

УДК 654.924.3 (043.2)

Соколов Г.Е., к.ф.-м.н.,
orcid.org/0000-0001-6106-0769

АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ КВАДРОКОПТЕРОВ И ПОМЕХОВЫХ ЗВУКОВ ГОРОДА

Национальный авиационный университет

dr.gennadii.sokolov@gmail.com

Введение. Постановка задачи

С увеличением роста применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – и угрозы использования их в незаконных целях [1], обнаружение становится первым шагом в защите от них. Принцип работы аппаратуры акустического обнаружения беспилотников военного назначения состоит в том, что звуковые характеристики (сигнатура) БПЛА передаются с акустического датчика на сервер, где сравниваются с сигнатурами всех беспилотников, скомпонованными в особую базу данных. При совпадении с соответствующей сигнатурой (опознании объекта как БПЛА) выдаётся обратная команда на оповещение.

Для защиты небольших объектов гражданского назначения (коттеджи и др.) от незаконной съемки с помощью БПЛА невоенного назначения (квадрокоптеров) необходимы более простые устройства обнаружения, например, устройства акустического обнаружения, способные быть интегрированными в существующие системы безопасности [2]. Они могут быть построены так же, как акустические извещатели охранных систем, задача которых различить шумовой звук нарушителя на фоне иных шумовых помех [2].

При этом наиболее важно разработать правильный и простой алгоритм распознавания, чтобы аппаратное его воплощение было несложным.

Разработка алгоритмов распознавания акустических сигналов в системах безопасности базируется на систематическом исследовании особенностей информационный звуков и типовых маскирующих звуков, как это показано в [3] на примере звуков разбития стекла нарушителем.

В настоящей работе проводится исследование особенностей звуков небольших квадрокоптеров и звуков города, маскирующих летательные аппараты.

Анализ литературы

В результате анализа источников в качестве отправной точки исследований взяты база данных акустических звуков ZvukiPro.com [4] и база данных Noise.FX [5], представленные с сети Internet.

База данных ZvukiPro имеет раздел «Электроники». В ней находится подраздел «Звуки квадрокоптера (дрона)». В этом подразделе есть записи звуков малогабаритных БПЛА гражданского назначения. Из них для дальнейшего исследования выбраны 10, которые представлены в табл.1. База данных Noise.FX имеет раздел «Город» и содержит 56 образцов звуков шумов города. Эти шумы маскируют звуки БПЛА, которые летят над строениями. Из них для дальнейшего исследования выбраны 10, которые представлены в табл.2.

Таким образом, исследование звуков, представленных в табл.1 и табл.2 позволит обнаружить устойчивые различия в их характеристиках.

Методика исследования

В качестве объекта исследования были взяты реальные звуки дрона и звуки города из баз [4,5] представленные в табл.1 и табл.2. Эти звуки были скачаны в компьютер в формате mp3, а затем преобразованы в wav-file с помощью конвертора открытого пользования. Затем эти файлы преобразовывались в формат пакета MATLAB. Дальнейшая обработка акустического сигнала, переведенного в цифровую форму, проводилась средствами пакета MATLAB.

Таблица 1. Звуки квадрокоптера

1	Звук полета квадрокоптера
2	Звук, где дрон улетел
3	Звук взлета небольшого квадрокоптера
4	Звук беспилотного летательного аппарата, который находится в воздухе
5	Есть такой вариант звука, который издает квадрокоптер
6	Ручной квадрокоптер взлетает
7	Звук мультикоптера, который медленно запускается и начинает лететь всё выше и выше, набирая скорость вращения винтов
8	Звук работы мотора у беспилотника, без крутящих винтов
9	А еще иногда его называют "квадролет"
10	Пытаемся нажимать чуть на кнопку взлета тетракоптера (винты крутятся понемногу)

Таблица 2. Звуки города.

1	Город, движение машин, пешеходы
2	Город, пешеходы
3	Город, общий шум
4	Город, общий шум, птицы, церковный звон
5	Город, движение машин
6	Город, движение машин под мостом
7	Город, движение машин, влажная дорога
8	Город, общий шум. птицы
9	Город, парк, птицы
10	Город, дети в парке, птицы.

Целью теоретического численного исследования было определение частотно-временных характеристик звуков БПЛА и маскирующих звуков города. Анализ звуков производился в следующей последовательности:

1. Считывание образца акустического сигнала из базы данных и преобразование его в матричную форму пакета MATLAB.

На этом этапе анализа определяются: частота дискретизации при записи сигнала $U(t)$. По графику можно оценить неравномерность во времени звукового сигнала и количество каналов, в которых производилась запись.

2. Определение амплитуды комплексного спектра Q акустического сигнала с помощью оператора:

$$Q = \text{abs}(\text{fft}(U))/N, \quad (1)$$

где $\text{fft}(U)$ – это процедура дискретного преобразования Фурье акустического

сигнала $U(t)$ в пакете MATLAB, N – число отсчетов в цифровом сигнале.

Построив график $Q(f)$ – зависимости амплитуды комплексного спектра от частоты f можно оценить какой частотный диапазон в сигнале наиболее весом. Это важно, поскольку источников звука на улицах города много.

3. Разделение акустического сигнала на частотные компоненты U_f полосой в 1 кГц с помощью цифровой фильтрации. Цифровая фильтрация осуществлялась с помощью полосового фильтра Баттерворта 4 порядка.

4. Выделение огибающей U_f , envel каждой частотной компоненты U_f с помощью детектора. Детектирование осуществлялось с помощью линейного двухполупериодного детектора с ФНЧ Баттерворта 4 порядка с частотой среза 2 Гц.

Построив графики зависимости, огибающей от времени U_f , $\text{envel}(t)$ можно

оценить вклад различных источников звука в общий сигнал.

5. Определение нормированной автокорреляционной функции акустического сигнала R с помощью оператора:

$$R = \text{xcorr}(U, 'coeff'), \quad (2)$$

где $\text{xcorr}(U, 'coeff')$ – это процедура вычисления нормированной автокорреляционной функции дискретного сигнала $U(t)$ в пакете MATLAB.

Методика исследования

В качестве объекта исследования были взяты реальные звуки дрона и звуки города из баз [4,5] представленные в табл.1 и табл.2. Эти звуки были скачаны в компьютер в формате mp3, а затем преобразованы в wav-file с помощью конвертора открытого пользования. Затем эти файлы преобразовывался в формат пакета MATLAB. Дальнейшая обработка акустического сигнала, переведенного в цифровую форму, проводилась средствами пакета MATLAB.

Целью теоретического численного исследования было определение частотно-временных характеристик звуков БПЛА и маскирующих звуков города. Анализ звуков производился в следующей последовательности:

1. Считывание образца акустического сигнала из базы данных и преобразование его в матричную форму пакета MATLAB.

На этом этапе анализа определяются: частота дискретизации при записи сигнала $U(t)$. По графику можно оценить неравномерность во времени звукового сигнала и количество каналов, в которых производилась запись.

2. Определение амплитуды комплексного спектра Q акустического сигнала с помощью оператора:

$$Q = \text{abs}(\text{fft}(U))/N, \quad (1)$$

где $\text{fft}(U)$ – это процедура дискретного преобразования Фурье акустического сигнала $U(t)$ в пакете MATLAB, N – число отсчетов в цифровом сигнале.

Построив график $Q(f)$ – зависимости амплитуды комплексного спектра от частоты f можно оценить какой частотный

диапазон в сигнале наиболее весом. Это важно, поскольку источников звука на улицах города много.

3. Разделение акустического сигнала на частотные компоненты U_f полосой в 1 кГц с помощью цифровой фильтрации. Цифровая фильтрация осуществлялась с помощью полосового фильтра Баттерворта 4 порядка.

4. Выделение огибающей $U_{f, \text{envel}}$ каждой частотной компоненты U_f с помощью детектора. Детектирование осуществлялось с помощью линейного двухполупериодного детектора с ФНЧ Баттерворта 4 порядка с частотой среза 2 Гц.

Построив графики зависимости, огибающей от времени $U_{f, \text{envel}}(t)$ можно оценить вклад различных источников звука в общий сигнал.

5. Определение нормированной автокорреляционной функции акустического сигнала R с помощью оператора:

$$R = \text{xcorr}(U, 'coeff'), \quad (2)$$

где $\text{xcorr}(U, 'coeff')$ – это процедура вычисления нормированной автокорреляционной функции дискретного сигнала $U(t)$ в пакете MATLAB.

Построив график зависимости нормированной автокорреляционной функции акустического сигнала от времени сдвига $R(\tau)$, оценим основные периодические составляющие сигнала. Эти составляющие непосредственно связаны с работой моторов квадрокоптера.

Результаты анализа акустического сигнала БПЛА

Рассмотрены типовые образцы звуков гражданских малых БПЛА. Проанализированы звуки БПЛА, представленные в табл.1. По своим характеристикам, полученным в результате исследования, эти звуки можно разбить на две группы.

К первой группе относится образец «Звук полета квадрокоптера» (строка 1 из табл.1). Звук записан как стереофонический (двухканальный) с частотой дискретизации $F_s = 48000$ Гц, количеством отсчетов $N = 769357$, длительностью звучания $T = 16.0283$ секунд. На рис.1а показана за-

висимость интенсивности звука от времени (в первом канале записи). Видно, что для сигнала характерны сильные биения. Интенсивность нарастает – значит квадрокоптер приближается.

На рис.1б показан спектр сигнала. Основная гармоника спектра – 4 кГц, вторая гармоника также довольно интенсивна. Характерна малая величина низкочастотных компонент спектра.

Воспроизведение записанного звука на слух показало, что это преобладающее звучание механизма. Можно сделать вывод, что звук, издаваемый квадрокоптером существенно больше помехи, т.е. он был записан при небольшом расстоянии до БПЛА.

Частотно-временной анализ показал следующие особенности этого звука. На рис. 1в показаны огибающие частотных

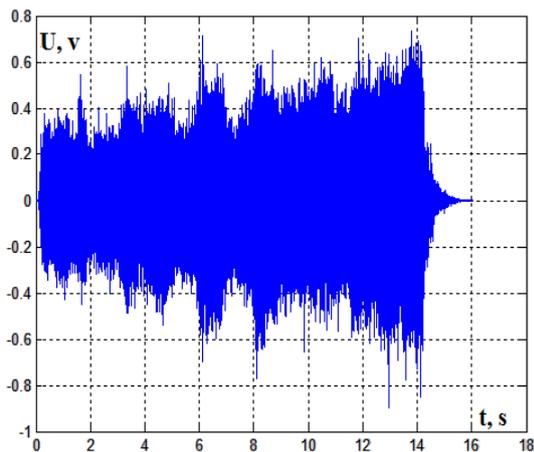


Рис. 1а. Акустический сигнал

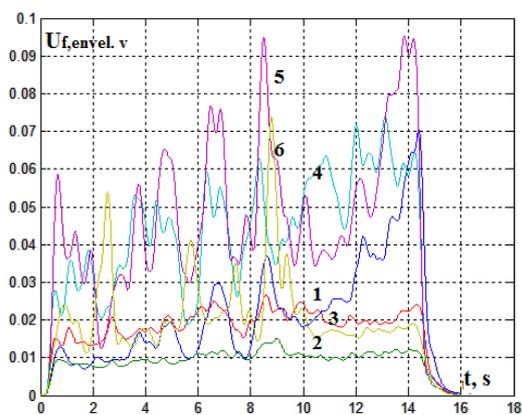


Рис. 1в. Огибающие сигнала в полосе частот: 1- 0-1 кГц; 2- 1-2 кГц; 3- 2-3 кГц; 4- 3-4 кГц ; 5-4-5 кГц; 6- 5-6 кГц

компонент звука в полосах шириной 1 кГц. Видно, что высокочастотным компонентам звука свойственны биения, т.е. они вызваны механической частью БПЛА. Низкочастотные компоненты не имеют биений, они постоянны во времени (линии 2 и 3), что свойственно звукам, вызванным метеоусловиями. Что касается линии 1, то она отражает низкую частоту биений интенсивности, т.е. частоту модуляции интенсивности.

На рис. 1г показана автокорреляционная функция сигнала. Видно, что автокорреляционная функция представляет собой два гармонических колебания с близкой частотой, что в сумме дает картину биений. Частота гармонического колебания составляет величину близкую к 4 кГц, а частота биений – к 150 Гц. Время корреляции составляет близко к 0,1 секунды.

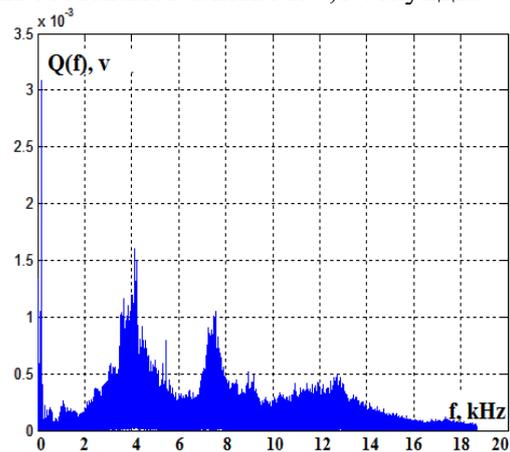


Рис. 1б. Спектр акустического сигнала

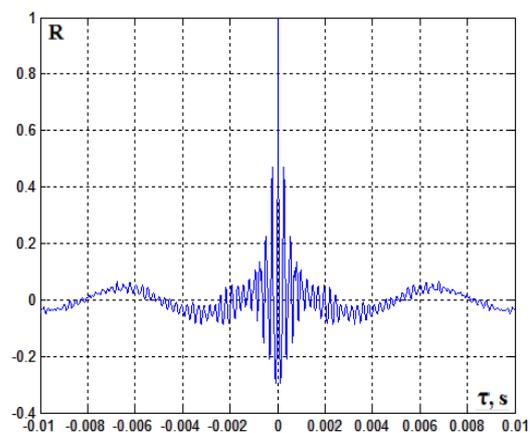


Рис. 1г. Автокорреляционная функция сигнала

Как известно, автокорреляционная функция от гармонической функции частоты f также является гармонической функцией той же частоты f . Это значит, что исходный акустический сигнал квадрокоптера есть сигнал двух гармонических колебаний близких частот 4 кГц плюс другие некоррелированные составляющие. Эта же частота видна на графике спектральной функции.

Правильным является предположение, что частота 4 кГц есть число оборотов несущих винтов, а биения возникают в силу работы системы автоматической поддержки оборотов двигателей из-за которой возникает небольшая разница в частоте оборотов пар двигателей квадрокоптера.

Но для звуков БПЛА второй группы ситуация другая. К этой группе относится образец «Звук беспилотного летательного аппарата» (строка 4 из табл.1). Звук записан как стереофонический (двухканальный) с частотой дискретизации $F_s=44100$ Гц, количеством отсчетов $N=3649536$, длительностью звучания $T=82.7559$ секунды.

На рис.2а показана зависимость интенсивности звука от времени (в первом канале записи). Видны, что для такого сигнала биения отсутствуют. Интенсивность не меняется – значит движение квадрокоптера на сигнал не влияет. Такая стабильность во времени показывает, что квадрокоптер «завис» в режиме фотосъемки.

На рис.2б показан спектр сигнала. Характерна малая величина высокочастотных составляющих звука. Показательна большая величина низкочастотных компонент спектра. Но эти компоненты вызваны механизмами БПЛА, а не ветром, создающим маскирующий фон.

Воспроизведение записанного звука на слух показало, что это преобладающее звучание механизма. Можно сделать вывод, что звук, издаваемый квадрокоптером, существенно больше помехи, т.е. он был записан при небольшом расстоянии до БПЛА. Но характеристики этого звука иные, по сравнению со звуками первой группы.

Вывод подтверждается частотно-временным анализом. На рис. 2в показаны огибающие частотных компонент звука в полосах шириной 1 кГц. Низкочастотные компоненты не имеют биений, они имеют характер флюктуаций амплитуды (линии 1 и 2), что свойственно звукам, вызванным механизмами. Однако, высокочастотные компоненты звука, вызванными механической частью БПЛА, флюктуаций и биений практически не имеют.

На рис. 2г показана автокорреляционная функция сигнала. Видно, что автокорреляционная функция представляет собой два гармонических колебания с близкой частотой, что в сумме дает картину биений. Частота гармонического колебания составляет величину близкую к 1 кГц, а частота биений – к 150 Гц. Время корреляции составляет величину близкую к 0,3 секунды.

Это значит, что исходный акустический сигнал квадрокоптера есть сигнал двух гармонических колебаний близких частот 1 кГц плюс другие некоррелированные составляющие. Эта же частота видна на графике спектральной функции (рис. 2б). Однако вопрос об акустических помехах, маскирующих акустический сигнал от БПЛА, непрост и требует детального изучения. Нельзя утверждать, что акустические маскирующие помехи всегда сосредоточены в низкочастотном диапазоне.

Результаты анализа акустических шумов города

Рассмотрим типовые образцы звуков акустических шумов города. Были проанализированы звуки города, представленные в табл.2. По своим характеристикам, полученным в результате исследования, эти звуки можно разбить на две группы.

К первой группе относится образец «Город. Общий шум» (строка 3 из табл.2). Звук записан как стереофонический (двухканальный) с частотой дискретизации $F_s=44100$ Гц, количеством отсчетов $N=5414400$, длительностью звучания $T=122.7755$ секунд.

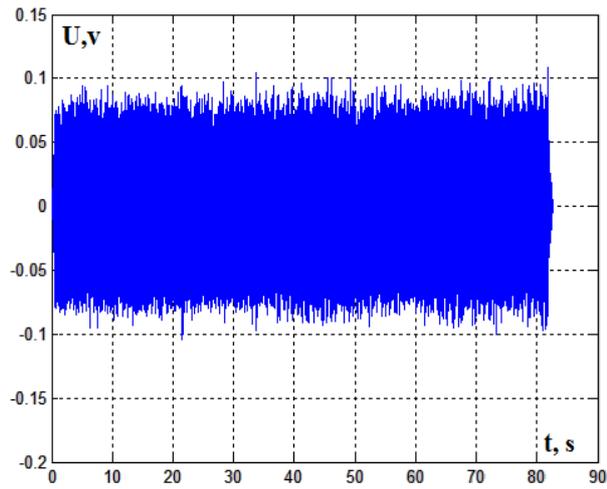


Рис. 2а. Акустический сигнал

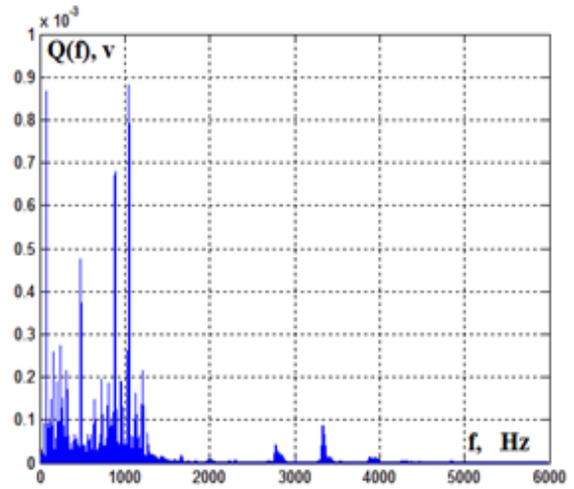


Рис. 2б. Спектр акустического сигнала

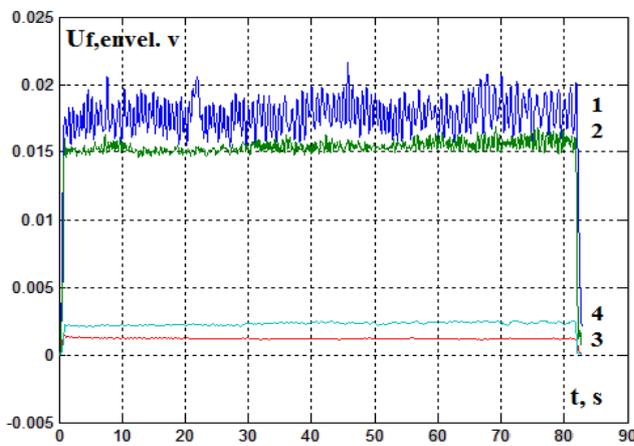
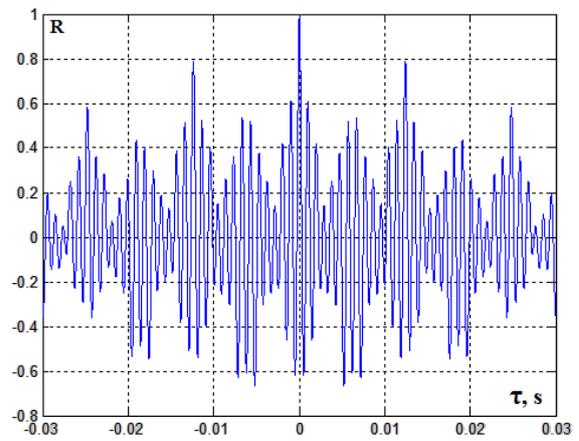
Рис. 2в. Огибающие сигнала в полосе частот:
1- 0-1 кГц; 2- 1-2 кГц; 3- 2-3 кГц; 4- 3-4 кГц

Рис. 2г. Автокорреляционная функция сигнала

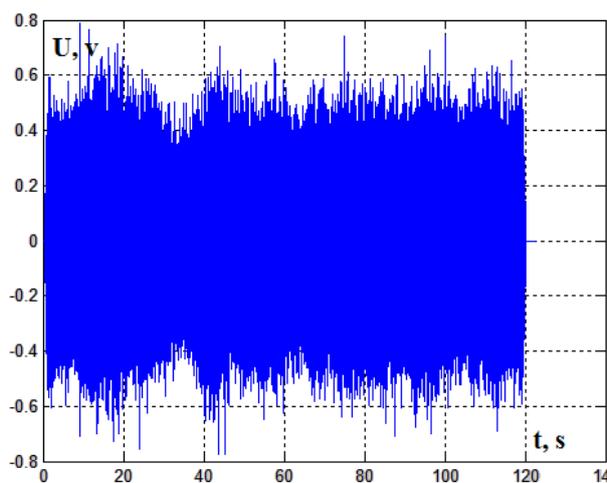


Рис. 3а. Акустический сигнал

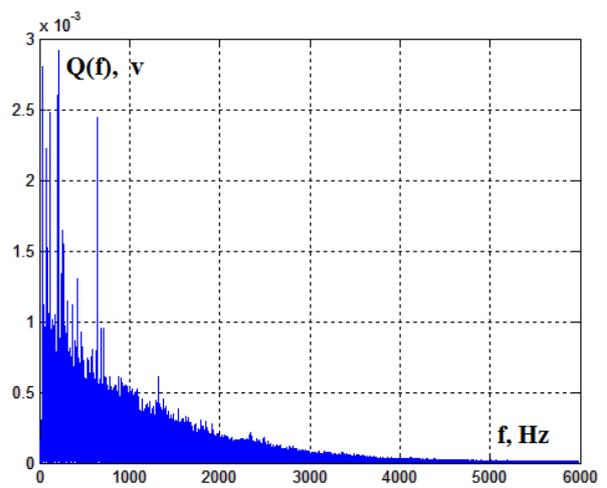


Рис. 3б. Спектр акустического сигнала

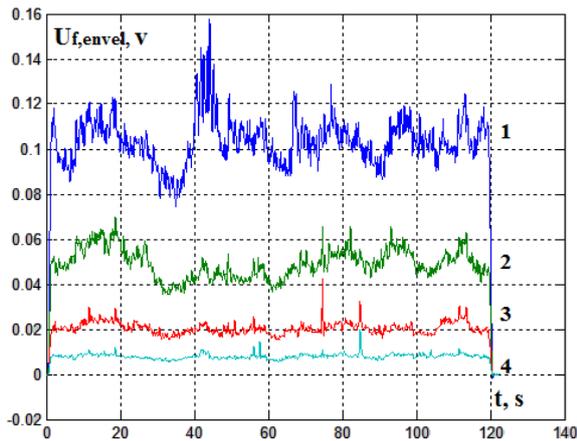


Рис. 3в. Огибающие сигнала в полосе частот: 1- 0-1 кГц; 2- 1-2 кГц; 3- 2-3 кГц; 4- 3-4 кГц

На рис.3а показана зависимость интенсивности звука от времени (в первом канале записи). Видны, что для такого сигнала имеются биения с определенной частотой, но небольшие по амплитуде. Интенсивность немного меняется – значит источники звука многочисленны и движутся.

На рис.3б показан спектр сигнала. Характерна малая величина высокочастотных составляющих звуков и большая величина низкочастотных компонент спектра. Однако однозначно определить, насколько вызываются они ветром и людьми, а насколько генерируются механизмами довольно сложно. Воспроизведение записанного звука на слух показало, что в некоторые отрезки времени – это преобладающее звучание механизма, в другие отрезки времени – нет.

На рис.3в показаны огибающие частотных компонент звука в полосах шири-

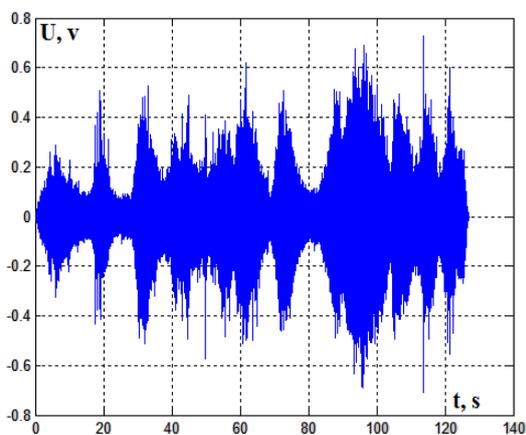


Рис. 4а. Акустический сигнал

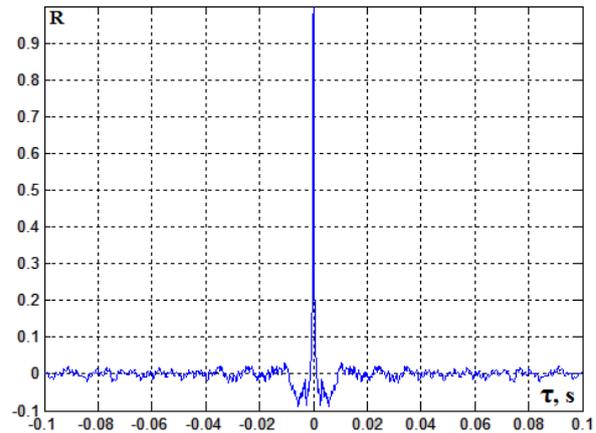


Рис. 3г. Автокорреляционная функция

ной 1 кГц. Характерно, что как низкочастотные (линии 1 и 2), так и высокочастотные (линии 3 и 4) компоненты имеют синхронные биения, т.е. они вызваны механизмами (скорее всего, автомобилями). Однако, небольшая амплитуда биений свидетельствует, что основная энергия звуков вызвана метеоусловиями

На Рис. 3г показана автокорреляционная функция исследуемого акустического сигнала. Он подтверждает вывод об идентификации источников звука, поскольку функция не имеет периодической компоненты, вызываемой мотором. Очевидно, что при таком маскирующем шуме сигнал от БПЛА в полосе частот 4-5 кГц можно выделить частотными фильтрами и обнаружить квадрокоптер. Кроме того, корреляционная обработка также даст возможность убрать помеху.

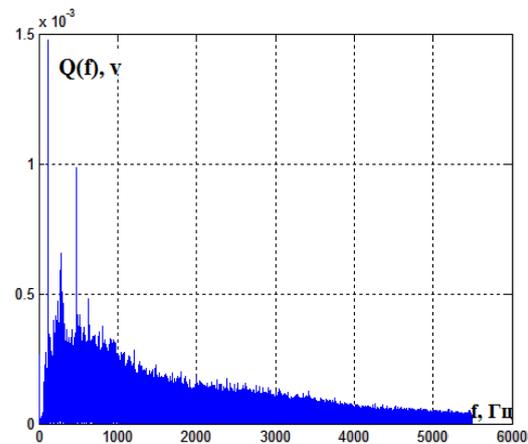


Рис. 4б. Спектр акустического сигнала

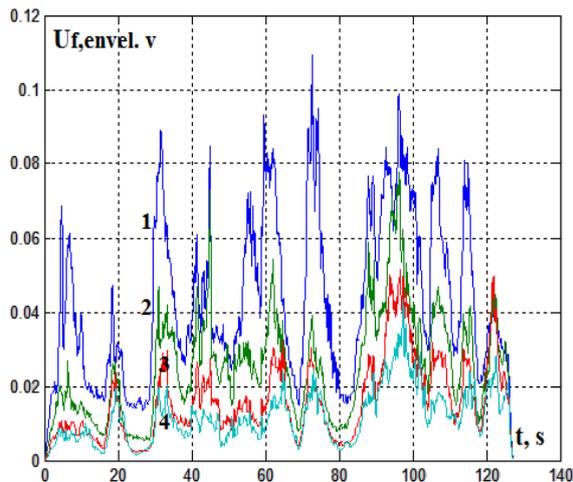


Рис. 4в. Огибающие сигнала в полосе частот: 1- 0-1 кГц; 2- 1-2 кГц; 3- 2-3 кГц; 4- 3-4 кГц

Однако, маскирующий шум большого города может быть и другим. Так ко второй группе относится образец «Город, движение машин, влажная дорога» (строка 7 из табл.2). Звук записан как стереофонический (двухканальный) с частотой дискретизации $F_s = 44100$ Гц, количеством отсчетов $N = 5616000$, длительностью звучания $T = 127.3469$ секунд. На Рис.4а показана зависимость интенсивности звука от времени.

Видны, что для сигнала характерны сильные биения. Как известно, для машин на влажной дороге характерно постоянное изменение режимов работы «Торможение» и «Разгон», что и вызывает постоянное изменение громкости звучания автомобиля. Средняя интенсивность мало меняется – значит поток движущихся машин постоянен. Воспроизведение записанного звука на слух показало преобладающее звучание механизмов автомобилей.

На рис.4б показан спектр сигнала. Характерно, что спектр имеет широкую полосу. Величина высокочастотных составляющих звуков меньше, но довольно значительна по сравнению с величиной низкочастотных компонент спектра.

На рис. 4в показаны огибающие частотных компонент звука в полосах шириной 1 кГц. Характерно, что как низкочастотные (линии 1 и 2), так и высокочастотные (линии 3 и 4) компоненты имеют син-

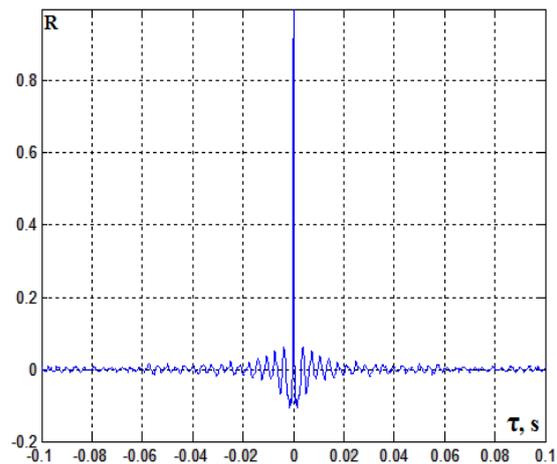


Рис. 4г. Автокорреляционная функция

хронные биения, т.е. они вызваны механизмами (автомобилями). Такой вывод подтверждает и большая амплитуда биений.

На рис.4г показана автокорреляционная функция исследуемого акустического сигнала. Он подтверждает вывод об идентификации источников звука, поскольку функция имеет периодическую компоненту, вызываемую мотором. Частота оборотов мотора – 300 Гц. Время корреляции – 0,02 секунды. Такую помеху можно убрать за счет корреляционной обработки.

Выводы.

Проведенные исследования позволили определить временные, частотные и корреляционные характеристики акустических информационных сигналов квадрокоптеров и маскирующих его звуков города. Показано:

1. Как источники звука квадрокоптеры бывают низкочастотными и высокочастотными. Низкочастотные квадрокоптеры занимают частотный диапазон 1- 3 кГц. Высокочастотные квадрокоптеры генерируют звуки выше 3 кГц, в спектре присутствуют вторая и третья гармоники.

2. Звуки высокочастотных квадрокоптеров часто имеют всплески амплитуды (биения) с периодом в несколько секунд. Звуки низкочастотных квадрокоптеров имеют не биения, а флуктуации амплитуды.

3. Частотно-временной анализ звуков показал, что и всплески амплитуды звуков высокочастотных квадрокоптеров и флюктуации амплитуды звуков низкочастотных квадрокоптеров синхронны у всех частотных компонент.

4. Маскирующие шумы города имеют много источников и широкую полосу частот от 0 кГц до 3-6 кГц. Верхняя частота полосы определяется громкостью транспортного потока.

5. Транспортный поток вызывает всплески амплитуды, синхронные во всех частотных полосах.

6. Частотная фильтрация маскирующих шумов города для выявления квадрокоптеров возможна лишь для высокочастотных аппаратов. Для низкочастотных квадрокоптеров такой подход малоэффективен.

7. Автокорреляционная функция акустических информационных сигналов квадрокоптеров имеет вид высокочастотного колебания с биениями частотой близко к 150 Гц и значительным временем корреляции. Автокорреляционная функция маскирующих шумов города имеет вид низкочастотного колебания без биений и с меньшим временем корреляции.

Автокорреляционная обработка наиболее оптимальна для автоматического выявления квадрокоптеров.

Литература

1. Теодорович Н.Н. Способы обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами / Теодорович Н.Н., Строганова С.М., Абрамов П.С. // Интернет-журнал «Наукоедение». – 2017. – Т. 9. – № 1. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/13TVN117.pdf>.

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

3. Соколов Г.Е. Исследования информационного сигнала акустического охранного извещателя / Соколов Г.Е. // Проблемы інформатизації та управління: зб. наук. праць. – К.: Вид-во «Міленіум», 2019. – Вип. 1(61). – С. 95-101.

4. Звуки квадрокоптера. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zvukipro.com/electronic/687-zvuki-kvadrokoptera-drona.html>

5. NoiseFX. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://noisefx.ru/category/city>

Соколов Г.Е.

АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ КВАДРОКОПТЕРОВ И ПОМЕХОВЫХ ЗВУКОВ ГОРОДА

Для защиты небольших объектов гражданского назначения от незаконной съемки с помощью квадрокоптеров необходимы простые устройства акустического обнаружения, способные быть интегрированными в существующие системы безопасности. Эти устройства должны различить шумовой звук нарушителя на фоне иных шумовых помех.

Разработка алгоритмов распознавания акустических сигналов в системах безопасности базируется на систематическом исследовании особенностей информационных звуков и типовых маскирующих звуков.

В настоящей работе проводится исследование особенностей характеристик звуков квадрокоптеров и звуков города, маскирующих летательные аппараты. Экспериментальной основой исследований являлись представленные в сети Internet база данных акустических звуков ZvukiPro.com, содержащая образцы записей звуков квадрокоптеров, и база данных Noise.FX, содержащая образцы записей маскирующих звуков города.

Проведенные исследования показали: 1. Квадрокоптеры как тип механизмов могут генерировать звуки во всем звуковом диапазоне. Наибольшая интенсивность этих ин-

формационных сигналов 1-6 кГц. 2. Маскирующие шумы города имеют много источников и широкую полосу частот от 0 кГц до 3-6 кГц. 3. Частотная фильтрация маскирующих шумов города для выявления квадрокоптеров малоэффективна. 4. Автокорреляционная функция акустических информационных сигналов квадрокоптеров имеет вид высокочастотного колебания с биениями частотой около 150 Гц и значительным временем корреляции. Автокорреляционная функция маскирующих шумов города имеет вид низкочастотного колебания с меньшим временем корреляции. Автокорреляционная обработка информационного сигнала квадрокоптера наиболее оптимальна для его автоматического выявления.

Ключевые слова: квадрокоптеры, анализ звуков, корреляционная обработка сигналов.

Sokolov G.Ye.

ANALYSIS OF ACOUSTIC INFORMATION SIGNALS OF QUADROCOPTERS AND INTERFERENCE SOUNDS OF THE CITY

To protect small civilian objects from illegal drone surveys, simple acoustic detection devices are needed that can be integrated into existing security systems. These devices must distinguish between the noise sound of the intruder and other noise interference.

The development of algorithms for the recognition of acoustic signals in security systems is based on a systematic study of the features of information sounds and typical masking sounds.

In this work, we study the features of the characteristics of the sounds of quadcopters and sounds of the city, masking aircraft. The experimental basis of the research was the database of acoustic sounds ZvukiPro.com, presented on the Internet, containing samples of recordings of the sounds of quadcopters, and the Noise.FX database, containing samples of recordings of masking sounds of the city.

Studies have shown: 1. Quadcopters as a type of mechanisms can generate sounds in the entire sound range. The highest intensity of these information signals is 1-6 kHz. 2. City masking noises have many sources and a wide frequency range from 0 kHz to 3-6 kHz. 3. Frequency filtering of masking noises of the city for detecting quadcopters is ineffective. 4. The autocorrelation function of the acoustic information signals of quadcopters has the form of high-frequency oscillations with beats at a frequency of about 150 Hz and significant correlation time. The autocorrelation function of the city masking noise has the form of a low-frequency oscillation with a shorter correlation time. Autocorrelation processing of the information signal of a quadcopter is the most optimal for its automatic detection.

Key words: quadcopters, sound analysis, correlation signal processing.