

УДК 654.924.3: 004.942 (045)

Соколов Г.Е., к.ф.-м.н.

ПОСТРОЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ОХРАННОГО АКУСТИЧЕСКОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ

Національний авіаційний університет

dr.gennadii.sokolov@gmail.com

Введение. Постановка задачи

Моделирование систем на уровне функциональных схем широко используется в практике проектирования [1]. В настоящей работе проводится моделирование на уровне функциональной схемы средствами MATLAB охранного акустического извещателя. Подобные извещатели широко применяются в системах охранной сигнализации. Охранный акустический дистанционный извещатель предназначен для охраны помещений от проникновения посторонних лиц через окно посредством разбития стекла. Акустический извещатель должен дистанционно воспринимать звуки в охраняемом помещении, анализировать их и автоматически делать вывод о наличии или отсутствии факта разбития стекла. При этом возможен пропуск цели (при слишком тихом звуке) или ложная тревога (при срабатывании, например, на звук разбитой посуды).

Целью разработки модели является получение возможностей теоретического исследования влияния параметров обработки сигнала в извещателе на эффективность обнаружения им нарушителя в акустических помехах.

Разработка компьютерной модели охранного акустического извещателя осуществляется согласно методике, представленной в [2,3], в процессе выполнения следующих этапов:

1. Выбор извещателя-прототипа.
2. Построение и анализ структурной схемы извещателя-прототипа и обработки сигнала в структурных единицах этой схемы.

3. Построение функциональной модели извещателя на основе его структурной схемы.

4. Построение математической модели обработки сигнала в извещателе.

5. Разработка структурной схемы компьютерной программы, реализующей математическую модель.

6. Составление и отладка компьютерной программы на выбранном языке программирования.

7. Тестирование программы.

Разработка компьютерной модели

1. Выбор извещателя-прототипа.

Акустические охранные извещатели имеют структуру, показанную на рисунке 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 обработке [4]. В одном канале анализируются низко-

частотные звуковые колебания в диапазоне от единиц до сотен Гц. В другом канале анализируются высокочастотные компоненты звука разбития стекла.

В [4] утверждается, что при правильном формировании набора признаков полезного сигнала и критериев их анализа вполне достаточно двух основных частотных диапазонов.

2. Построение и анализ структурной схемы извещателя – прототипа и обработки сигнала в структурных единицах этой схемы.

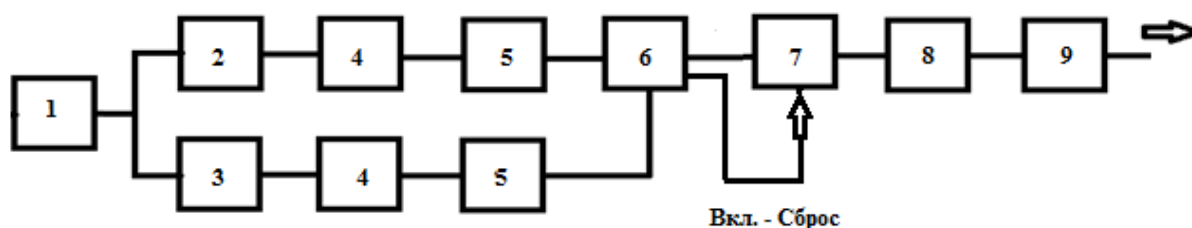


Рис 2. Структурная схема акустического извещателя разбития стекла.

1. Микрофон с усилителем. 2. ФНЧ. 3. ПФ. 4. Детектор огибающей. 5. Пороговое устройство. 6. Схема совпадения. 7. Интегратор. 8. Пороговое устройство. 9. Ключевая схема с реле.

Работа извещателя, построенного по приведенной схеме, происходит следующим образом.

Микрофон с усилителем (1) преобразует звуковые волны в электрический сигнал и усиливает его до уровня, необходимого для работы линейного детектора и пороговых устройств. Сигнал одновременно подается на фильтр низких частот (2) и полосовой фильтр (3), которые организуют два частотных канала: низкочастотный и высокочастотный. Сигналы в каждом канале детектируются линейными детекторами огибающей со сглаживанием (4). Сглаженные сигналы обоих каналов сравниваются с порогами в пороговых устройствах – компараторах (5). На выходе пороговых устройств формируются импульсы фиксированной амплитуды и длительностью, равной интервалу времени, в который уровень огибающей больше порогов (пороги разные в низкочастотном и высокочастотном каналах). Выходные импульсы пороговых устройств попадают на схему совпадений (6), которая вырабатывает импульс фиксированной

Однако ни признаков, ни критериев, ни подробной структурной схемы не приведено ни в [1], ни в иной современной литературе. Поэтому признаки и критерии выбирались исходя из проведенных автором краш-тестах и их анализе [5]. На основании выбранных критериев и была построена структурная схема извещателя, приведенная на Рис.2.

амплитуды и длительностью, равной интервалу времени, в который уровень огибающей больше порогов одновременно в низкочастотном и высокочастотном каналах.

Переход схемы совпадений на высокий уровень выходного сигнала включает интегратор. Одновременно импульс схемы совпадений подается на вход интегратора, на выходе которого формируется медленно растущее напряжение, пропорциональное длительности времени интегрирования. Выходное напряжение интегратора подается на пороговую схему (8). При превышении порога на выходе пороговой схемы появляется высокое напряжение, которое включает ключевую схему (9), инициирующую реле с самоблокировкой. Контакты реле включаются в шлейф сигнализации. Извещатель переходит в состояние «Тревога».

После окончания импульса схемы совпадений, на ее выходе появляется низкий уровень напряжения, который сбрасывает интегратор. Если длительность импульса мала, то выходного напряжения интегратора недостаточно, чтобы сработала

пороговая схема (8). Ключевая схема не включается, реле не иницируется. Извещатель остается в состоянии «Дежурный».

Таким образом, критерием, по которому извещатель делает вывод о наличии факта разбития стекла, является одновременное превышение порога по уровню интенсивности звуковой волны в обоих частотных каналах, при этом время одновременного превышения порогов должно быть значительной частью времени разбития стеклянного полотна (без разбития осколков) – 0,1 секунда.

Что касается выбора порогов по интенсивности, то он осуществляется во время настройки извещателя на этапе тестирования, обычно изменением коэффициента усиления усилителя.

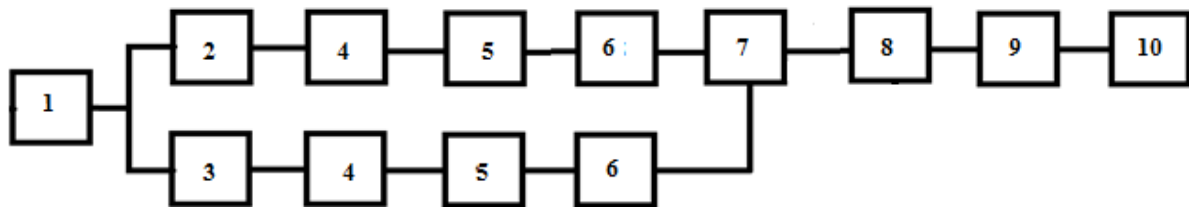


Рис.3. Функциональная модель извещателя

Моделирование согласно схеме, показанной на Рис. 4, происходит следующим образом.

Блок 1. Считывание из базы данных образца звука разбития стекла в форме Wav-file и преобразование его в формат матрицы MATLAB.

Блок 2. Моделирование ФНЧ фильтром Баттерворта 4 порядка и частотой отсечки 500 Гц операторами MATLAB.

Блок 3. Моделирование ПФ фильтром Баттерворта 4 порядка и полосой пропускания 3...11кГц операторами MATLAB.

Блок 4. Нелинейное преобразование двухполупериодного детектирования отфильтрованного сигнала: вычисление абсолютной величины входного для блока 4 сигнала оператором MATLAB.

Блок 5. Моделирование ФНЧ фильтром Баттерворта 4 порядка и частотой отсечки 10 Гц операторами MATLAB. Таким образом, на выходе блоков 5 вычисляются огибающие сигналов частотных каналов.

3. Построение модели извещателя на основе его структурной схемы.

Моделирование обработки акустического сигнала, переведенного в цифровую форму, проводилось средствами пакета MATLAB [6]. Поэтому функциональная модель извещателя, представленного на Рис.3, согласовывалась с возможностями данного пакета. На этом этапе моделирования конкретизируются модели всех узлов структурной схемы: микрофона с усилителем (1), фильтров (2,3), детекторов огибающей (4), пороговых устройств (5), схемы совпадения (6), интегратора (7), выходного каскада (8).

Функциональная схема модели извещателя показана на Рис.3.

Блок 6. В блоке сравнения происходит сравнение огибающих частотных каналов с заданными в исходных данных порогом и вырабатывается импульс единичной амплитуды и длительностью в интервал времени, когда огибающая превышала порог.

Блок 7. В блоке совпадения вырабатывается импульс единичной амплитуды и длительностью в интервал времени, когда огибающие обоих частотных каналов превышали заданные пороги.

Блок 8. В блоке интегратора импульс блока совпадения интегрируется и на выходе получается напряжение, пропорциональное длительности входного импульса.

Блок 9. Напряжение, пропорциональное длительности входного импульса, сравнивается с заданным в исходных данных порогом. При превышении порога считается, что факт разбития стекла зафиксирован. Если порог не превышен, то считается, что звуковой сигнал имеет другое происхождение.

Блок 10. В данном блоке на дисплей выводится решение программы. Если звук разбития стекла зафиксирован, то на дисплей выводится слова «ТРЕВОГА». В противоположном случае на дисплей выводится слово «ДЕЖУРНЫЙ».

4. Построение математической модели обработки сигнала в извещателе и разработка структурной схемы компьютерной программы, реализующей математическую модель.

4.1 Считывание в пакет MATLAB Wav-file из базы данных осуществлялось оператором MATLAB:

```
[Z,Fs]=audioread('d:\Oct-2
2018\W\LPPGlass04.wav');
```

При этом в вектор Z заносится преобразованный wav-file LPPGlass04, находящийся на диске d в папке W, вложенной в папку Oct-2 2018. Кроме того, фиксируется Fs – частота дискретизации.

4.2 Задание цифровых исходных данных (порогов) для моделирования:

P1 – порог в Блоке сравнения НЧ канала, P2 – порог в Блоке сравнения ВЧ канала, P3 – порог в Блоке сравнения общего канала.

P1=0.1; P2=0.1; P3=0.1;

4.3 Задание цифровых параметров моделирования

N=length(Z);dt=1/Fs;t=0:dt:dt*(N-1);

Здесь N – число отсчетов, dt – интервал времени между отсчетами, t – вектор временных отсчетов, на которых осуществляется моделирование.

4.4 Моделирование фильтрации в НЧ канале осуществлялось с помощью ФНЧ Баттерворта 4 порядка с полосой пропускания 0-500 Гц следующими операторами MATLAB:

f2=500;wn=f2*2/Fs;n=4; эти операторы задают частоту отсечки и порядок фильтра.

[b,a]=butter(n,wn); этот оператор задает тип фильтра – ФНЧ Баттервордта заданного порядка и с заданной частотой отсечки.

y=filter(b,a,Z); этот оператор вычисляет выходной сигнал фильтра, при заданном в векторе Z входном сигнале и помещает выходной в вектор y.

4.5 Моделирование детектирования в НЧ канале осуществлялось с помощью линейного двухполупериодного детектора с ФНЧ Баттерворта 4 порядка с частотой среза 10 Гц. В результате вычислялась огибающая НЧ канала следующими операторами MATLAB:

y1=abs(y); этот оператор вычисляет абсолютную величину отфильтрованного НЧ сигнала, что эквивалентно преобразованию в линейном двухполупериодном детекторе.

f2=10;wn=f2*2/Fs;n=4; эти операторы задают частоту отсечки и порядок фильтра детектора.

[b,a]=butter(n,wn); этот оператор задает тип фильтра – ФНЧ Баттервордта заданного порядка и с заданной частотой отсечки.

R1=filter(b,a,y1); этот оператор вычисляет выходной сигнал фильтра, при заданном в векторе y1 входном сигнале и помещает выходной в вектор R1.

4.6 Моделирование фильтрации в ВЧ канале осуществлялось с помощью ПФ Баттерворта 4 порядка с полосой пропускания 3-11 кГц следующими операторами MATLAB:

Wn=[3000*2/Fs, 11000*2/Fs]; n=4; эти операторы задают частоты отсечки и порядок фильтра.

[B,A]=butter(n,Wn); этот оператор задает тип фильтра – ПФ Баттервордта заданного порядка и с заданными частотами отсечки.

Z1=filter(B,A,Z); этот оператор вычисляет выходной сигнал фильтра, при заданном в векторе Z входном сигнале и помещает выходной в вектор Z1.

4.7 Моделирование детектирования в ВЧ канале осуществлялось с помощью линейного двухполупериодного детектора с ФНЧ Баттерворта 4 порядка с частотой среза 10 Гц.

В результате вычислялась огибающая НЧ канала следующими операторами MATLAB:

$Z2 = \text{abs}(Z1)$; этот оператор вычисляет абсолютную величину отфильтрованного ВЧ сигнала, что эквивалентно преобразованию в линейном двухполупериодном детекторе.

$f2=10$; $wn=f2*2/Fs$; $n=4$; эти операторы задают частоту отсечки и порядок фильтра детектора.

$[b,a]=\text{butter}(n,wn)$; этот оператор задает тип фильтра – ФНЧ Баттервордта заданного порядка и с заданной частотой отсечки.

$R2=\text{filter}(b,a,Z1)$; этот оператор вычисляет выходной сигнал фильтра, при заданном в векторе $Z2$ входном сигнале и помещает выходной в вектор $R2$.

4.8 Моделирование Блоков сравнения в НЧ и ВЧ каналах проводилось посредством сравнения каждого отсчета огибающей на интервале моделирования с заданным порогом. При превышении порога в выходной вектор заносилась единица, в противном случае заносился нуль. Последовательно проверялись все отсчеты входных огибающих НЧ канала ($R1$) и ВЧ канала ($R2$) с помощью оператора цикла

while...end

и формировались выходные сигналы с помощью условных операторов

if...else...end

```
i=1;
while i<=N
if R1(i)<=P1
Q1(i)=0;c
```

```
else
Q1(i)=1;
end
if R2(i)<=P2
Q2(i)=0;
else
Q2(i)=1;
end
i=i+1;
end
```

В результате выполнения этих операторов выходной сигнал блока сравнения НЧ канала помещен в вектор $Q1$, а выходной сигнал блока сравнения ВЧ канала помещен в вектор $Q2$.

4.9 Моделирование Блока совпадения осуществлялось перемножением отсчетов векторов $Q1$ и $Q2$. Результат перемножения – это выходной сигнал Блока совпадения $Q3$. Он отличен от единицы только на том интервале времени, когда отличны от нуля одновременно $Q1$ и $Q2$.

Перемножение отсчетов осуществляется оператором:

$Q3=Q1.*Q2$;

4.10 Моделирование Интегратора оператором MATLAB:

$q3=\text{trapz}(t,Q3)$;

В результате $q3$ – это максимальный уровень выходного сигнала интегратора

4.11 Моделирование Блока сравнения в общем канале осуществлялось с помощью условного оператора

if...else...end

и вывод на дисплей сообщения о состоянии извещателя осуществлялось с помощью операторов

$\text{disp}(\text{'Дежурный'})$ и $\text{disp}(\text{'Тревога'})$

```
if q3<=P3
disp('Дежурный')
else
disp('Тревога')
end
```

В результате на дисплее появляется окончательный результат работы компьютерной модели акустического извещателя разбития стекла.

5. Тестирование программы.

Данная программа, составленная в кодах MATLAB, отлажена и тестировалась с целью адекватного отражения характеристик реального устройства.

При тестировании программы в качестве входных были взяты звуки разбития реальных оконных стекол [6], записанных в базу данных в виде wav-files. Затем эти файлы преобразовывался в формат пакета MATLAB. Так были получены образцы звуков разбития стекла № 1-10.

Пример записи входного информационного сигнала приведен на ниже на Рис.4.

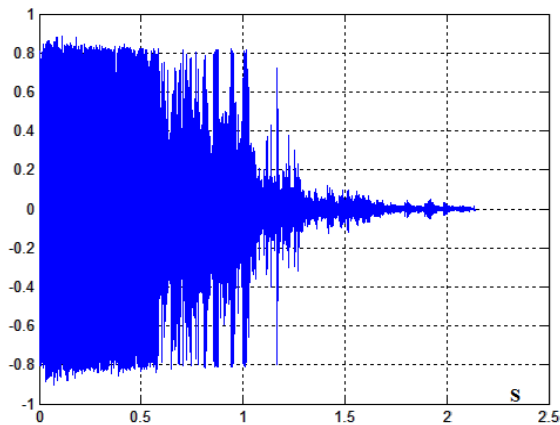


Рис. 4. Образец записи звука разбития стекла.

На этапе отладки экспериментально подбиралась частота отсечки в детекторе огибающей частотных каналов. На рис. 5 показаны результаты моделирования огибающей в низкочастотном канале про частоте отсечки ФНЧ в детекторе огибающей 50 Гц (кривая 1) и 10 Гц (кривая 2). Наглядно видно по рисунку, что первый вариант не сглаживает выбросы сигнала и не может гарантировать надежную работу блоков анализа огибающих частотных каналов.

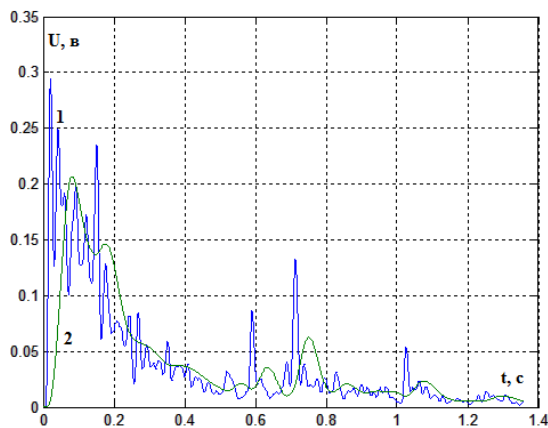


Рис. 5. Сглаживание фильтром огибающей низкочастотной компоненты.

Пример сглаженных огибающих обоих частотных каналов для образца звука, приведенного на Рис.4, показан на рисунке 6. На нем кривая 1 соответствует огибающей низкочастотного канала, а кривая 2 – огибающей высокочастотного канала.

При логической обработке огибающих с помощью блоков сравнения и совпадения Блок сравнения низкочастотного канала вырабатывает импульс 3 при пороге $P1=0,1$, Блок сравнения высокочастотного канала вырабатывает импульс 4 при пороге 0,25, а Блок совпадения вырабатывает импульс 5. Все они показаны на Рис.6.



Рис.6. Результаты численного исследования Образца звука разбития стекла
1.Огибающая сигнала на выходе низкочастотного канала. 2. Огибающая сигнала на выходе высокочастотного канала.
3.Импульс блока сравнения низкочастотного канала. 4. Импульс блока сравнения высокочастотного канала. 5. Импульс блока совпадения.

При интегрировании импульса 5 Интегратором на его выходе будет сформировано напряжение:

$$U=0,1436 \text{ В.}$$

Так как оно больше порога $P3=0,1$, то на дисплее появляется сообщение:

«Тревога».

Исследование акустического извещателя разбития стекла на основе разработанной компьютерной модели

С помощью, разработанной компьютерной модели анализировались звуки разбития реальных окон (10 образцов). Результаты анализа показаны в Таблице 1 в столбцах 1-10 для различных величин порогов. Кроме того, анализировались звуки разбития стекла, воспроизводимые тестером разбития стекла VITRON, (три образца). Результаты анализа показаны в Таблице 1 в столбцах 11-13 для различных величин порогов.

В таблице 1 использованы следующие условные обозначения:

- *правильное обнаружение разбития стекла* – (+);
- *необнаружение разбития стекла* – (Проп.);
- *правильное необнаружение звука тестера* – (-).

Результаты анализа показывают, что завышенные величины порогов приводят к недопустимо высокой частоте пропуска

нарушителя (верхняя строка). Но и при умеренной величине порогов (нижняя строка), пропуск нарушителя имеет место – для образцов 5 и 10.

Рисунок 7 показывает причины пропуска. На нем линии 1 и 2 показывают огибающие НЧ и ВЧ каналов соответственно.

Табл. 1 Результаты анализа звуков разбития стекла компьютерной моделью

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
P1=0.1 P2=0.1 P3=0.1	+	+	Проп.	Проп.	Проп.	Проп.	+	Проп.	Проп.	Проп.	-	-	-
P1=0.05 P2=0.1 P3=0.05	+	+	+	+	Проп.	+	+	+	+	Проп.	-	-	-

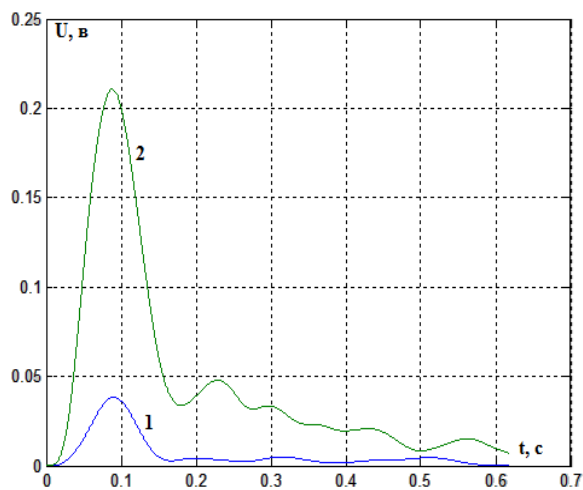


Рис.7а Анализ образца 5

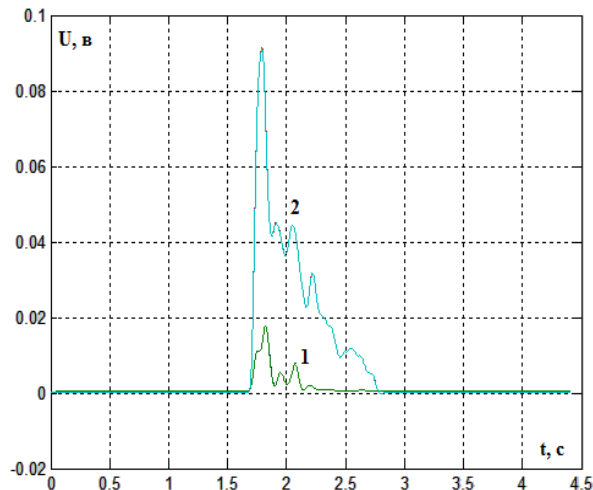


Рис.7б Анализ образца 10

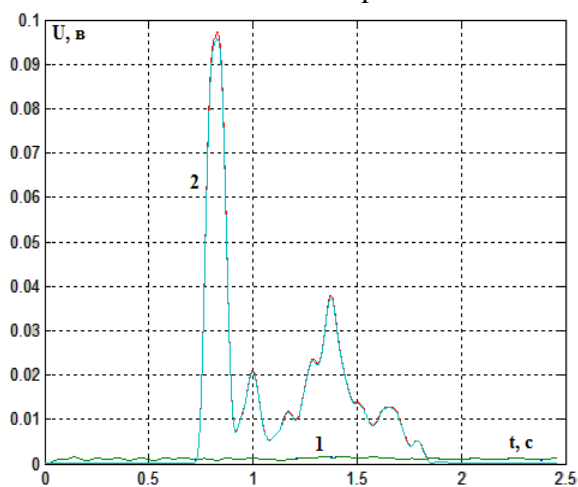


Рис.8а Анализ образца 11

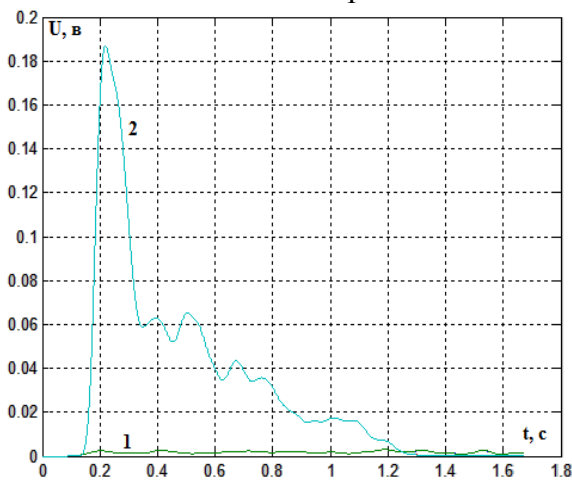


Рис.8б Анализ образца 13

Видно, что в образце 5 малый уровень НЧ сигнала и малая длительность звука разбития стекла. Такое происходит при разбитии стекла малой площади, например, форточки.

Для образца 10 характерен общий малый уровень сигнала, что происходит в случае, когда микрофон расположен слишком далеко от разбивающегося стекла.

Оба эти случая зафиксированы в технической документации на извещатели разбития стекла. Стекла малой площади, расположенные дальше, чем максимальное расстояние, не блокируются.

Результаты анализа показывают также, что двухчастотный извещатель разбития стекла достаточно надежно защищен от ложных тревог. Он не срабатывает на звуки тестера разбития стекла VITRON, изготовленного для тестирования одночастотных извещателей. Рисунок 8 показывает причины отсутствия ложной тревоги. На нем линии 1 и 2 показывают огибающие НЧ и ВЧ каналов соответственно и видно, что низкочастотная составляющая звука разбития стекла тестером не воспроизводится.

Выводы

Результаты моделирования совпадают с техническими характеристиками извещателя-прототипа, что подтверждает адекватность построенной модели. Разработанная модель позволяет оценить надежность разделения охранном извещателем сигналов от нарушителя и сигналов от помех, определить параметры сигналов, создающие случаи ложных тревог.

Соколов Г.Е.

ПОСТРОЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ОХРАННОГО АКУСТИЧЕСКОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ

В настоящей работе проводится моделирование на уровне функционально схемы средствами MATLAB охранного акустического извещателя. Охранный акустический дистанционный извещатель предназначен для охраны помещений от проникновения посторонних лиц через окно посредством разбития стекла. Акустический извещатель должен дистанционно воспринимать звуки в охраняемом помещении, анализировать их

Разработанная модель позволяет оценить качество обработки сигналов с помощью алгоритма данного извещателя. Она является инструментом для выбора оптимальных параметров конструкции извещателя.

Модель может быть полезна как разработчикам охранных акустических извещателей при совершенствовании алгоритмов обработки, так и студентам при изучении принципов работы радиоэлектронных систем безопасности.

Литература

1. *Борисов Ю.П.* Математическое моделирование радио-технических систем и устройств. / Борисов Ю.П., Цветнов В.В. // – М.: Радио и связь, 1985. – 176 с..
2. *Sokolov G. E.* Building a computer model of an optoelectronic burglar alarm detector / Sokolov G. E. // Electronic and Control Systems. № 4(38), – 2013. p.142-148.
3. *Sokolov G.E.* Building a Computer Model of an Optoelectronic Fire Smoke Alarm Detector. / Sokolov G. E. // Electronic and Control Systems. №1(39). –2014. p.77-84.
4. *Ворона В.А.* Технические системы охранной и пожарной сигнализации. / Ворона В.А., Тихонов В.А. // – М.: Горячая линия– Телеком, 2012. – 376 с.
5. *Дьяконов В.П.* MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров. / Дьяконов В.П. // – М.: ДМК Пресс, 2011. – 976 с.
6. *Соколов Г.Е.* Исследование информационного сигнала акустического охранного извещателя. / Соколов Г.Е. // Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2019» – К.: НАУ, 2019. С. 14. 5-14.9.

и автоматически делать вывод о наличии или отсутствии факта разбития стекла. При этом возможен пропуск цели (при слишком тихом звуке) или ложная тревога (при срабатывании, например, на звук разбитой посуды). Целью разработки модели является получение возможностей теоретического исследования влияния параметров обработки сигнала в извещателе на эффективность обнаружения им нарушителя в акустических помехах.

Разработка компьютерной модели охранного акустического извещателя осуществляется с использованием алгоритма распознавания на основе двухканальной обработки. В одном канале анализируются низкочастотные звуковые колебания в диапазоне от единиц до сотен Гц. В другом канале анализируются высокочастотные компоненты звука разбития стекла. Результаты моделирования совпадают с техническими характеристиками извещателя-прототипа, что подтверждает адекватность построенной модели. Разработанная модель позволяет оценить надежность разделения охранном извещателем сигналов от нарушителя и сигналов от помех, определить параметры сигналов, создающие случаи ложных тревог. Разработанная модель позволяет оценить качество обработки сигналов с помощью алгоритма данного извещателя. Она является инструментом для выбора оптимальных параметров конструкции извещателя.

Ключевые слова: охранные извещатели, моделирование систем, MATLAB.

Sokolov G.Ye.

RESEARCH OF THE INFORMATION SIGNAL OF THE SECURITY ACOUSTIC DETECTOR

In the present paper, modeling of security acoustic detector is carried out at the level of a functional circuit using MATLAB. The security acoustic remote detector is designed to protect the premises from the penetration of unauthorized persons through the window by breaking glass. An acoustic detector must remotely perceive sounds in a guarded room, analyze them and automatically make a decision about the presence or absence of glass breaking. There are cases of a missed target (if the sound is too quiet) or a false alarm (when triggered, for example, by the sound of broken dishes). The purpose of the development of the model is to obtain the possibility of a theoretical study of the influence of signal processing parameters in the detector on the effectiveness of its detection of the intruder in acoustic noise.

The development of a computer model of a security acoustic detector is carried out using a recognition algorithm based on two-channel processing. In one channel, low-frequency sound vibrations in the range from 1 to 200 Hz are analyzed. In another channel, the high-frequency components of the sound of breaking glass are analyzed. The simulation results coincide with the technical characteristics of the prototype detector, which confirms the adequacy of the constructed model. The developed model makes it possible to evaluate the reliability of separation by the security detector of signals from the intruder and signals from interference, to determine the parameters of the signals that create cases of false alarms. The developed model allows evaluating the quality of signal processing using the algorithm of this detector. It is a tool for choosing the optimal detector design parameters.

Keywords: security detectors, system modeling, MATLAB.