

# МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ, РАСПОЗНАВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

УДК 629.7.022

*В.Н. ОЛЕЙНИКОВ, канд. техн. наук, О.В. ЗУБКОВ, канд. техн. наук,  
В.М. КАРТАШОВ, д-р техн. наук, И.В. КОРЫТЦЕВ, канд. техн. наук,  
С.И. БАБКИН, канд. техн. наук, С.А. ШЕЙКО, канд. техн. наук*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО ИХ АКУСТИЧЕСКОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

### Введение

Одной из актуальных задач является защита гражданских и военных объектов от беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), несущих потенциальную угрозу. Для решения этой задачи требуется обнаружить БПЛА в зоне охраняемого объекта, определить пеленг на БПЛА и задействовать защитные системы. При обнаружении БПЛА в системах военного назначения приоритет отдается пассивным методам, в частности методам пассивной акустической и оптической локации. БПЛА, как правило, представляют собой аэродинамические объекты типа моноплан или мультикоптер, являющиеся локализованными источниками акустического излучения (АИ). В работе рассматриваются вопросы обнаружения и распознавания БПЛА на основе обработки собственного АИ, создаваемого БПЛА в полете.

Важно отметить – несмотря на то, что задачи обнаружения и распознавания направлены на достижение общей цели, математически и алгоритмически они решаются по-разному. Для реализации распознавания БПЛА создается база данных, в которой хранятся векторы признаков АИ, соответствующие различным моделям БПЛА и режимам полета. Однако на рынке постоянно появляются новые модификации летательных аппаратов, поэтому практически все базы данных будут очень ограниченными и задача распознавания может быть реализована только по отношению к имеющимся в базе векторам признаков АИ. В то же время для повышения надежности первичного обнаружения БПЛА необходим универсальный метод, учитывающий общие признаки АИ, характерные для любых моделей БПЛА.

### 1. Особенности АИ БПЛА, помех и шумов

Для выявления характерных особенностей информационных акустических сигналов и создания их адекватной математической модели, необходимой на этапе разработки алгоритмов обнаружения и распознавания, были проведены эксперименты по измерению спектральной плотности мощности (СПМ) АИ БПЛА. Типовая реализация СПМ АИ квадрокоптера содержит узкополосные спектральные составляющие основного тона, его гармоник и широкополосную шумовую составляющую, обусловленную срывом турбулентного воздушного потока винтов (рис. 1).

Анализ СПМ различных моделей малоразмерных БПЛА [1 – 4], способных нести полезную нагрузку, например в виде профессиональной видеокамеры, показал, что частота основного тона АИ БПЛА находится в пределах от 90 до 240 Гц. Количество гармоник основного тона АИ БПЛА – от 10 до 40, но с увеличением расстояния до БПЛА, вследствие поглощения звука в атмосфере, высокочастотные гармоники существенно ослабляются до уровня фоновых шумов и поэтому их нецелесообразно включать в процесс обработки. В дальнейшем в процессе обработки используются от двух до восьми гармоник основного тона АИ БПЛА.

Важную роль в процессе синтеза алгоритмов обнаружения и распознавания сигналов, как известно, играют характеристики помех и шумов. На рис. 2 показан пример сглаженной реализации СПМ природных атмосферных шумов, которая зависит от ряда параметров, отражающих состояние приземного слоя атмосферы в момент проведения измерений. Значения

СПМ природных атмосферных шумов хорошо аппроксимируются функцией логарифмически-нормального закона распределения

$$S(f) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}f} e^{-\frac{(\ln(x)-\ln a)^2}{2\sigma^2}}. \quad (1)$$

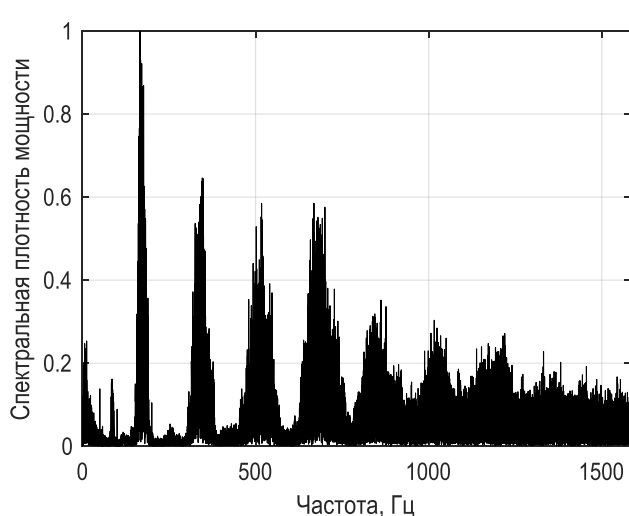


Рис. 1. Реализация СПМ АИ квадрокоптера DJI Phantom 3

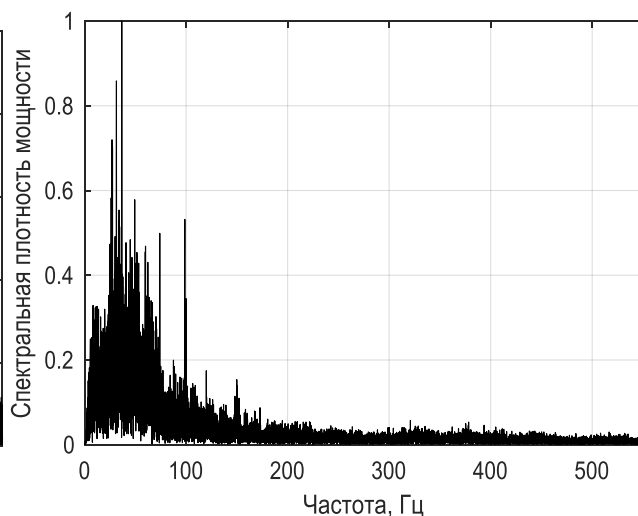


Рис. 2. Сглаженная реализация СПМ природных атмосферных шумов

Огибающая СПМ АИ БПЛА (рис. 1) может быть описана полиномами высоких степеней. Сопоставление маски шаблона природных атмосферных шумов с полиномиальной моделью СПМ АИ БПЛА позволяет произвести их классификацию.

Серьезную проблему при обнаружении и распознавании АИ БПЛА оказывают шумы бензиновых и дизельных автомобильных двигателей, трамваев, железнодорожного транспорта, голоса людей и животных. Типовые реализации СПМ шумов автомобильного дизельного и бензинового двигателей представлены на рис. 3, а, б.

СПМ шумов автомобильных двигателей имеют характер схожий с СПМ БПЛА. Частота основного тона АИ автомобильных двигателей существенно меньше частоты вращения авиационных двигателей и находится в пределах от 40 до 80 Гц, поэтому отличить их от АИ БПЛА можно по более низкой частоте основного тона. Это различие является характерным отличительным признаком.

Анализ аудиозаписей речи человека показал, что СПМ многих речевых сигналов имеют сходный характер с СПМ БПЛА, при этом частота основного тона, как правило, находится в диапазоне свыше 200 Гц с вероятностью 98 % [5], что может служить дополнительным признаком отличия речевого сигнала от сигнала АИ БПЛА.

Важным параметром сигнала АИ БПЛА является время квазистационарности: этот параметр определяет возможную максимальную протяженность сегмента при реализации алгоритмов обнаружения и распознавания. Сигнал АИ БПЛА разбивается на сегменты фиксированной длины, не превышающей длительности интервала стационарности, в пределах которого предполагается постоянство среднего значения, дисперсии, и частотной структуры сигнала. На больших интервалах времени АИ БПЛА является нестационарным, однако из-за инерционности механических узлов винтомоторной группы БПЛА в пределах определенного промежутка времени его акустические характеристики практически не изменяются.

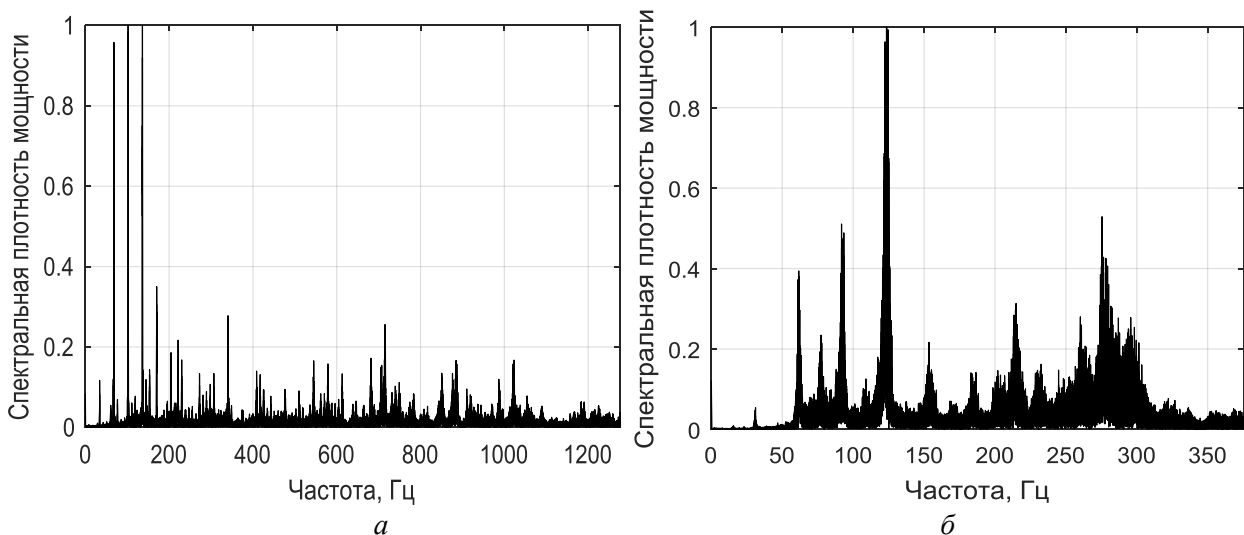


Рис. 3. Типовые реализации СПМ шумов автомобильного дизельного (а) и бензинового двигателей (б)

На рис. 4. приведена сонограмма акустического сигнала, полученная во время пилотажа БПЛА DJI Phantom 3, из которой следует, что стационарность сигнала сохраняется на интервалах протяженностью более 1 секунды.

Дополнительным критерием отличия речевых сигналов и сигналов АИ БПЛА является различное время стационарности. В [5] показано, что максимальная длительность фонем речевых сигналов не превышает 345 мс. Со сменой фонемы изменяются и ее спектральные характеристики.

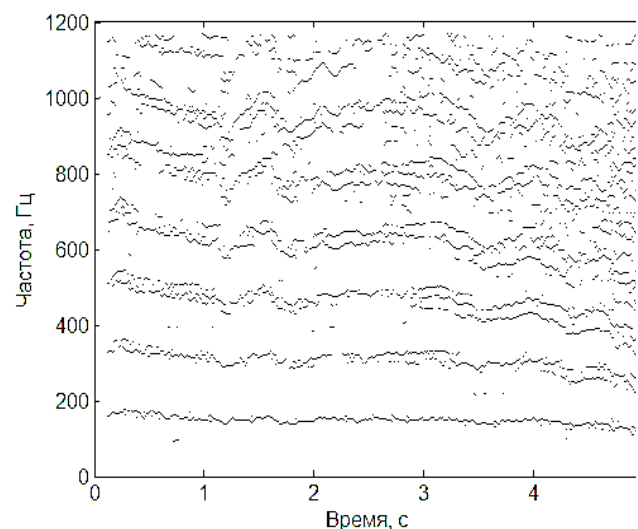


Рис. 4. Сонограмма акустического сигнала, полученная во время пилотажа БПЛА DJI Phantom 3

## 2. Алгоритм обнаружения АИ БПЛА

При обнаружении АИ БПЛА необходимо решать следующие задачи:

- осуществлять различение природных шумов окружающей среды и АИ БПЛА;
- обеспечивать эффективную борьбу с внешними источниками акустических помех, имеющими спектральные характеристики схожие с БПЛА;
- обеспечивать независимость принятия решения от модели БПЛА и режима его полета.

С учетом анализа АИ БПЛА, шумов городского транспорта, речевых сигналов, шумов природной окружающей среды разработан алгоритм обнаружения АИ БПЛА, включающий несколько этапов.

На первом этапе обработки осуществляется фильтрация акустического сигнала с выхода микрофона фильтром верхних частот для устранения влияния низкочастотных помех.

На втором этапе выполняется дискретизация сигнала с частотой  $F_d$  и сегментация последовательности отсчетов с длиной сегмента  $N$  отсчетов:  $X_i, i=0 \dots N-1$ .

На третьем этапе вычисляется автокорреляционная функции (АКФ) в пределах дискретизированного сегмента:

$$B(j) = \sum_{i=0}^j X_i \cdot X_{N-i-1}, j = 0 \dots 2N - 1. \quad (2)$$

На четвертом этапе вычисляется БПФ от АКФ каждого сегмента. Как показано в [2], вычисление БПФ от первой, второй и т.д. АКФ позволяет повысить отношение сигнал/шум при выделении гармонического сигнала на фоне шумов. Дополнительно выполняется сглаживание СПМ  $S(f)$  фильтром скользящего среднего с длиной окна  $\tau = 15-20$  отсчетов:

$$\overline{S(F)} = \frac{1}{\tau} \sum_{f=F-\tau}^{F+\tau-1} S(f), F = 0 \dots 2N. \quad (3)$$

Сглаживание позволяет упростить дальнейший поиск максимумов СПМ.

На пятом этапе осуществляется поиск всех локальных максимумов спектра в пределах 80 Гц – 3 кГц и вычисление глобальных максимумов и минимумов СПМ.

На шестом этапе вычисляются частоты основного тона, проверяется наличие не менее двух гармоник основного тона с предельным отклонением частот не более 6 % от частот, кратных основному тону. При этом гармоники основного тона проверяются на соответствие глобальным максимумам СПМ. В случае соблюдения этих условий проводятся дополнительные проверки на идентичность СПМ природным шумам и речевым звукам. При анализе идентичности СПМ природным шумам полученная СПМ аппроксимируется в соответствии с (1). Далее вычисляются отклонения абсолютных значений локальных максимумов и минимумов СПМ от аппроксимирующей кривой. При относительной погрешности аппроксимации свыше 10 % шумы следует относить к природным.

Для анализа идентичности СПМ речевым сигналам используется объединение текущего обрабатываемого сегмента с последующим в единый сегмент длиной  $2N$  отсчетов. Полученный массив разбивается на три новых субсегмента и для пар 1-2, 2-3, 3-4 вычисляются взаимно корреляционные функции. Для каждой из них повторяются этапы 4-6 данного алгоритма. Вычисление СПМ по взаимно корреляционной функции позволяет выявлять в спектре периодические составляющие сигнала согласно [6]. БПЛА считается обнаруженным, если частоты основного тона и гармоник основного тона первичного обрабатываемого сегмента звукового сигнала совпадают с полученными на основании анализа СПМ взаимно корреляционных функций пар субсегментов.

### 3. Алгоритм распознавания АИ БПЛА

В системах автоматического распознавания АИ технических средств выделяют три основных этапа: выделение информационных признаков, обучение и распознавание. На первом этапе из исходного акустического сигнала выделяют вектор признаков, который является компактным описанием акустических характеристик сигнала, достаточных для распознавания. Обучение предполагает получение набора эталонных векторов признаков АИ для ряда моделей БПЛА при типичных режимах работы винтомоторной группы, условиях полета, и характера местности. С целью распознавания проводится сравнение текущего вектора признаков с хранимыми в системе эталонными векторами признаков по одному из правил принятия решения.

#### 3.1. Выделение информационных признаков методом мел-кепстральных коэффициентов

Для распознавания АИ БПЛА предлагается использовать метод мел-кепстральных коэффициентов (Mel-Frequency Cepstral Coefficients – MFCC), который получил широкое распространение в системах распознавания речи [7] и в области диагностики технических систем [8]. Преимущество метода объясняется независимостью получаемого вектора признаков АИ БПЛА от длины исходного фрагмента обрабатываемого сигнала, его относительно малым размером и учетом разброса характеристик АИ исследуемого объекта.

Для снижения влияния внешних антропогенных шумов сигнал обрабатывается цифровым фильтром верхних частот. Далее последовательность отсчетов сигнала разбивается на сегменты, протяженность которых меньше времени стационарности АИ БПЛА.

В пределах сегмента предлагается производить нормализацию записанного сигнала, поскольку на уровень записываемого акустического сигнала, излученного БПЛА, влияет ряд факторов: режим работы двигателей, их число, удаленность от микрофона, ракурс летательного аппарата, погодные условия. Применение нормализации позволяет уменьшить разброс уровней записанного акустического сигнала для различных условий полета и наблюдения БПЛА.

После выполнения нормализации исходный сегмент разбивается на субсегменты, идущие с перекрытием 75 % в пределах сегмента. Для снижения искажений при спектральном анализе, обусловленных конечным размером выборки, к каждому субсегменту применяется весовая обработка. В качестве весовой функции выбрано окно Хэмминга. Далее выполняется дискретное преобразование Фурье:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-\frac{2\pi i}{N} kn}, \quad k \in 0, 1..N-1 \quad (4)$$

Значения индексов  $k$  соответствует частоте  $f = \frac{F_s}{N}$ , где  $F_s$  – частота дискретизации сигнала. Для повышения отношения сигнал/шум осуществляется накопление спектров в пределах сегмента.

Сигнал, представленный в частотной области, далее обрабатывается набором полосно-пропускающих фильтров с треугольной аппроксимацией частотных характеристик. Границы частотной характеристики фильтров вычисляются в шкале мел.

Оконная функция для реализации полосно-пропускающих фильтров описывается выражением

$$H_m[k] = \begin{cases} 0 & k < f[m-1] \\ \frac{(k-f[m-1])}{(f[m]-f[m-1])} & f[m-1] \leq k < f[m] \\ \frac{(f[m+1]-k)}{(f[m+1]-f[m])} & f[m] \leq k \leq f[m+1] \\ 0 & k > f[m+1] \end{cases}, \quad (5)$$

где  $m$  – номер фильтра,  $m \in 1..N_F$ ,  $N_F$  – количество полосно-пропускающих фильтров.

Энергия сигнала для каждой полосы треугольного окна в логарифмическом представлении

$$S[m] = \ln(\sum_{k=0}^{N-1} |X[k]|^2 H_m[k]), \quad m \in 1..N_F, \quad (6)$$

где  $k$  – номер отсчета спектра.

Для уменьшения количества выходных параметров и декорреляции компонентов применяется дискретное косинусное преобразование, в результате которого получаем вектор  $C$  (вектор признаков), содержащий набор мел-частотных кепстральных коэффициентов

$$C[n] = \sum_{m=0}^{N_F-1} S[m] \cos\left(\frac{\pi n(m+\frac{1}{2})}{N_F}\right), \quad n \in 1..N_{kk}, \quad (7)$$

где  $N_{kk}$  – количество рассчитываемых мел-частотных кепстральных коэффициентов.

В результате обработки сигнала в соответствии с предложенным алгоритмом значительное количество отсчетов АИ заменяется на компактный набор мел-частотных кепстральных коэффициентов.

### 3.2. Правило принятия решений

При распознавании АИ БПЛА производится сравнение его вектора признаков с эталонным вектором признаков, полученным на этапе обучения. Для принятия решений о принад-

лжности входного звукового образа, представленного вектором признаков, применено решающее правило, базирующееся на методах корреляционного анализа. В этом случае мерой степени близости (коэффициента подобия) между векторами признаков акустических параметров исходного сигнала  $C$  и эталонным вектором признаков  $CE$  используется коэффициент корреляции между координатами точек пространства параметров акустических характеристик:

$$R_{C,CE} = \frac{\text{cov}(C,CE)}{\sqrt{s_C^2 s_{CE}^2}}, \quad (8)$$

где  $\text{cov}(C,CE)$  – ковариация случайных величин  $C$  и  $CE$ ,  $s_C^2, s_{CE}^2$  – выборочные дисперсии случайных величин  $C$  и  $CE$ .

#### 4. Результаты эксперимента

Для исследования эффективности рассмотренных алгоритмов обнаружения и распознавания была сформирована фонотека тестовых акустических сигналов, соответствующих различным моделям БПЛА и режимам их полета. Записи полетов БПЛА получены в условиях города и загородной местности, а также в студии звукозаписи. Длительность каждого из тестовых сигналов составляет около 600 с.

Звукозапись АИ БПЛА осуществлялась с использованием измерительного конденсаторного микрофона Superlux ECM-999, имеющего круговую диаграмму направленности. Выход микрофона подключался посредством симметричного аудиоинтерфейса XLR ко входу внешней звуковой карты Behringer U-Phoria UM2. Звуковой сигнал оцифровывался с частотой дискретизации  $F_s = 48$  кГц и разрядностью 24 бита.

Тестовые сигналы TC1 – TC3 представляют собой АИ квадрокоптеров DJI Phantom 3 и Syma X5SW. Тестовый сигнал TC1 записан в условиях города. Начальный участок протяженностью 200 с содержит звуки окружающей городской среды и фрагменты речи, последующие 400 с соответствуют зависанию квадрокоптера DJI Phantom 3 на высоте 2 м на дистанциях от 5 до 80 м с шагом 5 м. Сигнал TC2 записан при вертикальном взлете квадрокоптера DJI Phantom 3 от поверхности земли до высоты 110 м. Запись TC3 соответствует пилотажу квадрокоптера Syma X5SW на высоте 2-10 м с максимальным удалением от микрофона на расстояние 40 м.

В ряд тестовых сигналов включены типичные мешающие сопутствующие акустические сигналы (TC4 – TC8), присутствующие при проведении обнаружения и распознавания АИ БПЛА: TC4 – шум ветра, TC5 – разговорная речь, TC6 – шум автомобильной магистрали, TC7 – шум рельсового электротранспорта (трамвай, железнодорожный состав), TC8 – шумы мотокосы.

При реализации алгоритма обнаружения осуществляется фильтрация звукового сигнала с выхода микрофона фильтром верхних частот с частотой среза 80 Гц далее производится сегментация последовательности отсчетов временной реализации звукового сигнала с длиной сегмента  $N=16384$  отсчетов. Для указанной выше частоты дискретизации сегменты соответствуют интервалу времени 0,34 с.

При реализации алгоритма мел-кепстральных коэффициентов используется участок спектра АИ БПЛА в полосе 80 – 2600 Гц. Размер сегмента выбран равным 1 с, применено дискретное преобразование Фурье с числом отсчетов  $N=16384$ . Число коэффициентов для формирования вектора признаков выбрано равным 16 (число полосно-пропускающих фильтров с треугольной аппроксимацией частотных характеристик – 32), их увеличение не обеспечивает повышения точности распознавания, поскольку с повышением номера коэффициента его значимость уменьшается.

Для распознавания АИ БПЛА методом мел-кепстральных коэффициентов выполняется сравнение текущего вектора признаков с эталонными векторами признаков АИ БПЛА, хранимыми в системе, в соответствии с выражением (8). Сигнал, из которого извлекается

эталонный вектор признаков, должен обладать некими усредненными параметрами, характерными для большинства условий наблюдения. По этой причине эталонный вектор признаков, извлеченный из сигнала АИ БПЛА, записанного в студии звукозаписи, проявил себя недостаточно эффективно, он оказался слишком «стерильным», лишенным особенностей окружающей среды. На практике целесообразно иметь несколько эталонных векторов признаков АИ для БПЛА одного типа, полученных для различных условий его полета, наблюдения и характера местности.

На рис. 5, а представлено изменение коэффициента подобия для векторов признаков тестового сигнала ТС1 и эталонного вектора признаков АИ квадрокоптера DJI Phantom 3. Эталонный вектор признаков АИ извлекается из сигнала, записанного на удалении 10 м от БПЛА. Точками в правой верхней части рисунка нанесена шкала расстояния до квадрокоптера.

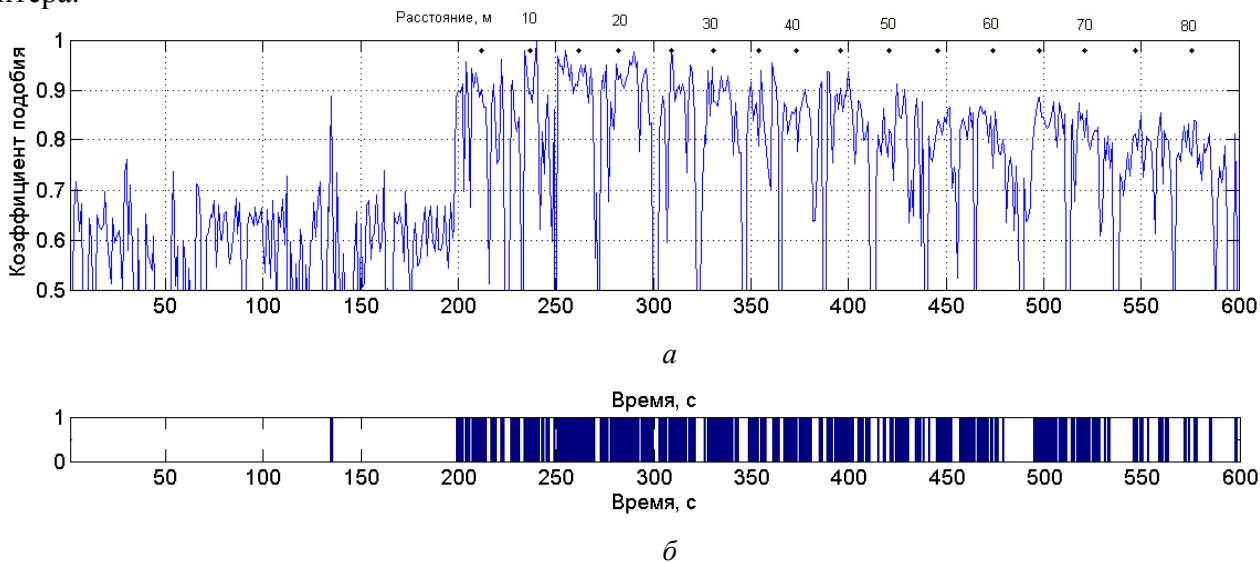


Рис. 5. Изменение коэффициента подобия для векторов признаков тестового сигнала ТС1 и эталонного вектора признаков АИ квадрокоптера DJI Phantom 3 (а); результат работы алгоритма принятия решения о распознавании АИ БПЛА (б)

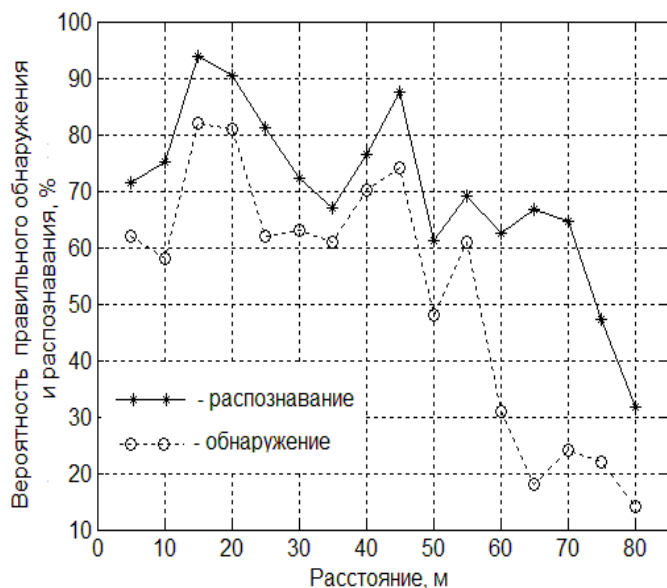


Рис. 6. Зависимости вероятности правильного обнаружения и распознавания от расстояния до квадрокоптера DJI Phantom 3

Результат работы алгоритма принятия решения о распознавании АИ БПЛА представлен на рис. 5, б в виде диаграммы, у которой при превышении порога отображается вертикальный столбик. На начальном участке записи тестового сигнала (0 – 200 с) присутствуют только звуки окружающей городской среды и фрагменты речи. Это позволяет при выбранном пороге принятия решения о распознавании (0,80) определить вероятность ложного распознавания ( $P_{лр} < 0,5\%$ ). Участок записи тестового сигнала ТС1 (201 – 600 с) использовался для построения зависимости вероятности правильного распознавания  $P_{пр}$  от расстояния до БПЛА в условиях города

(рис. 6). На этом же рисунке представлена аналогичная зависимость для алгоритма обнаружения в виде зависимости вероятности правильного обнаружения  $P_{по}$  от расстояния до источника АИ.

Характер поведения графиков обеих зависимостей, полученных независимыми методами, очень схож, совпадает даже в деталях.

Оценки результатов обработки для тестовых сигналов ТС1-ТС3 АИ квадрокоптеров с использованием алгоритма обнаружения и распознавания методом мел-кепстральных коэффициентов приведены в таблице:

Тестовый сигнал	Алгоритм обнаружения		Метод мел-кепстральных коэффициентов	
	$P_{по}$ , %	$P_{ло}$ , %	$P_{пр}$ , %	$P_{лр}$ , %
АИ квадрокоптера DJI Phantom 3 при горизонтальном полете на дистанции 80 м (ТС1).	45,5	1,0	69,2	0,5
АИ квадрокоптера DJI Phantom 3 при вертикальном взлете от поверхности земли до высоты 110 м (ТС2).	25,6	1,0	32,5	0,5
АИ квадрокоптера Syma X5SW при пилотаже квадрокоптера на высоте 2-10 м с максимальным удалением от микрофона на 40 м (ТС3).	60,8	-	78,4	-
Шум ветра (ТС4).	-	0	-	0
Разговорная речь (ТС5).	-	1,3	-	0,2
Шум автомобильной магистрали (ТС6).	-	2,6	-	0,15
Шум рельсового электротранспорта (ТС7).	-	1,5	-	0
Шум мотокосы (ТС8).	-	1,1	-	0

Большие различия оценок вероятности правильного обнаружения и распознавания объясняются различными условиями полета БПЛА, режимом работы винтомоторной группы, затуханием сигнала АИ при удалении от микрофона, наличием переотражений от зданий.

Результаты устойчивости алгоритмов обнаружения и распознавания к шумам окружающей среды исследовались с использованием тестовых сигналов ТС4 – ТС8 и представлены в таблице. Алгоритм обнаружения оказался наиболее чувствительным к шумам автомобильной магистрали и рельсового электротранспорта. Метод распознавания на основе мел-кепстральных коэффициентов оказался менее чувствительным к шумам окружающей среды.

### Выводы

Результаты обработки аудиозаписей БПЛА, полученных с использованием ненаправленного микрофона, показали, что алгоритм обнаружения достаточно эффективно работает при удалении объекта до 80 м: он обеспечивает вероятность правильного обнаружения порядка 50 % на расстояниях до 50 м и порядка 15 % на удалении 80 м. Вероятность ложного обнаружения в условиях города – до 1 %. Работа алгоритма одинаково эффективна для любой из рассмотренных моделей БПЛА.



Использование метода мел-кепстральных коэффициентов позволяет обеспечивать вероятность правильного распознавания до 60 % на дистанции 50 м, 30 % на расстояниях до 80 м. Вероятность ложного распознавания в условиях города – до 0,5 %. Такие результаты обеспечиваются только для конкретного типа БЛЛА, при наличии его векторов признаков для разных режимов полета.

Полученные результаты исследований позволяют говорить о возможности использовать рассмотренные алгоритмы обнаружения и распознавания акустических сигналов БПЛА для задач оперативного контроля воздушного пространства.

#### Список литературы:

1. Олейников В.Н., Шейко С.А., Бабкин С.И. Исследование характеристик акустического излучения малых беспилотных летательных аппаратов // Сб. науч. тр. VI Междунар. радиоэлектронного форума “Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития (МРФ-2017)”. Международная научная конференция “Радиолокация. Спутниковая навигация. Радиомониторинг”. 24-26 октября 2017 г., Харьков, Украина : Точка, 2017. – С.107-11.
2. Kartashov, V., Oleynikov, V., Koryttsev, I., Zubkov, O., Babkin, S., Sheiko, S. Processing and recognition of small unmanned vehicles' sound signals // International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T). – Kharkiv, 2018. – P. 1-5.
3. Карташов В.М., Олейников В.Н., Шейко С.А., Бабкин С.И., Коротцев И.В., Зубков О.В., Анохин М.А. Информационные характеристики звуковых сигналов малых беспилотных летательных аппаратов // Радиотехника. – 2017. – Вып 191. – С. 181-187.
4. Kartashov V.M., Oleynikov V.N, Sheyko S.A., Babkin S.I., Koryttsev I.V., Zubkov O.V., Anokhin M.A. Information characteristics of sound radiation of small unmanned aerial vehicles // Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika). – 2018. – V.77(10). – P. 915-924.
5. Журавлев В. Анализ информационных параметров и характеристик сигналов маскирования речи на объектах информационной деятельности // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. – 2007. – Вип. 1 (14). – С. 170-176.
6. Останин С.А. Увеличение отношения сигнал шум методом последовательного вычисления автокорреляционной функции // Журнал радиоэлектроники. – 2011. – № 12. – С.17-26.
7. Заковряшин А.С., П.В. Малинин, Лепендин А.А. Применение распределений мел-частотных кепстральных коэффициентов для голосовой идентификации личности // Управление, вычислительная техника и информатика. – 2007. – №5. – С. 156-160.
8. A. Bernardini, F. Mangiatordi, E. Pallotti, L. Capodiferro; F. Ugo Bordoni. Drone detection by acoustic signature identification // [Electronic Imaging](#), Imaging and Multimedia Analytics in a Web and Mobile World. – 2017. – P. 60-64.

*Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники*

*Поступила в редколлегию 11.10.2018*