

УДК 534.87

В.И. Кондратьев, С.В. Новиков, Д.Н. Рассадов, А.В. Стадник

*Научно–исследовательский институт прикладной акустики;
ул. 9 Мая, д. 7А, г. Дубна Московской области; niipa@dubna.ru*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО–ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АКУСТИЧЕСКОЙ
ПЕЛЕНГАЦИИ ВЕРТОЛЕТОВ**

Получена 28 мая 2010 года

Опубликована 2 июня 2010 года

01.04.06 – акустика

В работе описан разработанный макет системы акустического наблюдения за вертолетами. Для создания макета было проведено численное моделирование для оценки ошибок обнаружения, пеленга, идентификации в зависимости от расстояния между приемниками акустического давления, от ошибки измерения расстояния между приемниками, от характеристик используемого оборудования. Приведены результаты моделирования и экспериментальных исследований шумов вертолетов и определения пеленга на вертолет.

Ключевые слова: акустическая система, пеленг, спектр шума вертолета, численное моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на широкое развитие и значительные успехи в создании радиолокационных станций (РЛС) слежения за воздушными объектами, опыт их применения показал, что применение средств радиоэлектронной борьбы приводит к тому, что дистанционное наблюдение за объектами средствами РЛС становится малоэффективным. Вследствие этого актуальность создания альтернативных средств для наблюдения за воздушными объектами с помощью мобильных устройств значительно возросла.

Разработкой способов и устройств для обнаружения и определения координат летательных аппаратов и артиллерийских систем по

характеристикам излучающего ими акустического сигнала начали заниматься в 30–е – 40–е годы [1]. Однако развитие современных технологий и создание на их основе новой регистрирующей и анализирующей аппаратуры позволяет развивать известные методы обнаружения, идентификации и определения пеленга на движущиеся объекты за счет использования более совершенных вычислительных средств и приемных устройств, а также применения новых алгоритмов обработки информации.

В настоящее время существует большое количество различных разведывательно–сигнализационных приборов (РСП), используемых для наблюдения и контроля за перемещениями объектов на местности, обеспечения безопасности различных территорий с целью воспрепятствовать проникновению на их территорию нежелательных лиц и т.п. В данных устройствах используется широкий спектр сенсоров (сейсмические, магнитные, электромагнитные, акустические, сейсмические и инфракрасные датчики) с различным принципом обнаружения, объединенных в автономные или дистанционно управляемые станции.

Из зарубежных устройств подобного класса, предназначенных для наблюдения за вертолетами, можно привести в качестве примера:

французскую систему BACH (Balise Acoustique Classification Helicoptere), которая обеспечивает 95–процентное автоматическое распознавание десяти типов вертолетов (акустические портреты которых хранятся в памяти РСП), обнаружение легких вертолетов в нормальных погодных условиях на расстоянии от 2 до 5 км и тяжелых до 12 км (при сильном ветре до 4 км), а также их пеленгование в зависимости от расстояния с точностью 2 – 20°;

израильскую систему HELISPOT, включающую акустический РСП, который обеспечивает обнаружение, распознавание и пеленгование низколетящих вертолетов на дальности 3 км с точностью до 3°. РСП снабжен микрофоном и электронным классификатором, определяющим тип цели по спектру принимаемого акустического сигнала;

израильскую систему ROAD, использующую акустический РСП, обеспечивающий обнаружение средних вертолетов на расстоянии 1–2 км, больших – до 2,7 км и в режиме зависания на малых высотах – 2,5 – 3 км.

Как видно из приведенных примеров, данные устройства используют при работе банк исходных данных по акустическим портретам для более эффективного выделения полезного акустического сигнала. Очевидно, что только наличие банка исходных данных по акустическим характеристикам объекта, шумящего на разных режимах, позволяет однозначно идентифицировать и отличить его от других.

В данной работе нами описан принцип работы созданного на основе серийно выпускаемых блоков регистрации, обработки сигналов и конденсаторных микрофонов макета акустической системы для обнаружения, идентификации вертолетов и создания банка данных по их акустическим портретам.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПЕЛЕНГА НА ПЛОСКОСТИ

Минимальное необходимое количество датчиков для однозначного решения задачи пеленгации на плоскости равно трем. Однако, в связи с ошибками округления малых чисел, неизбежно возникает деление на числа близкие к нулю, что в свою очередь приводит к появлению «неправильных» пеленгов, ошибка определения которых чрезвычайно велика. На рисунке 1

показано рассчитанное поле ошибок при расположении датчиков в вершинах прямоугольника.

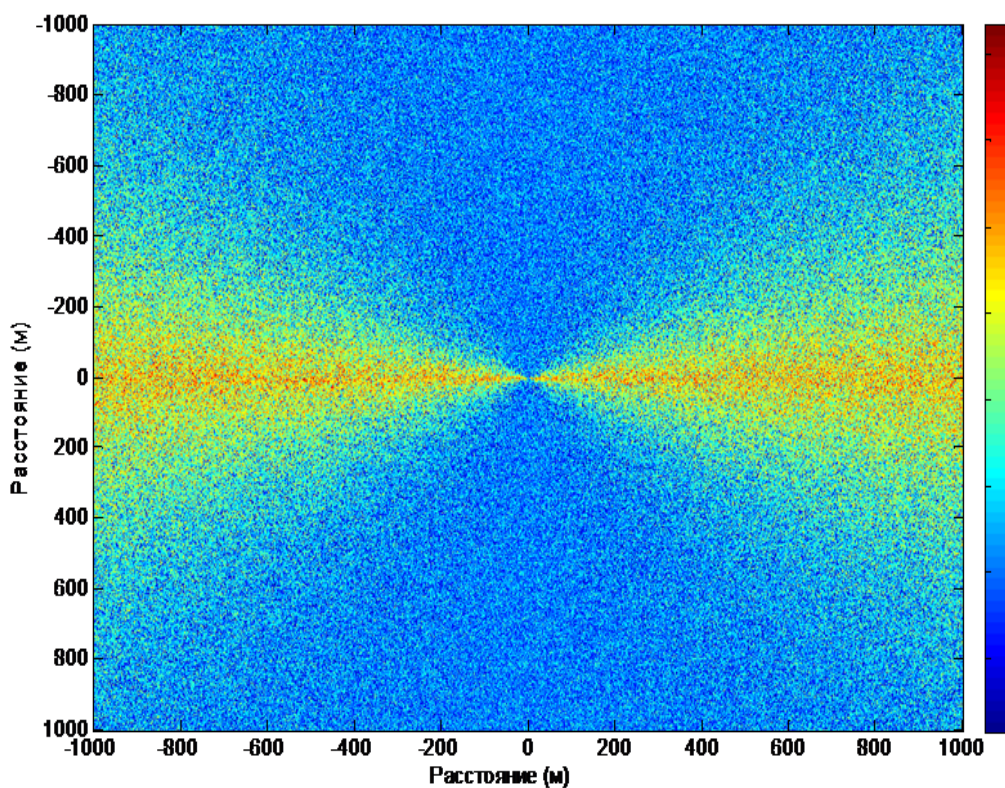


Рис. 1. Расчет поля ошибки определения пеленга

Видно, что наибольшая ошибка для данного решения будет в случае, когда пеленгуемый объект находится недалеко от оси X. Использование еще одного датчика позволяет создать фактически четыре пеленгующих устройства (по три датчика в каждом из них) разной геометрической конфигурации так, что ошибка деления на ноль будет возможна только в одном из них. Впоследствии, выбирая три наиболее близких решения, можно избавиться от погрешностей такого рода. Таким образом, минимальное удобное для вычисления с приемлемой точностью количество датчиков – 4.

АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ

Акустическая система (АС) состоит из отдельных модулей и разработанной программы для сбора и обработки исходных данных. Приемная часть АС – это четыре конденсаторных микрофона и промышленные анализаторы с динамическим диапазоном 130 дБ, частотным диапазоном от 0 Гц до 25,6 кГц, частотой дискретизации 65 кГц. Частотный диапазон используемых микрофонов – от 8 Гц до 12,5 кГц, что вполне достаточно для регистрации акустического сигнала от вертолета.

Современные акустические датчики имеют достаточно большую чувствительность и низкий уровень собственных шумов, что потенциально позволяет производить регистрацию сигналов очень малой амплитуды. Возможности современных аналого–цифровых преобразователей так же не отстают от возможностей датчиков. Существует большое количество устройств с динамическим диапазоном более 120 дБ, что также позволяет без перегрузки приемного тракта на фоне больших амплитуд регистрировать малые колебания сигнала. Нижним пределом обнаружения акустического сигнала фактически является нижний предел динамического диапазона микрофона, который в настоящее время может достигать величин менее 10 дБ. Однако, как видно из рисунка 2, фоновые шумы значительно превышают эту величину. Таким образом, возможности современной аппаратуры перекрывают потребности регистрации сигналов лежащих над фоном. Поэтому, чтобы наиболее полно использовать возможности аппаратуры, имеет смысл прибегать к различным методам подавления фона.

В связи со стохастическим характером фоновых шумов не представляется возможным снижать их уровень простым вычитанием шумового сигнала из смеси сигнала с шумом. Целесообразным является

использование различных методов накопления сигнала. При этом случайный характер фоновых шумов становится причиной его более медленного, по сравнению с сигналом, накопления [2].

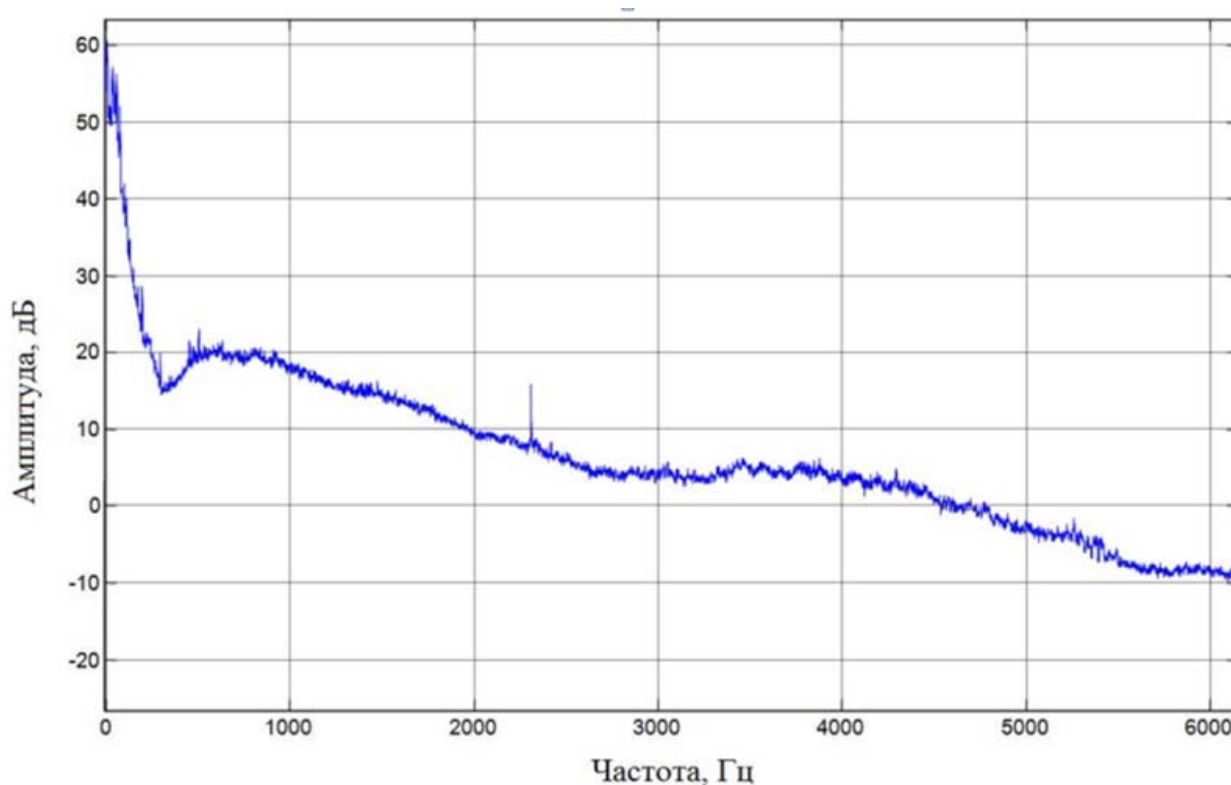


Рис. 2. Акустический фон в пригороде

Накопление можно разделить на два типа: пространственное и временное. Несомненным плюсом временного накопления является возможность производить его с помощью одного датчика. Но, к сожалению, накопление по времени становится малоэффективным в случае, если сигнал является импульсным, шумоподобным или характеристики сигнала со временем меняются. Например, спектр движущегося вертолета будет искажаться из-за эффекта Доплера, дополнительное искажение будет вносить затухание в атмосфере, зависящее от частоты звука, а также

порывистый ветер, дающий случайный вклад в искажения, вызванные движением объекта.

В то же время, антенная решетка позволяет помимо пространственного накопления осуществить оценку времени прихода фронта волны в разные точки пространства, что в свою очередь позволяет оценить угол распространения волны относительно решетки, т.е. вычислить пеленг на излучающий источник. Для подобной акустической системы представлены результаты моделирования определения дальности обнаружения, пеленга и расстояния до вертолета и соответствующих ошибок в зависимости от количества датчиков, расстояния между ними, влияния метеоусловий и параметров электронных блоков – рисунки 3 и 4.

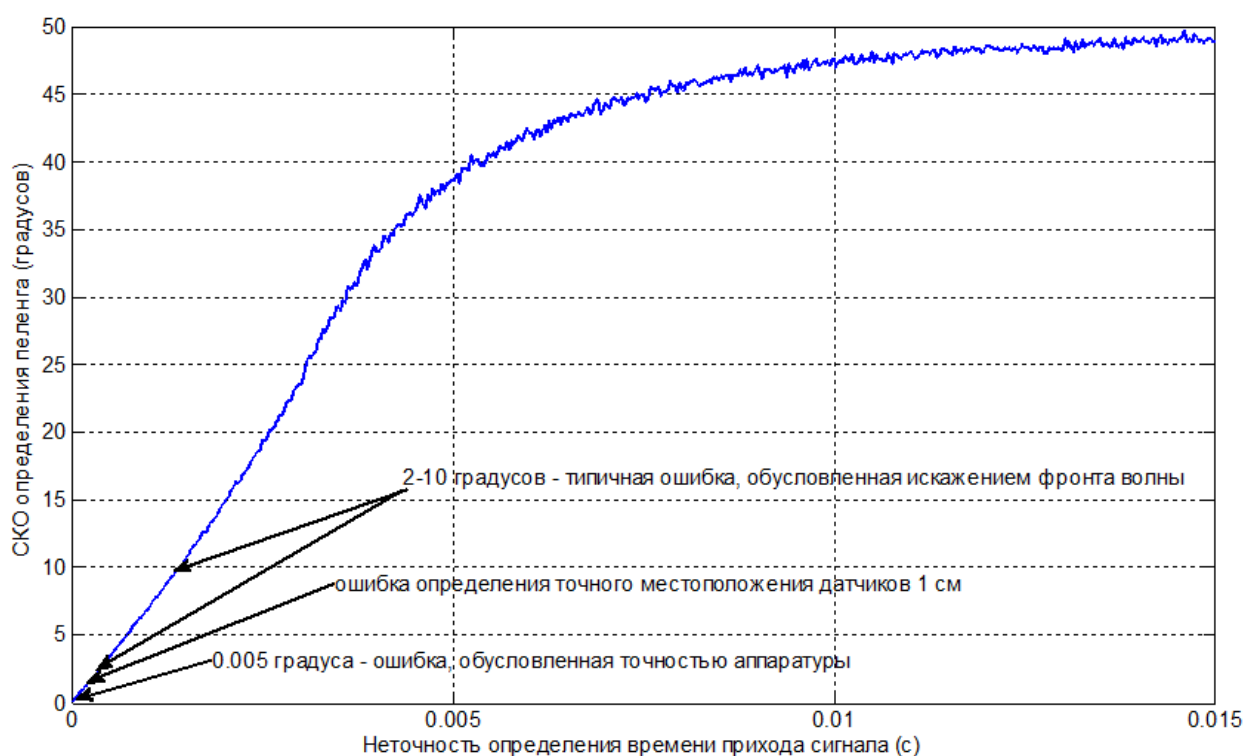


Рис. 3. Ошибка пеленга, вызванная неточностью определения времени прихода сигнала на датчики

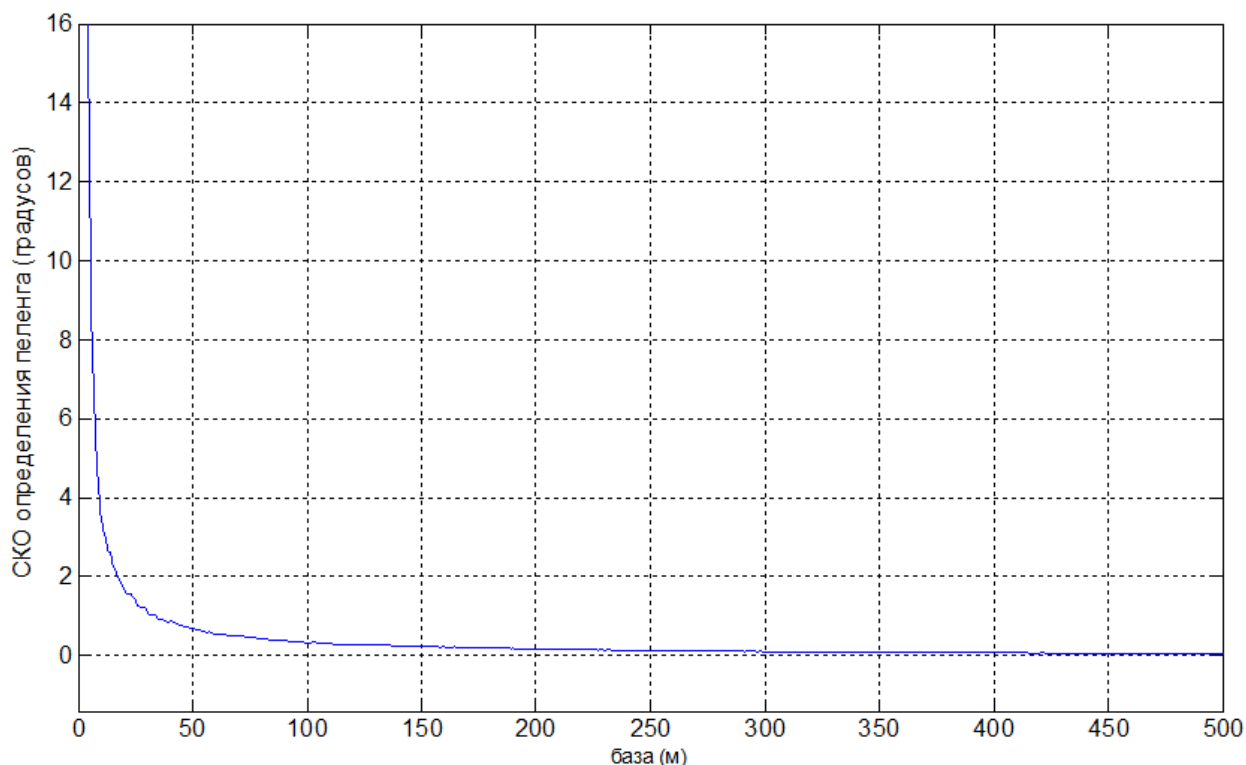


Рис. 4. Точность определения пеленга на источник в зависимости от базы

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основными источниками шума вертолетов являются вращающиеся винты. В связи с этим большая часть излучаемой акустической энергии сосредоточена в наборе дискретных составляющих в спектре сигнала. Количество лопастей, их длина, скорость вращения и взаимное расположение винтов определяют количество характерных гармоник и скорость их убывания [3]. Поскольку скорость вращения винтов вертолета в рабочем режиме постоянна, то спектральный акустический портрет каждой конкретной модели можно считать постоянным, описать который можно набором дискретных составляющих и широкополосной составляющей шума.

Очевидно, что для наиболее эффективной идентификации акустическая система должна иметь базу акустических портретов.

Для измерения акустических характеристик вертолетов, сбора банка данных по акустическим портретам и проверки работы акустической системы использовали следующую методику. Микрофоны устанавливали в местах полетов вертолетов, затем измеряли расстояние между микрофонами для установки геометрии системы, после чего проводили оценку фоновых условий. Во время полетов вертолетов система работала автономно. Для контроля работы системы по определению пеленга и расстояния до вертолетов на них устанавливали GPS-навигаторы и после полетов проводили расшифровку записанных данных в памяти GPS-навигаторов и рассчитанный системой пеленг.

На рисунках 5 и 6 представлены мгновенный и усредненный спектры акустического сигнала вертолета, выполненного по классической схеме (Ми-8).

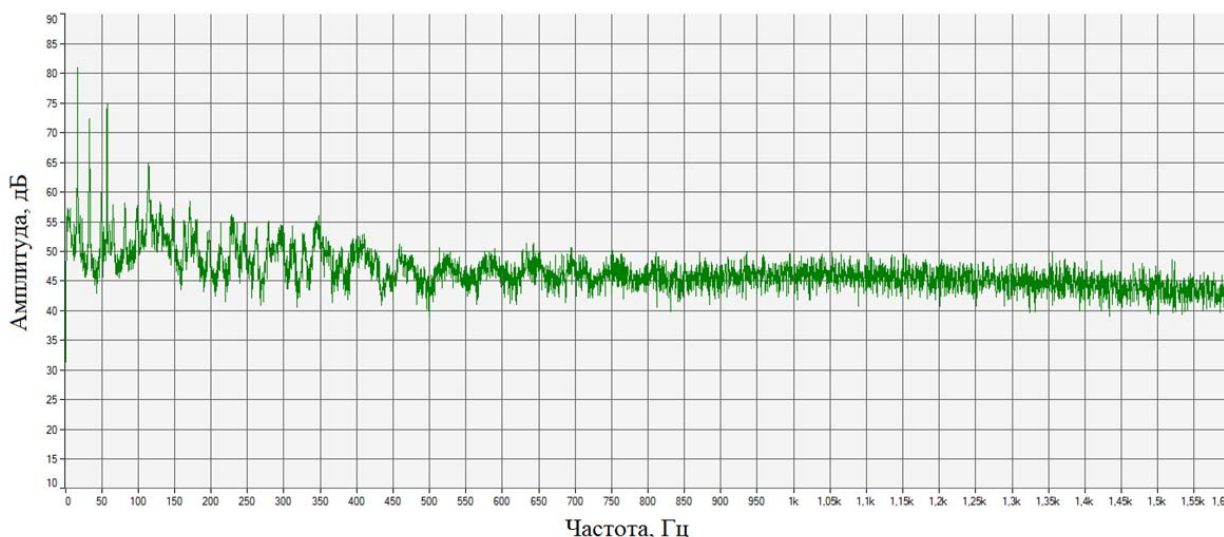


Рис. 5. Мгновенный спектр вертолета Ми-8

Как видно, четко выделяются гармоники как несущего, так и рулевого винтов. Взаимное расположение этих гармоник, очевидно, является простейшим методом идентификации источника. Из мгновенного спектра вертолета видно, что основная энергия сосредоточена на частотах до 300 – 500 Гц, и очевидно, что для идентификации и обнаружения вертолета достаточно акустического датчика с такими частотными характеристиками.

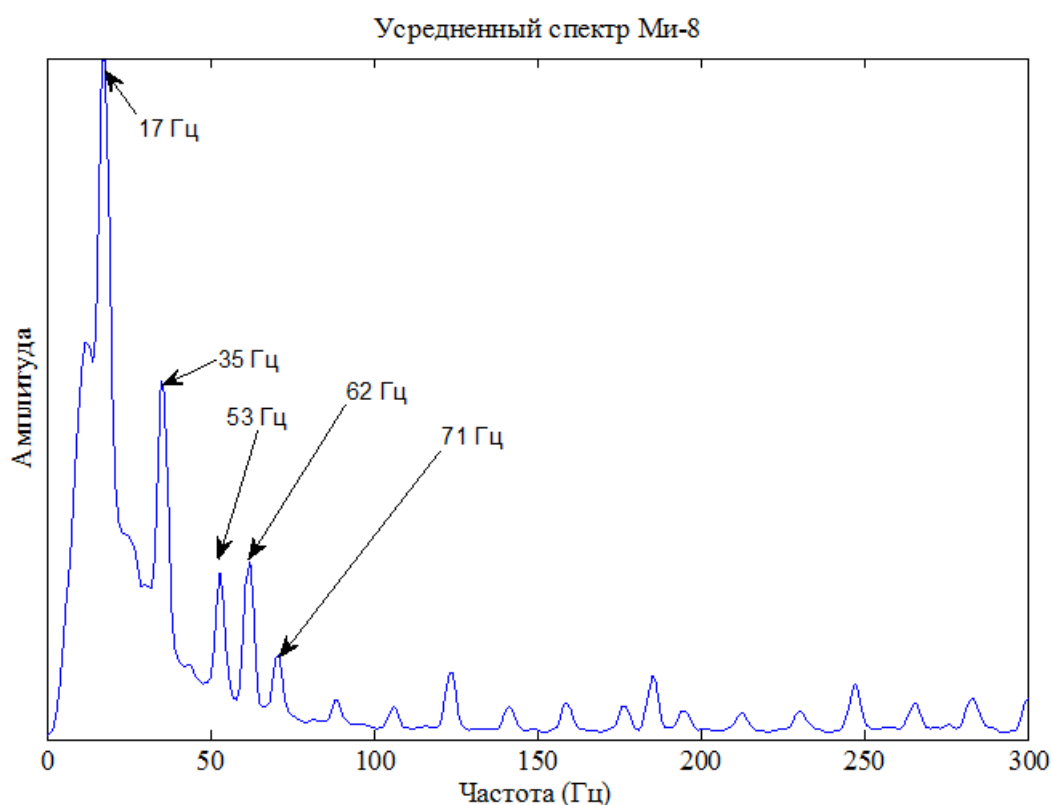


Рис. 6. Усредненный спектр вертолета Ми-8

Полученные таким образом мгновенные и усредненные по времени спектры пригодны для создания банка данных по акустическим портретам вертолетов.

На рисунке 7 представлен вид окна рабочей программы пеленгатора вертолета. Видно, что разность времени прихода акустического сигнала на датчики, определяемая по максимумам корреляционной функции, позволяет однозначно определять пеленг на вертолет.

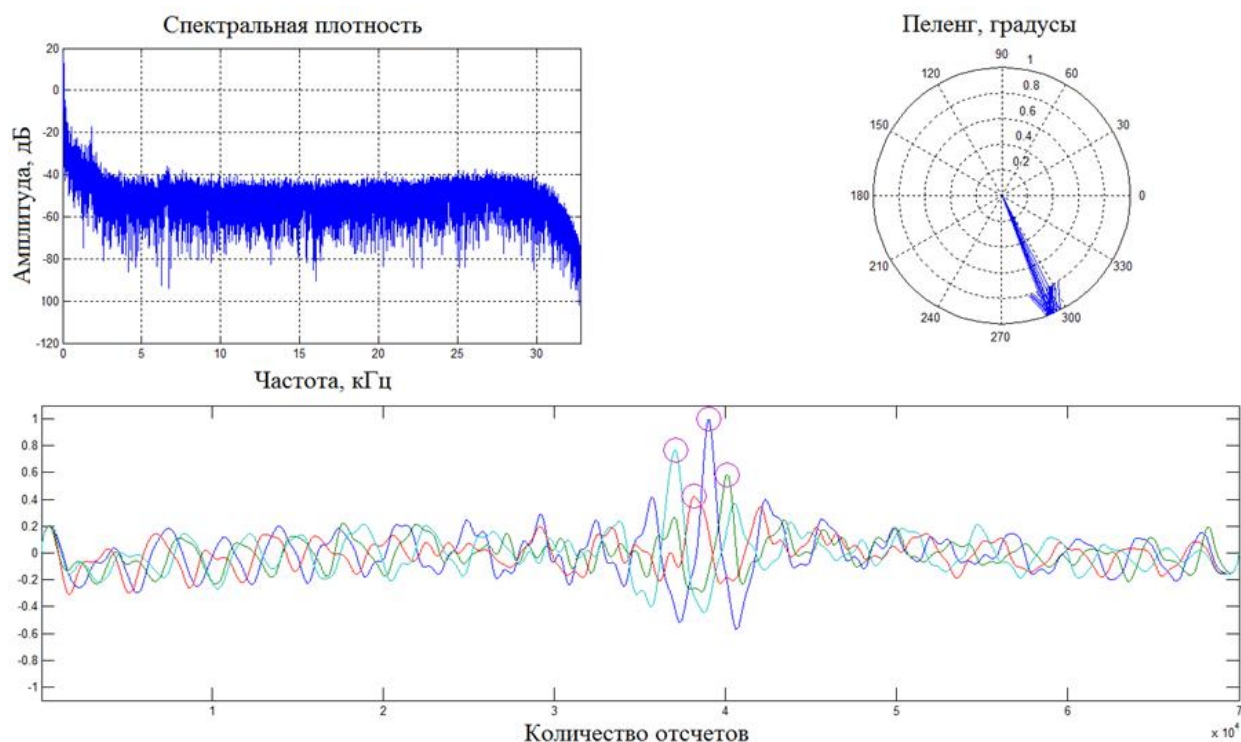


Рис. 7. Вид окна рабочей программы пеленгатора

ВЫВОДЫ

1. Разработан программно–аппаратный макет устройства дистанционного наблюдения за вертолетами.
2. Получены данные по акустическому портрету вертолета Ми–8 (мгновенный и усредненный спектры).

3. Получены оценки для ошибок обнаружения, пеленга, идентификации в зависимости от расстояния между приемниками акустического давления, от ошибки измерения расстояния между приемниками, от частоты дискретизации АЦП.

4. Возможно совершенствование акустической системы наблюдения за вертолетами, направленное на решение в дальнейшем задач по созданию новых алгоритмов, предназначенных для увеличения числа одновременно сопровождаемых вертолетов и разделения сигналов от вертолетов одного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таланов А.В. Звуковая разведка артиллерии. М. : Военное издательство, 1948. 400 с.
2. Харкевич А.А. Борьба с помехами. М. : Книжный дом, 3 издание, 2008. 194 с.
3. Джонсон У. Теория вертолета. М. : Мир, 1983. 1022 с.