэффициента заполнения от реализации для сигналов, создаваемых одним человеком, группами лиц численностью от 2 до 13 человек и трактором. В анализе использовались сигналы людей, полученные с помощью программы моделирования, и сигнал трактора, записанный в ходе натурального эксперимента. Возможные различия в масштабах амплитуд сигналов, полученных из разных источников, не оказывают влияния на полученный результат, так как данный классификационный признак не восприимчив к амплитуде сигнала. Под различием в масштабах амплитуд понимается то, что амплитуда сигнала от одного и того же объекта в модельной и реальной записях может значительно различаться.

Результаты представлены в графическом виде (рис. 2, см. с. 4 обложки), каждая кривая рассчитывалась по 10 записям сигнала с последующим усреднением.

Из данной картины можно сделать вывод, что значение коэффициента заполнения выборки является уверенным классификационным признаком, позволяющим разделить сигналы объектов всех рассматриваемых типов по пороговому значению.

### 2. Энергия сигнала в выборке.

Существенными характеристиками сигнала для данного классификационного признака являются амплитуда и скважность импульсов. Под энергией сигнала в выборке будем понимать сумму квадратов отсчетов в реализации. Данный признак не использует понятия шума, рассчитывается общая энергия сигнала. Рассмотрим алгоритм расчета энергии.

**Шаг 1.** Центрируем сигнал в соответствии с алгоритмом, рассмотренным выше.

*Шаг 2.* Рассчитываем значение энергии, взяв сумму квадратов отсчетов:

$$E = \sum_{i=1}^N (S_i^1)^2. \quad (5)$$

По данному алгоритму были рассчитаны зависимости энергии от реализации для сигналов, создаваемых одним человеком и группами лиц численностью от 2 до 14 человек (рис. 3, см. с. 4 обложки). Каждая кривая рассчитывалась по 10 записям сигнала с последующим усреднением. В анализе использовались сигналы людей, полученные с помощью программы моделирования, и не были использованы записи сигналов транспортных средств (ТС). Это связано с тем, что амплитуды сигналов в модельных и реальных записях могут значительно различаться, а так как амплитуда является основным понятием для данного признака, сравнивать сигналы из разных источников бессмысленно.

Ось ординат имеет масштаб, нормированный на максимальную энергию одного человека. Уровень энергии сигнала малых групп при увеличении численности членов возрастает практически линейно, с дальнейшим увеличением численности членов группы рост энергии замедляется (см. рис. 3, а).

Уровень энергии сигнала двух человек (т. е. группы) превышает энергию одного человека более чем в 1,5 раза (см. рис. 3, б). Это позволяет говорить о том, что по данному классификационному признаку можно уверенно различать одного человека и группу.

Ввиду большой массы энергия сигнала ТС значительно превышает энергию сигнала одного человека. Поэтому данные классы легко различимы по пороговому значению. Однако большие группы людей способны создавать возмущения, сравнимые с ТС, и в общем случае различить их сигналы по данному признаку невозможно.

### 3. Спектр огибающей сигнала.

Под огибающей сигнала понимается модуль  $N$  последовательных временных реализаций сигнала ( $N = 5 - 10$ ). Под спектром огибающей сигнала будем понимать разложение выборки сигнала на гармоники с помощью процедуры быстрого преобразования Фурье (БПФ). Нужно отметить, что подвергать анализу следует довольно продолжительные по времени выборки сигнала (длительностью несколько секунд, отсюда  $N = 5 - 10$ ). Это связано с низкой частотой шагов человека, который за 1 с делает не более трех шагов.

Рассмотрим алгоритм получения спектра сигнала с помощью процедуры БПФ.

*Шаг 1.* Аналогичен шагу 1 предшествующих алгоритмов.

*Шаг 2.* Переводим сигнал в область положительных значений, взяв модуль каждого отсчета:

$$S_i^2 = |S_i^1|. \quad (6)$$

*Шаг 3.* К сигналу  $S^2$  применяем процедуру БПФ.

В анализе были использованы записи модельных сигналов, создаваемых одним человеком и группами лиц, а также записи одного, двух человек и ТС, полученные в ходе натуральных испытаний.

Характер спектра у механических ТС и людей различен. В спектре сигнала человека основной дискретной составляющей является частота шагов. Помимо нее также наблюдаются гармоники, кратные основной частоте, но с убывающей амплитудой (рис. 4, а). Набор данных гармоник составляет «звукоряд» человека.

Спектр человека является довольно «низкочастотным», т. е. за пределами  $\sim 10...12$  Гц какая-либо полезная информация отсутствует. Поэтому на приведенных здесь графиках верхней частотой является 12 Гц.

Результирующий спектр группы будет состоять из набора «звукорядов» ее отдельных членов. Так, в спектре сигнала группы из двух человек хорошо различимы два звукоряда (рис. 4, б).

Если частота шагов членов группы различается несущественно, это будет приводить к тому, что звукоряды отдельных членов будут «сливаться», образуя более «широкие» дискретные составляющие. При увеличении численности членов группы выраженность, т. е. амплитуда, их звукорядов будет уменьшаться.

Характерной особенностью сигнала от ТС (рис. 4, в) является наличие в его спектре мощных дискретных составляющих, в какие-то моменты времени значительно превышающих уровень сплошной (шумовой) части спектра. Их появление носит случайный характер во времени и обусловлено режимами работы механизмов и дорожными условиями.

Важным обстоятельством является то, что частоты дискретных составляющих значительно превышают максимальную частоту в спектре людей.

В дополнение к изложенным характеристикам спектров рассмотрим величину отношения наиболее выраженной гармоники спектра к нулевой гармонике БПФ. Как показало проведенное исследование, эта величина различна для рассматриваемых классов объектов (рис. 5).

Кривая 1 построена по средним данным, полученным при анализе модельных записей. Для сравнения показаны кривые, построенные по несколькими натуральным записям каждая, иллюстрирующие возможный разброс значений в пределах класса.

При анализе графика можно заметить, что рассматриваемое отношение для одного человека превышает подобное для группы из двух человек

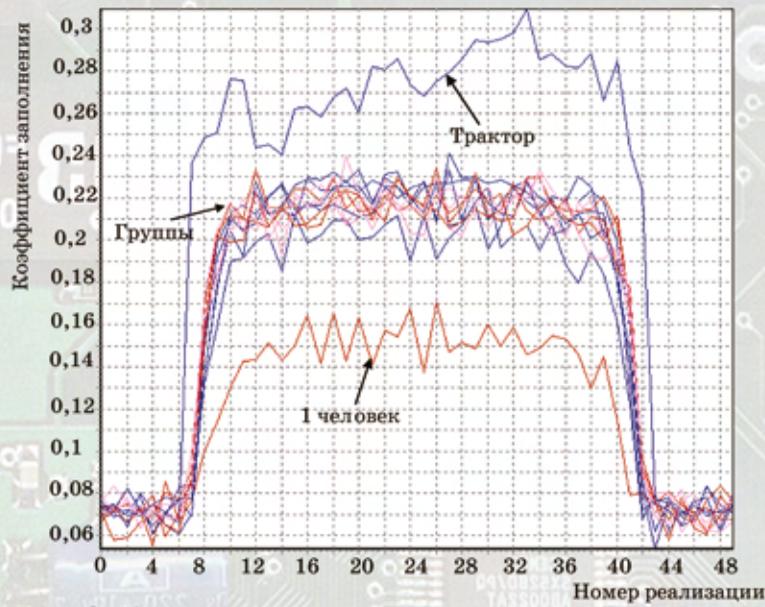


Рис. 2. Коэффициенты заполнения выборки для различных классов целей

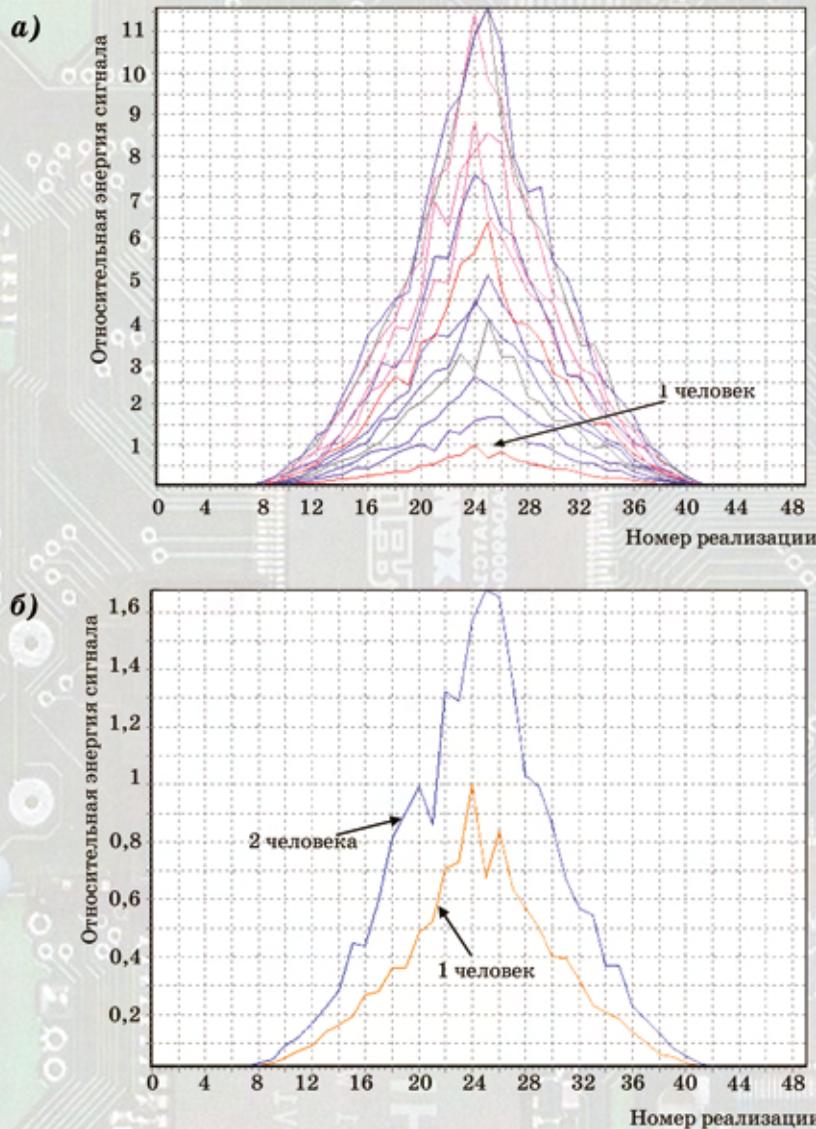
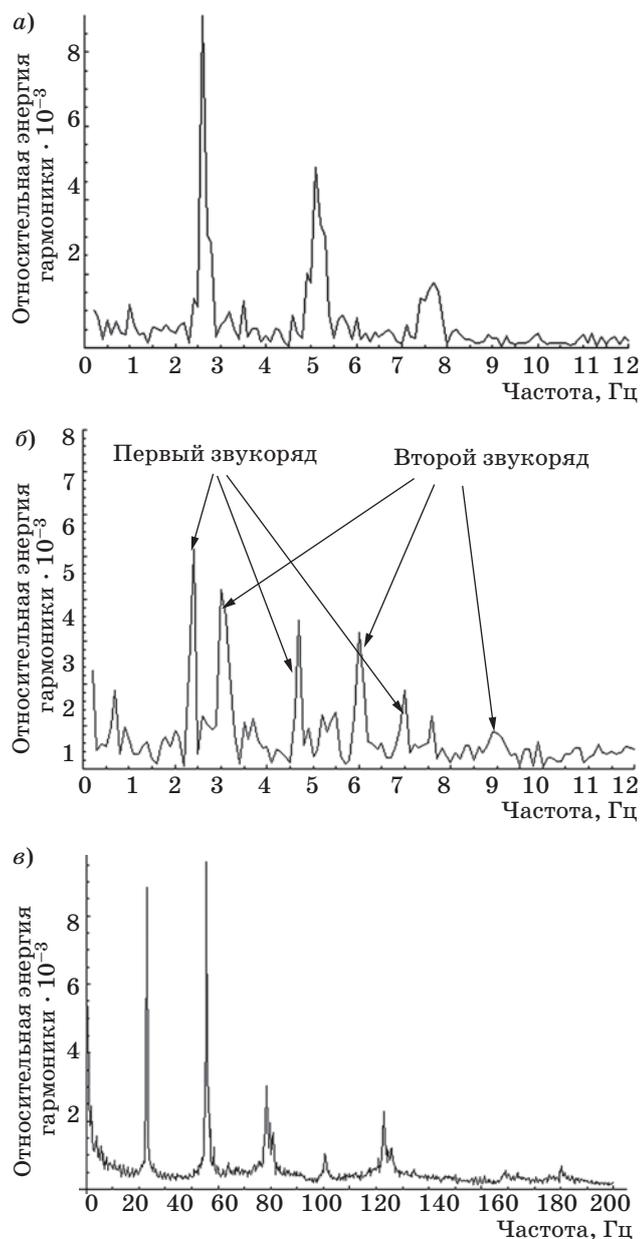


Рис. 3. Относительные энергии сигналов:  
а – для групп людей различной численности;  
б – для одного и двух человек

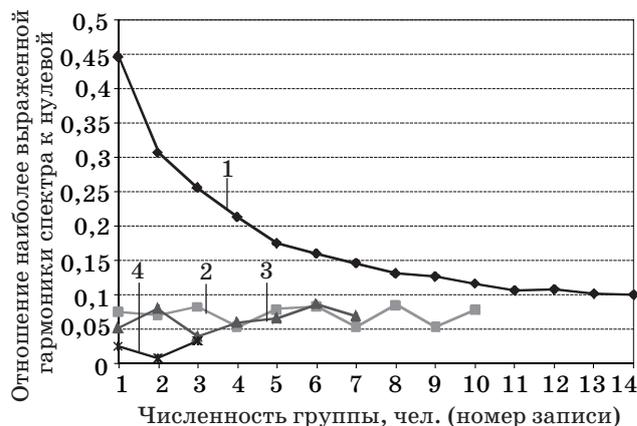


■ Рис. 4. Спектр сигнала: а — одного человека; б — группы из двух человек; в — транспортного средства

в полтора раза, что позволяет различать данные классы. Для групп небольшой численности данное отношение превышает подобное для ТС, и эти классы различимы по пороговому значению.

Опираясь на результаты, по данному признаку можно сделать следующие выводы:

- сигнал ТС отличается от сигнала людей по наличию в его спектре выраженных дискретных составляющих в области частот выше 20 Гц;
- спектр сигнала одного человека содержит один звукоряд из дискретных составляющих, кратных основной частоте (частоте шагов);



■ Рис. 5. Отношение наиболее выраженной гармоники спектра к нулевой для: 1 — группы; 2 — машины; 3 — трактора; 4 — шума

- при достаточном различии в частотах следования шагов у разных членов группы в спектре будут наблюдаться дискретные составляющие из разных звукорядов, а следовательно, не кратные какой-то одной частоте. По этому признаку различаются сигналы одного человека и группы людей;

- величина отношения наиболее выраженной гармоники спектра к нулевой гармонике БПФ для человека больше, чем для группы и ТС;

- величина отношения наиболее выраженной гармоники спектра к нулевой для групп небольшой численности больше, чем для ТС.

### Заключение

Было показано, что сигнал единичного сейсмического датчика содержит в себе классификационную информацию об объектах различных типов. Такая информация позволяет производить классификацию объектов по трем типичным для данных средств охраны классам: человек, группа людей и ТС.

Во временном сигнале были выявлены и рассмотрены три классификационных признака, каждый из которых позволяет разделять объекты разных типов (таблица).

Звездочками отмечены классификационные признаки, которые позволяют разделить соответствующие типы объектов. Использование данных признаков в программе реального датчика нуждается в некотором дополнении. Так, при наблюдении движущегося объекта отдельный классификационный признак может относить его к разным классам с течением времени. Это связано с неравномерностью движения объекта, изменением рельефа в зоне ответственности датчика, неоднородностью почвы и другими факторами.

| Сравниваемые классы | Классификационный признак      |                           |                          |
|---------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                     | Коэффициент заполнения выборки | Энергия сигнала в выборке | Спектр огибающей сигнала |
| Человек — группа    | ★                              | ★                         | ★                        |
| Человек — ТС        | ★                              | ★                         | ★                        |
| Группа — ТС         | ★                              |                           | ★                        |

Поэтому необходимо обрабатывать сигнал одновременно по всем трем признакам, причем с выдчей по каждому из них количественной оценки, а затем на основе этих количественных оценок принимать окончательное решение об отнесении объекта к тому или иному типу.

Задача классификации движущихся объектов по сигналу единичного сейсмического датчика является решаемой. Предлагаемые классификационные признаки могут служить основой алго-

ритмов классификации, применяемых в реальных датчиках.

Авторы благодарны НИИ прикладной акустики и НИИ «Атолл» за предоставление записей натурных экспериментов.

### Литература

1. Звездинский С. С. Быстроразвертываемые средства обнаружения и охранные системы. Ч. 1. <http://www.dedal.ru/publication/texts/zvezhinsky-bystroSO&OS-1.doc>, 25.04.2007.
2. Звездинский С. С. Быстроразвертываемые средства обнаружения и охранные системы. Ч. 2. <http://www.dedal.ru/publication/texts/zvezhinsky-bystroSO&OS-2.doc>, 25.04.2007.
3. Дудкин В. А., Дудкин С. В. Синтез выходного сигнала сейсмоприемника при движении человека и группы людей. <http://www.pniei.penza.ru/conf/tom1/034/t3.htm>, 11.03.2006.

### ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

*Поступающие в редакцию статьи проходят обязательное рецензирование.*

При наличии положительной рецензии статья рассматривается редакционной коллегией. Принятая в печать статья направляется автору для согласования редакторских правок. После согласования автор представляет в редакцию окончательный вариант текста статьи.

Процедуры согласования текста статьи могут осуществляться как непосредственно в редакции, так и по e-mail (80x@mail.ru).

При отклонении статьи редакция представляет автору мотивированное заключение и рецензию, при необходимости доработать статью — рецензию. Рукописи не возвращаются.

*Редакция журнала напоминает, что ответственность за достоверность и точность рекламных материалов несут рекламодатели.*