

УТВЕРЖДАЮ

Ректор учреждения образования
«Белорусская государственная
академия связи», доктор
технических наук, профессор
А.О. Зеневич
«16» мая 2025 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Пузанова Александра Денисовича «Обнаружение малоразмерных беспилотных летательных аппаратов по акустическим шумам», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – радиотехника, в том числе и устройства телевидения

В современных вооруженных конфликтах, в связи с масштабным применением беспилотных летательных аппаратов (БЛА), существенно возросла роль их своевременного вооружения. Так как их применение осуществляется в основном на предельно малых высотах, то своевременно обнаружить БЛА существующими средствами радиолокационной, радиотехнической, оптико-электронной разведки не всегда удастся. Современные БЛА используются не только для выполнения задач ведения разведки, но и для нанесения поражения объектам. Поэтому разработка средств обнаружения БЛА, построенных на других физических принципах, является важной и актуальной задачей.

В диссертации поставлена и решена актуальная задача повышения эффективности обнаружения малоразмерных БЛА на предельно малых высотах, за счет применения акустической системы пассивной локации. На основании проведенного обзора существующих акустических систем обнаружения и систем противодействия БЛА, в состав которых входит акустический канал обнаружения, наиболее целесообразным направлением развития акустической системы обнаружения автором определены разработка и совершенствование алгоритмов однопозиционного обнаружения.

В связи с этим, большое научное и практическое значение приобретают результаты проведенного исследования, связанные с разработкой модели временной структуры сигнала акустического шума БЛА на выходе акустического микрофона, алгоритма и структуры квазиоптимального устройства обнаружения БЛА по акустическим шумам, макета акустической системы пассивной локации.

Положения, выносимые на защиту, в достаточной мере обоснованы. Научная новизна полученных результатов исследования заключается:

в разработке математической модели временной структуры сигнала акустического шума БЛА на выходе акустического микрофона, которая

отличается от известных учетом характеристик направленности и параметров акустического микрофона, флуктуацией сигналов акустических шумов, траектории полета БЛА, количества и характеристик винтов БЛА, а также представлением сигнала акустического шума БЛА в виде суммы флуктуирующих последовательностей импульсов треугольной формы, пропорциональных звуковому давлению, создаваемому винтами БЛА, что позволило снизить среднюю ошибку аппроксимации энергетического спектра сигнала акустического шума БЛА на 7–30% по сравнению с аналогом;

разработке алгоритма и структуры устройства обнаружения БЛА по акустическим шумам, отличающиеся оптимальной фильтрацией сигнала акустического шума БЛА на интервале, определяемом временем корреляции флуктуаций сигнала акустического шума БЛА, многоканальностью по априорно-неизвестному периоду повторения импульсов сигнала акустического шума БЛА в двухканальном устройстве выделения полезного сигнала, импульсные характеристики каналов которого сдвинуты на четверть периода повторения принимаемых импульсов, что позволило исключить потери и увеличить дальность обнаружения БЛА не менее чем в 1,3–1,6 раза.

Практическая значимость работы заключается в том, что ее результаты, а именно:

- разработанная математическая модель временной структуры сигнала акустического шума БЛА может использоваться для разработки алгоритмов и устройств совместного обнаружения-распознавания, измерения координат БЛА по акустическим шумам, с последующей оценкой их эффективности, а также при обосновании требований к акустической заметности проектируемых БЛА;

- полученные алгоритмы функционирования и квазиоптимальное устройство обнаружения могут использоваться при разработке перспективной акустической системы обнаружения БЛА по акустическим шумам, применение которой возможно как в составе комплексной системы противодействия, так и в качестве системы мониторинга воздушного пространства.

Согласно автореферату, результаты диссертационного исследования использовались при выполнении 4 НИОКР, апробированы на 9 международных и республиканских научных конференциях и семинарах, опубликованы в 10 печатных работах: 5 статьях, соответствующих пункту 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, и 5 тезисах докладов и материалов конференций.

Достоверность теоретических результатов работы подтверждается экспериментальными данными. Автореферат достаточно полно отражает суть исследования и отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней. Структура диссертации, как следует из автореферата, соответствует требованиям ВАК Республики Беларусь, а ее

содержание – специальности 05.12.04 – радиотехника, в том числе и устройства телевидения.

На основании изучения автореферата в качестве замечаний можно отметить:

1) Для теоретической оценки дальности обнаружения БЛА по акустическим шумам выбран БЛА типа «DJI Phantom 4» (рис.1), в то же время в табл. 1 реферата указана дальность обнаружения БЛА типа «DJI Phantom», а основные результаты экспериментальных исследований на рис. 2 – для «DJI Phantom 4 Pro». Почему использованы разные типы БЛА и в чем их отличие, не пояснено.

2) Из содержания реферата не видно, в какой степени, учитываемые в модели факторы (*характеристики направленности и параметры акустического микрофона, флуктуации сигналов акустических шумов, траектории полета БЛА, количество и характеристики винтов БЛА*) влияют на уменьшение средней ошибки аппроксимации (*интервал от 7 до 30%*).

Выводы:

1. Указанные замечания не снижают общую ценность диссертационной работы, и не влияют на полученные новые научные и практические результаты диссертации.

2. Содержание автореферата позволяет сделать вывод о том, что диссертационное исследование Пузанова Александра Денисовича «Обнаружение малоразмерных беспилотных летательных аппаратов по акустическим шумам», является самостоятельным, логическим, обоснованным и завершённым исследованием в области технических наук.

3. Данное исследование отличается научной новизной и существенным исследовательским вкладом в области теории и практики разработки средств обнаружения малоразмерных воздушных объектов на основе акустических параметров, а автор диссертации заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – радиотехника, в том числе и устройства телевидения.

Директор

Института современных технологий связи

учреждения образования

«Белорусская государственная академия связи»,

кандидат военных наук, доцент

В.М. Ивашко