

УДК 654.924.3 (043.2)

Соколов Г.Е., к.ф.-м.н

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО СИГНАЛА ОХРАННОГО АКУСТИЧЕСКОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ

Національний авіаційний університет

dr.gennadii.sokolov@gmail.com

Введение. Постановка задачи.

Охранный акустический дистанционный извещатель предназначен для охраны помещений от проникновения посторонних лиц через окно посредством разбития стекла. Акустический извещатель должен срабатывать при разбитии стекол разной толщины, размеров и марок, вставленных в деревянные, металлические, металлопластиковые рамы. При этом велик разброс параметров акустических сигналов. В результате извещатель, реагирующий на акустические сигналы, параметры которых выбраны «с запасом», может срабатывать на телефонный звонок, звук металлического удара и другие аналогичные помехи. Распознавание информационного шумового сигнала на фоне шумовых помех порождает высокий уровень ложных тревог. Акустические охранные извещатели имеют структуру, показанную на рис. 1.

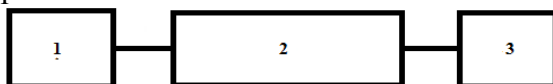


Рис. 1. Акустический охранный извещатель:
1-микрофон; 2-узел обработки и распознавания; 3- формирователь выходного сигнала.

Микрофон осуществляет преобразование акустических колебаний в электрические. Электрический информационный сигнал после преобразования поступает на узел обработки и распознавания, реализующий тот или иной алгоритм распознавания. Формирователь выходного сигнала синтезирует выходной сигнал в формате связи с приемо-контрольным прибором.

Как правило, в современных акустических извещателях алгоритм распознавания основан на двухканальной об-

работке. В [1] это объясняется тем, что высокочастотный звук разбития стекла является хотя и достаточно характерным, но все же вторичным. При разрушающем ударе по стеклу на первом этапе происходит небольшой прогиб стеклянного полотна и его вибрация, в результате которой возникают низкочастотные звуковые колебания в диапазоне от единиц до сотен Гц (в зависимости от размеров стекла, способа его разрушения, особенностей размещения несущей конструкции). В этот момент в стекле возникает внутреннее напряжение. Если оно превышает критический уровень, то происходит разлом материала, сопровождающийся образованием и распространением трещин. Возникающая при этом акустическая эмиссия порождает тот самый характерный высокочастотный звук разбития стекла.

В [1] утверждается, что при правильном формировании набора признаков полезного сигнала и критериев их анализа вполне достаточно двух основных частотных диапазонов.

Однако, научно-технической информации о краш-тестах оконных стекол, которая бы подтвердила такие выводы, в современных источниках найдено не было.

Настоящая статья посвящена проведению краш-тестов оконных стекол и анализу полученных при краш-тестах звуков разбития стекла. Она направлена на поиск путей улучшения обработки сигналов в акустическом охранном извещателе.

Проведение исследований.

I. Методика исследования

В качестве объекта краш-тестов были взяты реальные оконные стекла в деревянных рамах. Стекла разбивались с

помощью камня, при этом звуки бьющегося стекла записывались через микрофон, подключенный к звуковой карте компьютера в wav-file. Затем этот файл преобразовывался в формат пакета MATLAB. Таким образом, компьютер использовался в качестве самописца [2,3]. Так были получены образцы звуков разбития стекла № 1-10. Пример записи информационного сигнала приведен на ниже на рис.2.

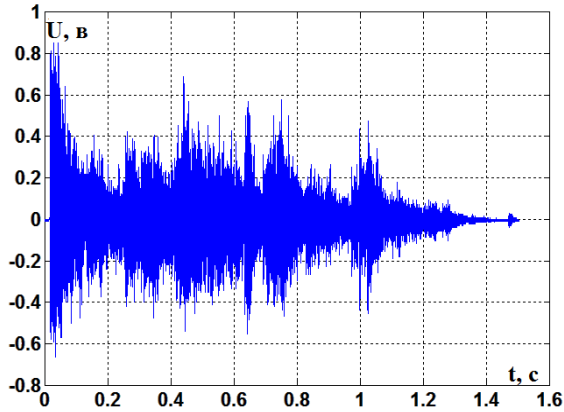


Рис.2. Образец №1 звука разбития стекла.

Дальнейшая обработке акустического сигнала, переведенного в цифровую форму, проводилась средствами пакета MATLAB [4,5].

Целью теоретического численного исследования было определение частотно-временных характеристик звуков разбития стекла, полученных в результате краш-тестов. Функциональная схема анализа показана на рис. 3.

На рис. 3 соответствующие блоки выполняют следующие функции.

1. Считывание wav-file образца акустического сигнала из базы данных и преобразование его в матричную форму пакета MATLAB.
2. Цифровая фильтрация осуществлялась с помощью полосового фильтра Баттерворта 4 порядка.
3. Детектирование осуществлялось с помощью линейного двухполупериодного детектора с ФНЧ Баттерворта 4 порядка с частотой среза 10 Гц.
4. Измерение энергии акустического сигнала, отфильтрованного в полосе частот, на нагрузке 1 Ом.
5. Измерение длительности полного акустического сигнала.

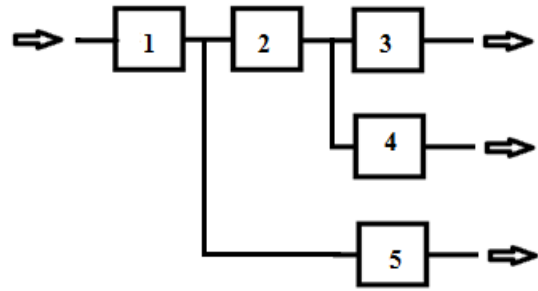


Рис 3. Функциональная схема анализа звука.

II. Результаты анализа временных характеристик.

Результаты анализа приведены на рис. 4-7. На рис. 4 показаны огибающие сигналов, отфильтрованных в 11 полосах шириной 1 кГц, от 0 кГц до 11 кГц. Видно качественное отличие огибающей низкочастотного сигнала с полосой 0...1 кГц от высокочастотных составляющих. Низкочастотный сигнал короткий, его длительность до 0,2 с. Высокочастотные компоненты (все 10) делятся всю длительность сигнала. Задержки высокочастотных компонент сигнала относительно низкочастотных в данном акустическом образце не обнаружено.

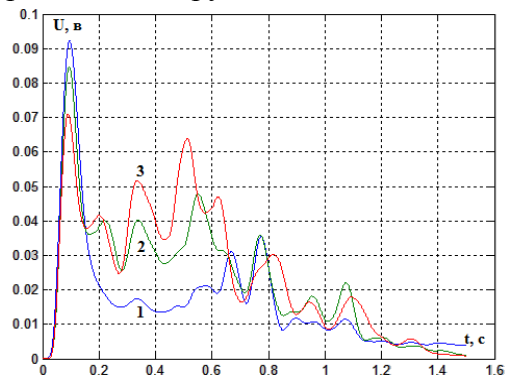


Рис.4. Результаты исследования огибающей:
1- первая полоса; 2- вторая полоса;
3- третья полоса.

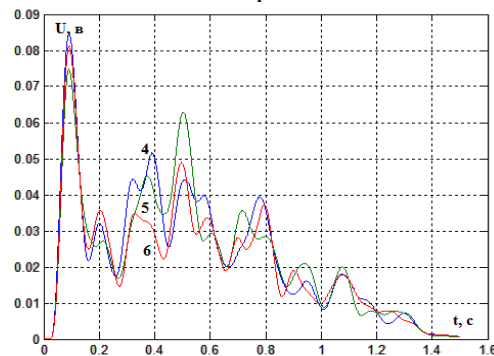


Рис.5. Результаты исследования огибающей:
4- четвертая полоса; 5-пятая полоса;
6- шестая полоса.

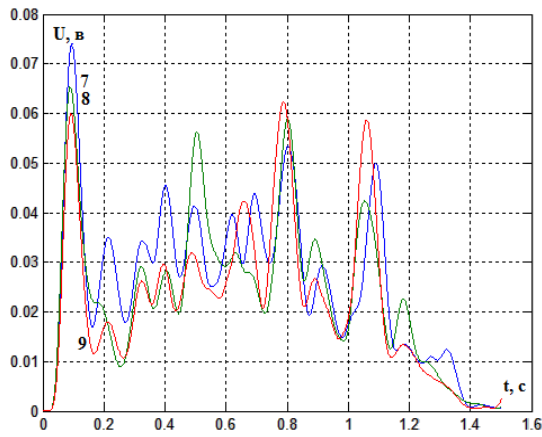


Рис.6. Результаты исследования огибающей:
7- седьмая полоса; 8-восьмая полоса;
9- девятаяполоса.

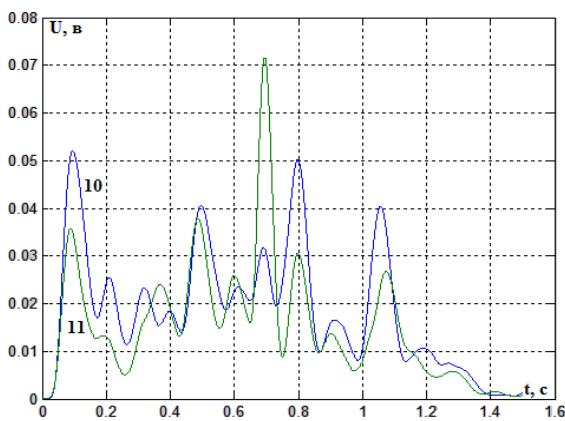


Рис.7. Результаты исследования огибающей
10- десятая полоса; 11-
одиннадцатаяполоса.

Проанализируем более подробно низкочастотную составляющую сигнала огибающей. На Рис. 8 показаны огибающие сигнала, отфильтрованного в полосах 0...100 Гц, 0...500 Гц, 0...1000 Гц.

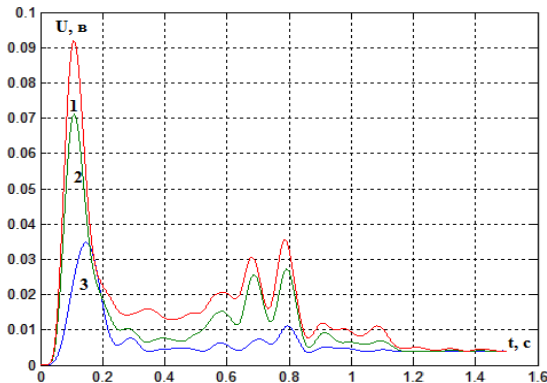


Рис.8. Результаты исследования огибающей:
1- полоса 0...1000 Гц. 2- полоса
0...500 Гц. 3- полоса 0...100
Гц

Видно, что временные их характеристики одинаковы, а амплитуды примерно пропорциональны ширине полосы.

Необходимо отметить, что никакой задержки высокочастотных компонент сигнала относительно низкочастотных ни в одном образце не было. Следовательно, описание процесса разрушения стекла, приведенное в [1] не соответствует действительности.

III. Энергетические характеристики акустического сигнала.

Проанализируем энергетические характеристики частотных компонент акустического сигнала. Энергия E_f акустического сигнала U_f , отфильтрованного в полосе частот и выделяемая на нагрузке 1 Ом за время длительности сигнала T вычислялась по формуле:

$$E_f = \int_0^T U_f^2 dt..$$

На рис 9 приведено распределение энергии по частотным полосам в процентах по отношению к энергии в общей полосе 0...11 кГц.

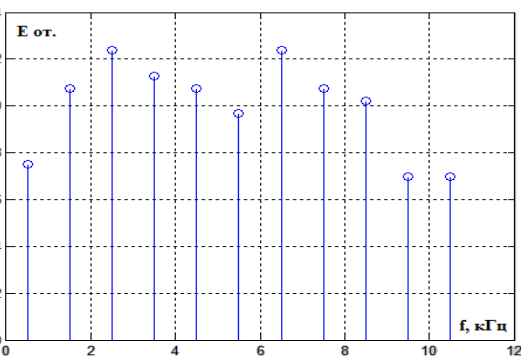


Рис.9. Распределение энергии акустического сигнала по частотным полосам.

Можно сделать вывод, что распределение энергии по частотным полосам близко к равномерному. Исследование всех 10 образцов акустических сигналов, полученных в краш-тестах, показали такую же закономерность в их энергетическом спектре.

Таким образом, по своим энергетическим характеристикам звук разбития стекла близок к «белому» шуму. Рис. 2 показывает, что этот шум не является стационарным. Распределение на

пряжения U (в вольтах) меняется во времени.

Были исследованы распределения данных измерений шумового сигнала (с частотой дискретизации) в следующих интервалах времени: 1 интервал – $0 \dots 0,225$ с., 2 интервал – $0,225 \dots 0,45$ с., 3 интервал – $0,45 \dots 0,675$ с., 4 интервал – $0,675 \dots 0,9$ с., 5 интервал – $0,9 \dots 1,13$ с., 6

интервал – $1,13 \dots 1,36$ с. Гистограммы распределения данных измерений в интервалах времени показаны на рис. 10 (а,б,в,г,д,е).

Рис. 10 показывает, что распределение сигнала близко к гауссовому. Из табл.1 следует, что дисперсия нестационарного сигнала уменьшается немонотонно.

Табл.1 Дисперсия распределения сигнала разбития стекла по временным интервалам

| № интервала | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|
| Величина дисперсии | 0.0300 | 0.0173 | 0.0197 | 0.0132 | 0.0069 | 7.3650e-04 |

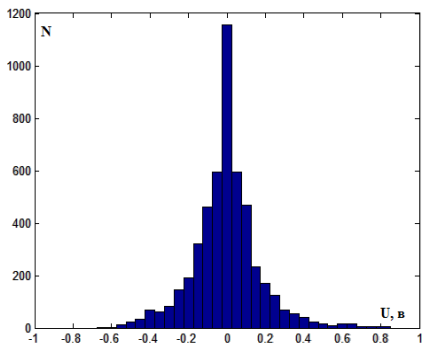


Рис.10а. Распределение в 1 интервале.

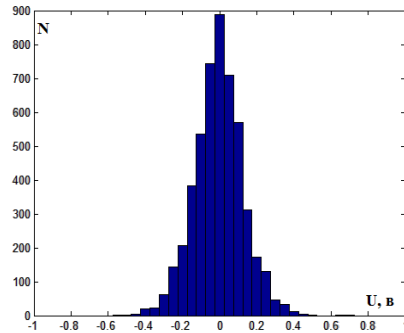


Рис.10б. Распределение в 2 интервале.

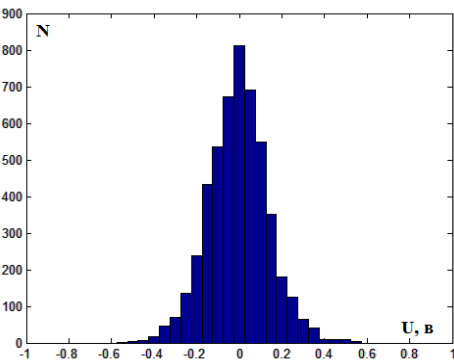


Рис.10в. Распределение в 3 интервале.

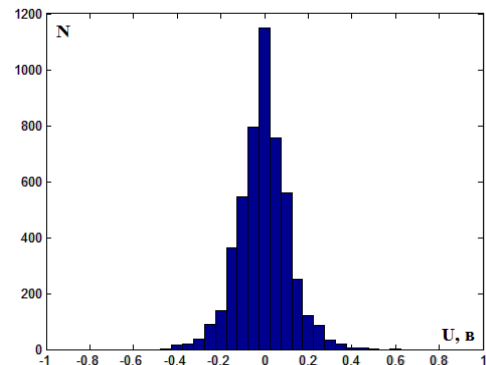


Рис.10г. Распределение в 4 интервале.

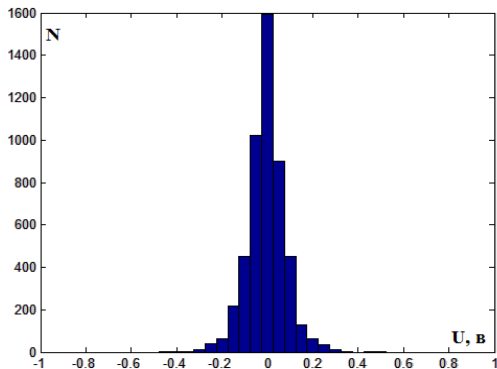


Рис.10д. Распределение в 5 интервале.

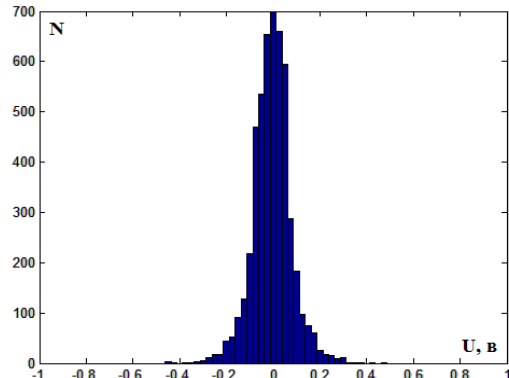


Рис.10е. Распределение в 6 интервале.

IV. Анализ временных характеристик звуков разбития стекла.

Общая динамика развития сигнала одинакова. Нарастание сигнала быстрое, спад медленный. Несколько последовательных всплесков соответствует вторичному разбитию осколков, образовавшихся при первичном разбитии, при ударе их о землю и столкновении между собой.

Результаты измерения длительности звука разбития стекла в образцах № 1-10 приведены в таблице 2.

Среднее значение длительности и среднеквадратичное отклонение по 10 проанализированным образцам:

$$T = 1,28 \pm 0,40 \text{ с.}$$

Абсолютный разброс

$$T_{\max} \dots T_{\min} = 2,1 \dots 0,65 \text{ с.}$$

Табл. 2. Результаты измерения длительность звука разбития стекла

| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 6 |
|-------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| T, с. | 1,4 | 1,4 | 0,95 | 1,4 | 0,65 | 1,2 | 0,95 | 1,6 | 2,1 | 1,1 | 1,2 |

Выводы

Проведенные исследования позволили определить временные и частотные характеристики информационного сигнала. Показано:

1. Низкочастотная компонента звука разбития стекла (до 1 кГц) не имеют опережения относительно высокочастотных компонент.

2. Низкочастотная компонента сигнала короткая, ее длительность до 0,2 с. Высокочастотные компоненты (все 10) делят всю длительность сигнала.

3. Качественно, сигнал разбития стекла близок к нестационарному белому шуму с гауссовым распределением, энергетическим спектром близким к равномерному и немонотонно уменьшающейся дисперсией

4. Абсолютный разброс длительности звуков разбития стекла определяется длительностью вторичного разбития осколков и их количеством и имеет величину $2,1 \dots 0,65$ с.

Результаты исследования могут быть полезны как разработчикам охраняемых акустических извещателей при совершенствовании алгоритмов обработ-

Это довольно большой разброс величины длительности звука разбития стекла. Он вызван длительностью вторичного разбития осколков и их количеством, т.е. площадью оконного стекла, в конечном счете. Тем не менее, эти параметры длительности звуков разбития стекла возможно могут послужить характерной чертой, отделяющей звуки разбития оконного стекла от менее продолжительных звуков разбития стеклянных предметов и от более продолжительных звуков пиления дерева, металла и асфальта, которые также имеют высокочастотный спектр. Исследование таких артефактов в специальной литературе найдено не было.

ки, так и студентам при изучении принципов работы радиоэлектронных систем безопасности.

Литература

1. Ворона В.А., Тихонов В.А. Технические системы охранной и пожарной сигнализации. – М.: Горячая линия– Телеком, 2012. – 376 с.

2. Соколов Г.Е. Тестирование самописца, построенного на основе ввода сигнала через порт звуковой карты персонального компьютера. // Збірник наукових праць Інституту електроніки та систем управління. – №3. – 2009. – С.12- 20.

3. Соколов Г.Е. Сравнительный анализ компьютерных приборов. // Збірник наукових праць Інституту електроніки та систем управління. – №4. – 2009. – С.80-89.

4. Дьяконов В.П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 976 с.

5. Соколов Г.Е. Исследование информационного сигнала акустического охранного извещателя. Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2019» – К.: НАУ, 2019. – С. 14.5-14.9.

Соколов Г.Е., к.ф.-м.н

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО СИГНАЛА ОХРАННОГО АКУСТИЧЕСКОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ

Работа посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию характеристик полезного акустического сигнала разбития оконного стекла, который используется в работе акустических охранных извещателей. Охранный акустический дистанционный извещатель предназначен для охраны помещений от проникновения посторонних лиц через окно посредством разбития стекла. Устройство должно реагировать на акустические сигналы, возникающие при разбитии различных окон, при этом, велик разброс параметров акустических сигналов. Распознавание информационного шумового сигнала на фоне шумовых помех порождает высокий уровень ложных тревог. Для уменьшения уровня ложных тревог применяют различные алгоритмы распознавания, адаптированные к особенностям сигнала разбития стекла.

В работе приведены результаты краш-тестов оконных стекол и анализ полученных при краш-тестах звуков разбития стекла. Целью исследования было определение частотно-временных характеристик звуков разбития стекла, полученных в результате краш-тестов. Проведенные исследования показали следующее:

1. Низкочастотная компонента звука разбития стекла (до 1 кГц) не имеют опережения относительно высокочастотных компонент. 2. Низкочастотная компонента сигнала короткая, ее длительность до 0,2 с. Высокочастотные компоненты делятся всю длительность сигнала. 3. Качественно, сигнал разбития стекла близок к нестационарному белому шуму с гауссовым распределением, энергетическим спектром близким к равномерному и немонотонно уменьшающейся дисперсией. 4. Абсолютный разброс длительности звуков разбития стекла определяется длительностью вторичного разбития осколков и их количеством и имеет величину 2,1...0,65 с.

Результаты исследования могут быть полезны как разработчикам охранных акустических извещателей при совершенствовании алгоритмов обработки информационного сигнала, так и студентам при изучении принципов работы радиоэлектронных систем безопасности.

Ключевые слова: акустические охранные извещатели, краш-тесты оконных стекол, анализ звуков с помощью MATLAB.

Соколов Г.Є., к.ф.-м.н.

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО СИГНАЛУ ОХОРОННОГО АКУСТИЧНОГО СПОВІЩУВАЧА

Робота присвячена експериментальному і теоретичному дослідженню характеристик корисного акустичного сигналу розбиття віконного скла, що використовується у роботі акустичних охоронних сповіщувачів. Охоронний акустичний дистанційний сповіщувач призначений для охорони приміщень від проникнення сторонніх осіб через вікно за допомогою розбиття скла. Пристрій повинен реагувати на акустичні сигнали, що виникають при розбитті різних вікон, при цьому, великий розкид параметрів акустичних сигналів. Розпізнавання інформаційного шумового сигналу на тлі шумових перешкод породжує високий рівень помилкових тривог. Для зменшення рівня помилкових тривог застосовують різні алгоритми розпізнавання, що адаптовані до особливостей сигналу розбиття скла.

В роботі проведені краш-тести віконного скла і аналіз отриманих при краш-тестах звуків розбиття скла. Метою дослідження було визначення частотно-

часових характеристик звуків розбиття скла, отриманих в результаті краш-тестів. Проведені дослідження показали наступне:

1. Низькочастотна компонента звуку розбиття скла (до 1 кГц) не мають випередження щодо високочастотних компонент. 2. Низькочастотна компонента сигналу коротка, її тривалість до 0,2 с. Високочастотні компоненти тривають всю тривалість сигналу. 3. Якісно, сигнал розбиття скла близький до нестационарному білого шуму з гаусовим розподілом, енергетичним спектром близьким до рівномірного і немонотонно зменшується дисперсією. 4. Абсолютний розкид тривалості звуків розбиття скла визначається тривалістю вторинного розбиття осколків і їх кількістю і має величину 2,1 ... 0,65 с.

Результати дослідження можуть бути корисні як розробникам охоронних акустичних сповіщувачів при вдосконаленні алгоритмів обробки інформаційного сигналу, так і студентам при вивченні принципів роботи радіоелектронних систем безпеки.

Ключові слова: акустичні охоронні сповіщувачі, краш-тести віконного скла, аналіз звуків за допомогою MATLAB.

Sokolov G.E.

RESEARCH OF THE INFORMATION SIGNAL OF THE SECURITY ACOUSTIC DETECTOR

The paper is devoted to experimental and theoretical study of the characteristics of a useful acoustic signal for breaking window glass, which is used in the work of acoustic security detectors. The security acoustic remote detector is designed to protect the premises from the penetration of unauthorized persons through the window by breaking glass. The device must respond to acoustic signals that occur when various windows are broken in case of large variation in the parameters of the acoustic signals. Recognition of an informational noise signal on the background of noise interference generates a high level of false alarms. To reduce the level of false alarms, various recognition algorithms are used, which are adapted to the features of the glass breaking signal.

In the paper, crash tests of window glasses and an analysis of the sounds of glass breaking obtained during crash tests were carried out. The aim of the study was to determine the time-frequency characteristics of glass breaking sounds obtained as a result of crash tests, and the possibility of improving the technical characteristics of acoustic security detectors by changing recognition

algorithms. Studies have shown the following:

1. The low-frequency component of the sound of breaking glass (up to 1 kHz) are not ahead of the relatively high-frequency components. 2. The low-frequency component of the signal is short, its duration is up to 0.2 s. High-frequency components are observed during the entire duration of the signal. 3. Qualitatively, the glass breaking signal is close to unsteady white noise with a Gaussian distribution, the energy spectrum is close to a uniform and non-monotonously decreasing variance. 4. The absolute spread of the duration of the sounds of breaking glass is determined by the duration of the secondary breaking of the fragments and their number and has a value of 2.1 ... 0.65 s.

The results of the study can be useful both to developers of security acoustic detectors when improving algorithms for processing an information signal, and to students when studying the principles of operation of electronic security systems.

Keywords: acoustic security detectors; crash tests of window glasses; sound analysis, using MATLAB.