

# Проблемы и решения задачи обнаружения современных диктофонов.

Гудков Сергей Александрович  
Специальная техника 2001, №3

Сложность задачи обнаружения современных диктофонов заключается в том, что, с одной стороны, требуется регистрировать очень слабое электромагнитное излучение работающего диктофона. Для этого необходим чувствительный измеритель электромагнитного поля. С другой стороны, необходимо не реагировать на промышленные помехи и на излучение других приборов, которое может быть очень сильным. Причем частотный диапазон, характер и форма электромагнитных колебаний от диктофона и от мешающих источников одинаковы.

## **Терминология:**

**Аналоговый сигнал** - такой электрический сигнал, амплитуда которого в произвольный момент времени может принимать множество значений в некотором диапазоне уровней, называемом динамическим диапазоном.

**Цифровой сигнал** - такой электрический сигнал, амплитуда которого в произвольный момент времени может принимать два некоторых значения, один из которых является уровнем логической "1", а другой - уровнем логического "0". Отсюда, цифровая форма записи сигнала - это последовательность нулей и единиц, записываемых в микросхему памяти, на магнитный или оптический носитель.

**Спектр сигнала** - такое представление электрического сигнала, взятого за некоторый промежуток времени, которое представлено набором амплитуд, полученных на выходе группы полосовых фильтров, через которые пропущен этот сигнал. Причем полосовые фильтры имеют одинаковую полосу пропускания, эти полосы не пересекаются и расстояние между центральными частотами равно полосе пропускания. Количество фильтров определяет число гармоник в спектре.

**Помеха, спектр помехи** - в рамках этой статьи - это все сигналы и их спектральные составляющие, которые не являются результатом работы диктофона.

С точки зрения пользователя, обнаружитель современных диктофонов должен решать три задачи:

1. обеспечивать приемлемую дальность обнаружения для большинства диктофонов;
2. минимизировать вероятность пропуска сигнала;
3. минимизировать вероятность ложного срабатывания.

Для того чтобы оценить объем работ по созданию такого обнаружителя, необходимо рассмотреть все группы современных диктофонов на предмет создаваемого ими электромагнитного излучения, так как оно может явиться единственным демаскирующим признаком для записывающего диктофона.

По создаваемому электромагнитному излучению диктофоны могут быть разделены на две группы: имеющие в своей конструкции электродвигатель и имеющие микросхемы памяти для записи информации.

К первой группе относятся следующие аппараты:

1. построенные на классическом принципе записи электрических сигналов на магнитную ленту в аналоговом виде и подразумевающие наличие лентопротяжного механизма, плюс не имеющие генератора стирания и подмагничивания (ГСП);
2. тоже что п.1, но имеющие ГСП.
3. построенные на принципе записи электрических сигналов на магнитную ленту в цифровом виде на DAT-кассету и имеющие более сложный лентопротяжный механизм, аналогичный механизму видеомагнитофона;
4. построенные на принципе записи электрических сигналов на магнитный или оптический дисковый носитель в цифровом виде, например на минидиск, разработанный фирмой SONY (магнитный носитель), или на лазерный перезаписываемый диск (оптический носитель). Также имеют электродвигатель.

В дальнейшем эта группа диктофонов будет называться - "кинематические".

Характер создаваемого электромагнитного излучения этой группы диктофонов одинаков. Источником максимального излучения являются электродвигатель и ГСП (только для подгруппы 2). Форма сигнала от электродвигателя носит импульсный характер с основной гармоникой в диапазоне от 80 до 300 Гц. С меньшими амплитудами в этот диапазон попадают другие гармонические составляющие этого сигнала. Излучение от ГСП приближено к синусоидальному и находится в пределах от 20 до 60 КГц.

Другая группа диктофонов построена на принципе записи электрических сигналов в кристалл микросхемы памяти в цифровом виде. Причем может использоваться энергонезависимая память (флэш-память) или реже динамическая или статическая память, требующая постоянно подключенного источника питания. В дальнейшем эта группа диктофонов будет называться - "цифровые" [4].

Конструктивно "цифровые" диктофоны могут быть выполнены в двух вариантах:

1. функция диктофона является основной;
2. функция диктофона является дополнительной.

Ко второй подгруппе относятся устройства:

- a. некоторые модели сотовых телефонов;
- b. большинство "карманных" миникомпьютеров, например PocketPC;
- c. MP3-плееры с возможностью записи.

Необходимо отметить, что теоретически понятием "цифровой" диктофон определено устройство, осуществляющее запись речевой информации на некоторый носитель в цифровом виде. Причем носителем может являться диск или лента. Такие устройства имеют кинематический механизм и в рамках этой статьи относятся к "кинематическим" диктофонам.

Что же является источником излучения в "цифровых" диктофонах? По характеру излучения, "цифровые" диктофоны можно разделить на подгруппы:

1. имеющие импульсный преобразователь напряжения, например, если в качестве источника питания использована одна батарея напряжением 1,5 вольт;
2. имеющие съемную конструкцию флэш-памяти;
3. осуществляющие сжатие речевой информации посредством специализированного сигнального процессора;
4. имеющие жидкокристаллический дисплей;
5. имеющие различные подключенные аксессуары, такие, как выносной микрофон, пульт дистанционного управления и т.д.;

б. имеющие корпус, способный экранировать излучение диктофона.

Исследования показали, что максимальный уровень излучения "цифровых" диктофонов для всех подгрупп, как правило, лежит в диапазоне от 20 до 120 кГц. Для диктофонов с импульсным преобразователем напряжения наиболее сильный уровень наблюдается на частоте преобразования. Такие диктофоны могут обнаруживаться на максимальной дальности - более метра.

В диктофонах со съемной флэш-памятью неизбежно присутствует шлейф из нескольких десятков проводников, длиной несколько сантиметров. По нему передаются сигналы адреса и данных для записи в память. Эти сигналы цифровые, а значит, имеют крутые фронты и амплитуду, равную напряжению питания (обычно 3 вольта). Такое количество длинных проводников с такими сигналами дает шумоподобные всплески в некоторых частотных областях. Если использован сигнальный процессор, что характерно для техники западных производителей, спектральные всплески усиливаются, так как такой процессор потребляет более 50% энергии, необходимой для работы диктофона. Диктофоны этих двух подгрупп могут обнаруживаться на расстоянии от 50 см до 1 метра.

В диктофонах с жидкокристаллическим дисплеем последний тоже является источником образования электромагнитного поля. Причем энергия его растет с размерами дисплея, а также в случае, если он графический, и особенно цветной. Наличие таких дисплеев более характерно для приборов, у которых функция диктофона является дополнительной - сотовые телефоны, миникомпьютеры и т.д. Дальность обнаружения таких устройств может превысить 1 метр.

Для диктофонов с подключенным выносным микрофоном или пультом дистанционного управления, соединительный кабель является дополнительным относительно мощным источником излучения.

Для диктофонов в металлических корпусах дальность обнаружения резко падает, так как излучение экранируется корпусом и в зависимости от качества экранировки составляет от нескольких единиц до 30 см. Однако существует вероятность образования низкочастотных субгармоник, от излучения которых такая экранировка малоэффективна. В любом случае, диктофоны в металлических корпусах относятся к классу спецтехники и специально разрабатываются с целью минимизации излучения.

С точки зрения электротехники диктофон состоит из набора замкнутых электрических цепей, причем некоторые из них обладают значительной индуктивностью, что приводит к образованию вокруг работающего диктофона электромагнитного излучения с определенной диаграммой направленности и интенсивностью. Отсюда следует, что любой диктофон может быть обнаружен некоторым электронным устройством на определенном расстоянии.

Рассмотрим задачу измерения уровня магнитной составляющей электромагнитного поля, создаваемого диктофоном. Для этого предположим, что другие источники поля отсутствуют. Наиболее простое решение этой задачи представлено в виде структурной схемы на рис. 1 .

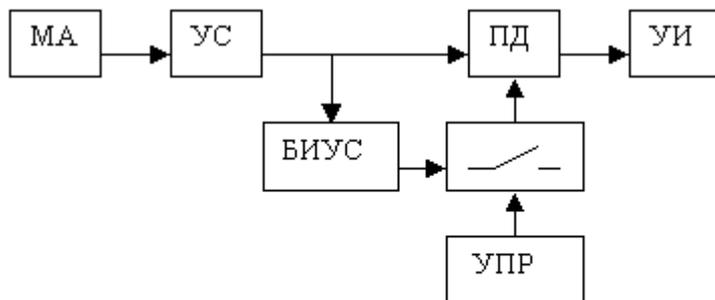


Рис.1. Структурная схема обнаружителя диктофонов на основе широкополосного порогового детектора

Магнитная антенна (МА) имеет амплитудно-частотную характеристику, которая выделяет необходимый частотный диапазон. Усилитель сигнала (УС) с антенны должен быть с минимальным собственным шумом, который и определяет чувствительность всей системы и, следовательно, дальность обнаружения. Теоретически уровень срабатывания порогового детектора (ПД) может быть установлен на значении максимального собственного шума усилителя. Соответственно превышение этого уровня покажет на устройстве индикации (УИ) наличие источника поля. Возможное расстояние до диктофона для такого обнаружителя определено собственным шумом и находится в пределах от десятков сантиметров до 2 метров, в зависимости от типа диктофона. В реальных условиях в некоторой точке пространства всегда присутствует определенный интегральный уровень электромагнитного излучения, созданный множеством других, близких и дальних источников. Этот уровень может значительно превысить собственный шум устройства обнаружения. Более того, некоторые источники (например, переменный ток в сети 220 В) создают очень большой уровень поля и фактически блокируют возможность измерения других полей. Эти условия приводят к необходимости использовать в качестве магнитной антенны (МА) не одну катушку, а две, разнесенные на некоторое расстояние и включенные дифференциально. Такая магнитная антенна становится градиентометром [2]. При этом достигается значительное ослабление влияния удаленного источника, особенно при увеличении расстояния между катушками. К сожалению, уровень сигнала от ближнего источника (диктофона) тоже падает. Но это плата за саму возможность измерения поля ближнего источника. Учитывая действие "паразитных" электромагнитных полей, для регистрации излучения диктофона, необходим блок измерения уровня сигнала (БИУС), который выставит уровень порогового детектора (ПД) на измеренную величину при поступлении команды от управляющего устройства (УПР). Управляет этим оператор, проводящий обнаружение. Видно, что регистрация излучения диктофона в таком приборе возможна только, если это излучение больше уровня фона в данном месте. Соответственно реальная дальность обнаружения теперь сильно зависит от уровня фона и может упасть в несколько раз. Это физическое ограничение для широкополосных детекторов. По такому принципу построен канал обнаружения аудио и видеозаписывающей аппаратуры в приборе ST 041 [7], выпускаемом фирмой "Смерш Техникс" (Санкт-Петербург).

Рассмотрим пути повышения эффективности этого прибора. Для этого требуется решить, как минимум, две задачи: снизить собственный шум прибора и попытаться различить источники электромагнитного поля по частоте. Собственный шум устройства, рассмотренного выше, определялся шумовыми характеристиками микросхемы усилителя и шириной частотного диапазона измерения. Отсюда следует, что уменьшение частотной полосы приведет к уменьшению собственного шума обнаружителя. Эта задача решается путем использования группы полосовых фильтров, перекрывающих интересующий частотный диапазон. Увеличение числа фильтров приводит к улучшению соотношения сигнал/шум. Кроме того, эти же фильтры решают и вторую задачу - позволяют локализовать сигнал по частоте. В результате, у прибора появляется способность "видеть" очень слабые источники электромагнитного излучения на фоне очень сильных, что абсолютно невозможно для широкополосного детектора. На этой основе построен другой прибор для обнаружения диктофонов - ST 0110 [6], выпускаемый фирмой "Смерш Техникс". В основу прибора были положены алгоритмические модели [1,2], использованные ранее в устройстве PTRD-018.

Структурная схема устройства ST 0110 представлена на *рис.2* .

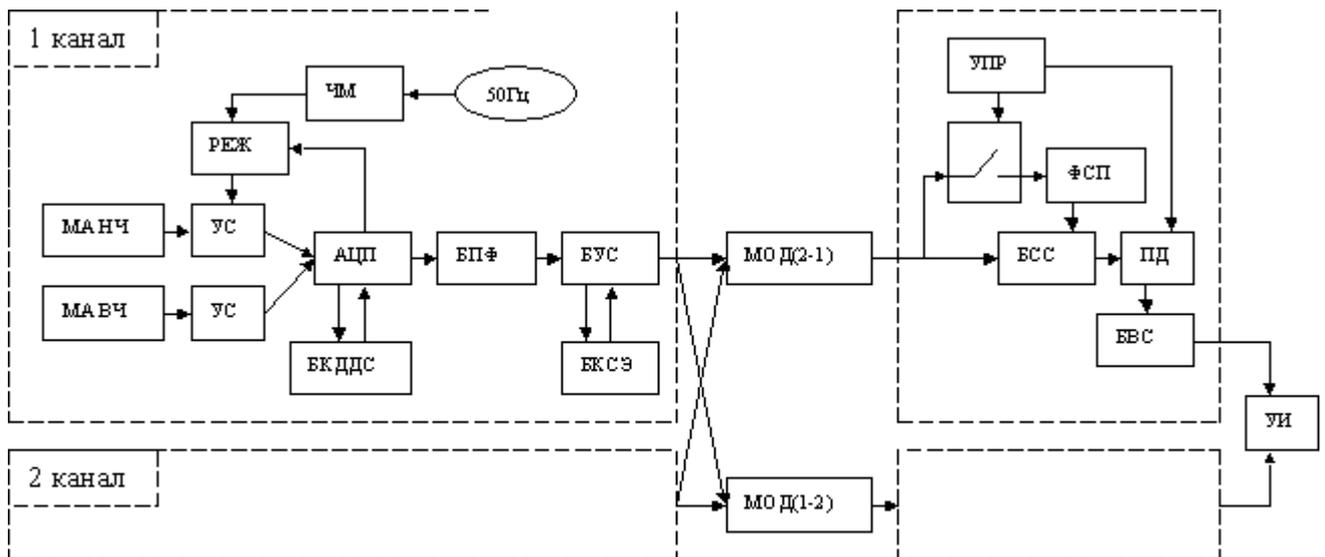


Рис.2. Структурная схема обнаружителя диктофонов на основе спектрального анализа.

Существует еще одна проблема, связанная с реальной сильной нестационарностью электромагнитного поля, созданного "паразитными" удаленными источниками. Эти источники могут появляться и исчезать, а также изменять интенсивность своего излучения совершенно хаотическим образом. Для обнаружителя это будет аналогично ситуации включения и выключения диктофона. Решить это противоречие возможно, если использовать два синхронно работающих тракта вычислений. При этом результаты этих вычислений взаимно вычитаются. В идеальном случае, это приведет к полному подавлению влияния удаленных источников поля. Прибор будет реагировать только на появление и исчезновение источника в ближней зоне, но не равноудаленной от магнитных антенн (рис.3). Радиус ближней зоны растет с увеличением расстояния ("базы") между магнитными антеннами (МА 1, МА 2). Это расстояние должно быть соизмеримо с расстоянием до обнаруживаемого объекта.

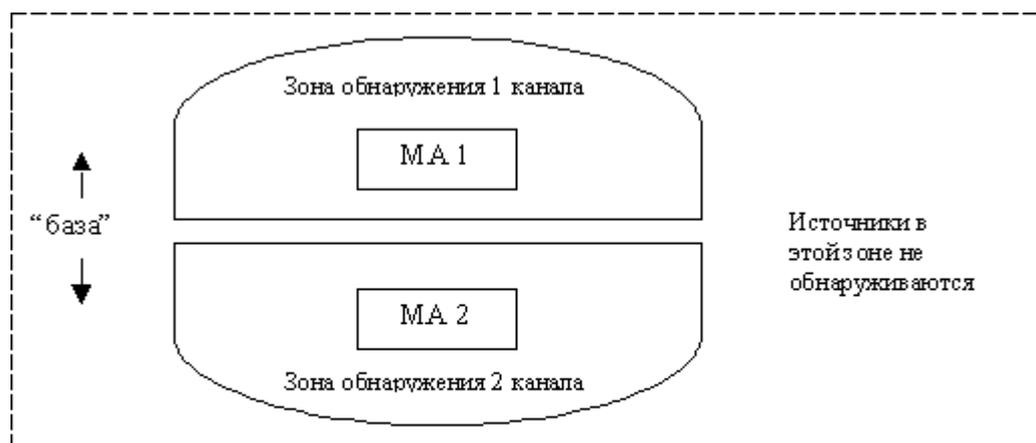


Рис.3. Распределение ближней (зона обнаружения) и дальней зоны (зона не обнаружения) в пространстве, относительно размещения магнитных антенн (МА 1, МА 2).

Полностью решить проблему нестационарности удаленных источников мешает не абсолютное соответствие амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) двух синхронно работающих трактов и не абсолютно точное совпадение угла между вектором поля источника и ориентацией магнитных антенн, а также интерференция и отражение электромагнитных волн. Такого рода несоответствия приводят к

необходимости некоторого уменьшения чувствительности прибора для уменьшения вероятности ложных тревог.

Вернемся к *рис. 2*. С целью максимального подавления влияния удаленных источников (мониторов, телевизоров, оргтехники и другого оборудования) в прибор введены параллельно и синхронно работающие тракты для первого и второго каналов. Эти каналы работают независимо друг от друга до этапа вычитания усредненных спектров. Взаимное вычитание и последующая обработка позволяют определить, к какой из антенн источник расположен ближе, то есть не потерять способность к пространственной локализации.

Обработка сигнала в каждом канале происходит следующим образом. Две независимые магнитные антенны (МА НЧ и МА ВЧ) преобразуют магнитную составляющую электромагнитного поля в электрический сигнал, который поступает в усилитель сигнала (УС). Полоса пропускания связи низкочастотной магнитной антенны и усилителя (МА НЧ и УС) составляет 50-400 Гц, что достаточно для обнаружения "кинематических" диктофонов. В качестве магнитной антенны для этой частотной полосы использован градиентометр. Полоса пропускания связи высокочастотной магнитной антенны и усилителя (МА ВЧ и УС) составляет 20-120 КГц, что ориентировано на обнаружение "цифровых" диктофонов. Далее усиленные сигналы поступают на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), переводятся в цифровую форму и все дальнейшие операции выполняются компьютером.

Исследования показали, что результирующий динамический диапазон обнаружителя должен составлять более 120 дБ. Это связано, в основном, с существованием излучения от сети 220 вольт. Динамический диапазон сигналов от диктофонов не превышает 70 дБ. Снизу диапазон ограничен собственными шумами обнаружителя. Отсюда возникает необходимость попытаться на начальном этапе обработки минимизировать влияние гармоник сети 220 вольт, таким образом, уменьшить динамический диапазон вычислений до 70 дБ и упростить реализацию прибора. С этой целью программно-аппаратно реализован гребенчатый режекторный фильтр (РЕЖ), который обеспечивает подавление сигнала на частотах кратных основной гармонике напряжения питающей сети. Уровень подавления - до 60 дБ. Из-за нестабильности частоты сети, необходим также следящий частотомер (ЧМ), измеряющий частоту сети 50 Гц, с точностью, необходимой для настройки на режекцию основной гармонике. В результате получена возможность использовать АЦП с динамическим диапазоном 70 дБ и дальнейшие вычисления вести в рамках шестнадцатиразрядных вычислений. За максимальной амплитудой сигнала следит блок контроля динамического диапазона сигнала (БКДДС), который выдает признак перегрузки и запрещает дальнейшие вычисления. Если оцифрованный сигнал не выходит за пределы динамического диапазона АЦП, осуществляется быстрое преобразование Фурье (БПФ), результатом которого является разложение сигнала на гармонические составляющие, что эквивалентно использованию группы полосовых фильтров. Количество таких фильтров выбрано, исходя из исследования временной нестабильности и частотной полосы сигналов для ряда типичных диктофонов. Оптимальным оказалось по 256 гармоник для низкочастотной и высокочастотной полосы. Недостатком БПФ является так называемый эффект Гиббса, выражающийся в уширении спектральных пиков в нижней части амплитудного диапазона и появлении множества боковых лепестков [3]. Для уменьшения боковых лепестков, до вычисления БПФ, на сигнал накладывается весовая функция ("окно") Кайзера-Бесселя, которая наиболее сильно подавляет боковые лепестки и позволяет разрешить по частоте близкорасположенные большие и малые сигналы. Платой за это является некоторое уширение спектральных пиков в верхней части амплитудного диапазона, которое может легко компенсироваться увеличением точек Фурье-преобразования.

После вычисления БПФ спектр сигнала поступает в блок усреднения (БУС) для подавления шумовых составляющих в спектре и выделения стабильных спектральных компонент. Использовано экспоненциальное усреднение по ансамблю [3]. Коэффициент усреднения выбирается экспериментально, исходя из уровня нестабильности спектральных составляющих сигналов тестовых диктофонов. Процесс усреднения контролирует блок контроля спектральной энергии (БКСЭ), который

блокирует дальнейшие вычисления при интегральных спектральных всплесках для мгновенного (не усредненного) спектра выше заданного порога. Это предотвращает реагирование прибора на импульсные помехи, вибрации и другие кратковременные возмущения электромагнитного поля. Далее, усредненные спектры сигналов для первого и второго каналов взаимно вычитаются по модулю в блоках МОД(2-1) и МОД(1-2), в результате чего происходит удаление гармоник, одинаковых по частоте и амплитуде. Оставшиеся гармоники спектра поступают в блок сравнения спектров (БСС), где каждая гармоника сравнивается с гармониками спектра, поступающего от формирователя спектра помех (ФСП). На формирование результата сравнения, кроме модуля разности гармоник, влияет поведение соседних гармоник спектра. Блок ФСП работает в определенные моменты по командам от блока управления (УПР), например, во время адаптации к окружающей электромагнитной обстановке. Результат сравнения спектров поступает на пороговый детектор (ПД), порог срабатывания которого определяет чувствительность всей системы. На завершающей стадии анализа, результат порогового детектирования подвергается селекции во времени, то есть отбираются только те события, длительность которых превысила заданный интервал времени. Это происходит в блоке временной селекции (БВС), что позволяет игнорировать относительно короткие сигналы, которые в этом случае приравниваются к ложным. Интервал временной селекции выбирается в пределах от 30 секунд до двух минут. С выхода блока временной селекции (БВС) признак обнаружения диктофона поступает на устройство индикации (УИ). Период однократного анализа пары каналов, в основном, определяется временем формирования выборки отсчетов для низкочастотного тракта ("кинематические" диктофоны) и равен примерно одной секунде. Если обнаруживать только "цифровые" диктофоны, скорость опроса каналов повышается в четыре раза.

Устройство ST 0110 работает в комплекте с "карманным" миникомпьютером класса PocketPC или с любым IBM-совместимым настольным компьютером, в том числе ноутбуком. Максимальное число каналов (зон обнаружения) - 16, для настольного компьютера расширяется до 32 и более.

Для иллюстрации различий в излучении разных диктофонов, ниже приведены спектральные характеристики, полученные с помощью прибора ST 0110, на этапе завершения цикла обработки сигнала - после порогового детектора.

На *рис.4 и 5* приведены частотные характеристики типичного фонового излучения в условиях офиса. В низкочастотной части (до 300 Гц) наблюдаются гармоники, кратные частоте 50 Гц, а также спектральные составляющие от кадровой развертки мониторов. Необходимо подчеркнуть, что влияние этих источников "паразитного" излучения ослаблено за счет использования градиентометра и режекторного фильтра более чем на 60 дБ и на графике отражено только то, что не удалось подавить. В высокочастотной части (от 10 до 110 КГц) видны гармоники от строчной развертки мониторов, телевизора и ноутбука. Причем перечисленное оборудование находится на расстоянии от 3-х до 10 метров от магнитной антенны.

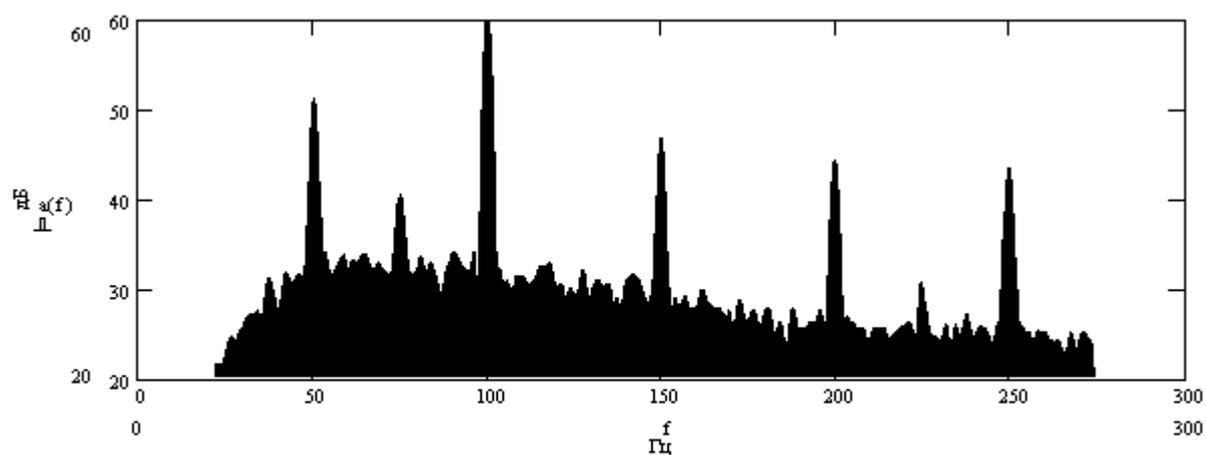


Рис.4. Типичная частотная характеристика фонового излучения в низкочастотном диапазоне.

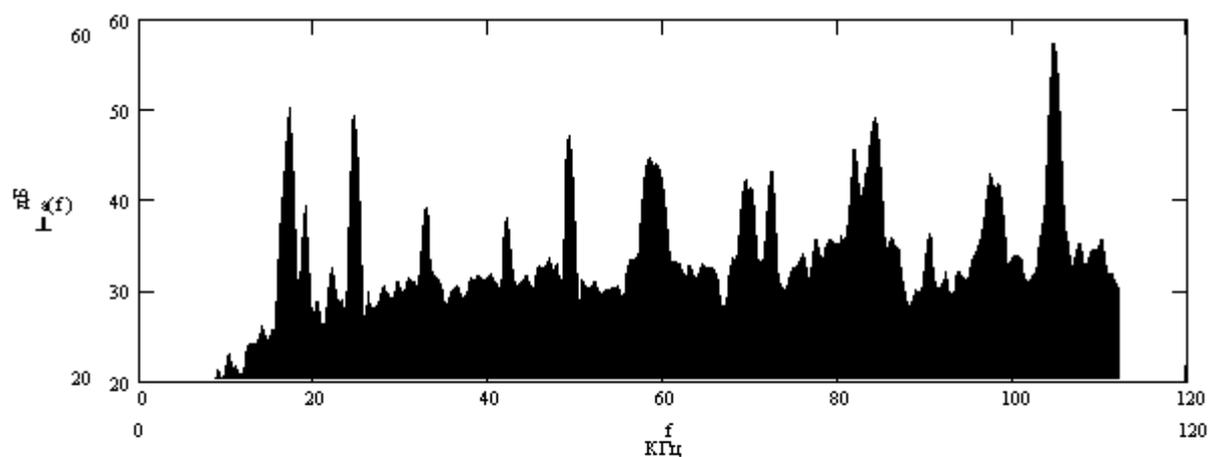


Рис.5. Типичная частотная характеристика фонового излучения в высокочастотном диапазоне.

На рис.6 приведены частотные характеристики излучения "цифрового" диктофона Olympus V-90 на расстоянии 40 и 100 см от магнитной антенны. В этом аппарате излучение создает преобразователь напряжения, частота которого медленно меняется с разрядом батареи.

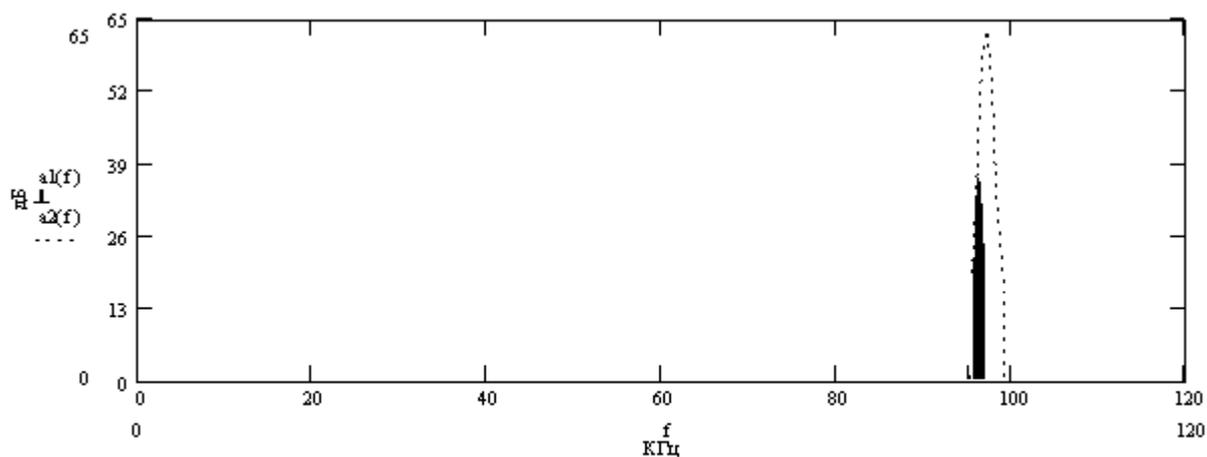


Рис.6. Частотные характеристики излучения диктофона Olympus V-90 на расстоянии 40 (пунктирная линия) и 100 см от магнитной антенны

На рис.7 приведены частотные характеристики излучения "цифрового" диктофона Olympus D1000 на расстоянии 25 и 50 см от магнитной антенны. Спектр излучения этого диктофона носит нестабильный характер, и основная его часть находится в полосе от 30 до 50 КГц.

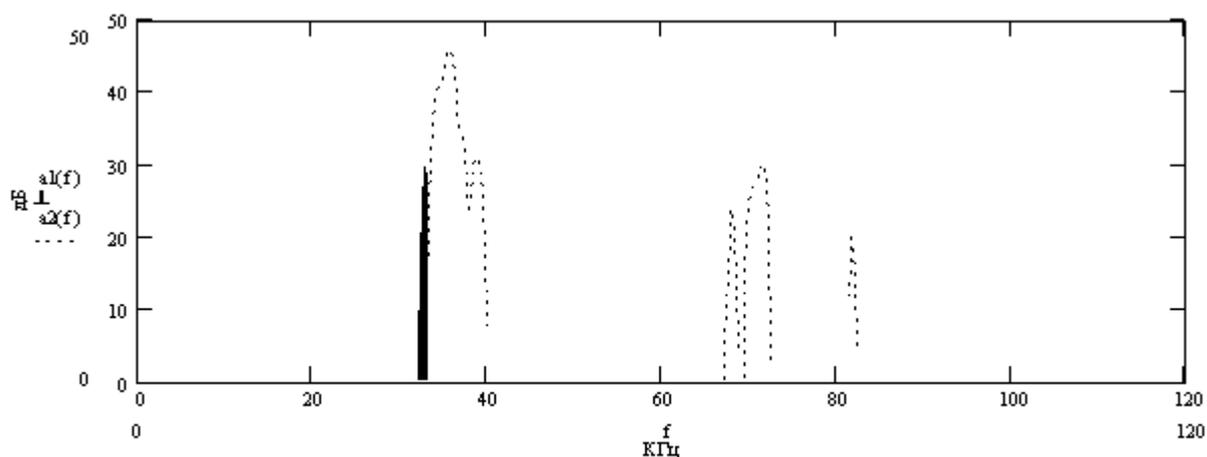


Рис.7. Частотные характеристики излучения диктофона Olympus D1000 на расстоянии 25 (пунктирная линия) и 50 см от магнитной антенны

На рис.8 и 9 приведены частотные характеристики излучения "кинематического" диктофона с ГСП - Sony M-909. Расстояние до магнитной антенны - 25 и 70 см. Сигнал от ГСП здесь (40 КГц) мощнее сигнала от электродвигателя (108 Гц).

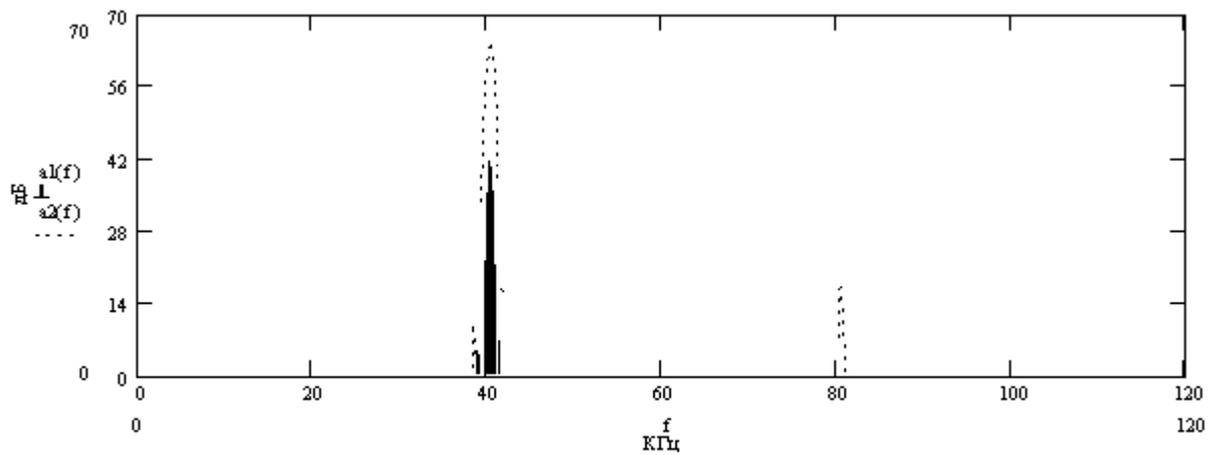


Рис.8. Частотные характеристики излучения диктофона Sony M-909 на расстоянии 25 (пунктирная линия) и 70 см от магнитной антенны для высокочастотной области.

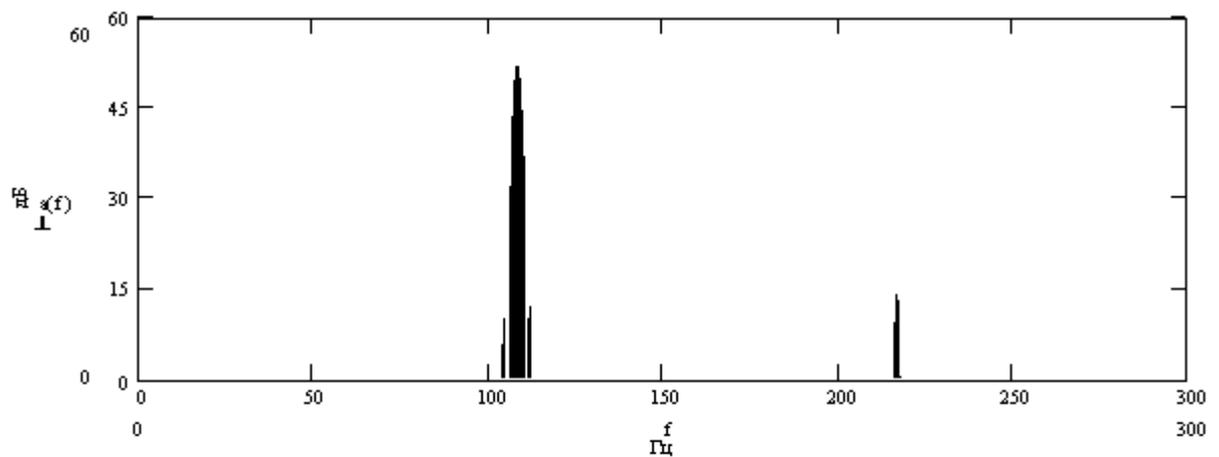


Рис.9. Частотная характеристика излучения диктофона Sony M-909 на расстоянии 25 см от магнитной антенны при скорости движения ленты 1,2 см/сек для низкочастотной области.

На рис.10 и 11 приведены частотные характеристики излучения "кинематического" диктофона Olympus S724 на расстоянии 30 и 90 см от магнитной антенны для разных скоростей движения ленты. Для этого аппарата наблюдаются только спектральные составляющие, вызванные вращением электродвигателя.

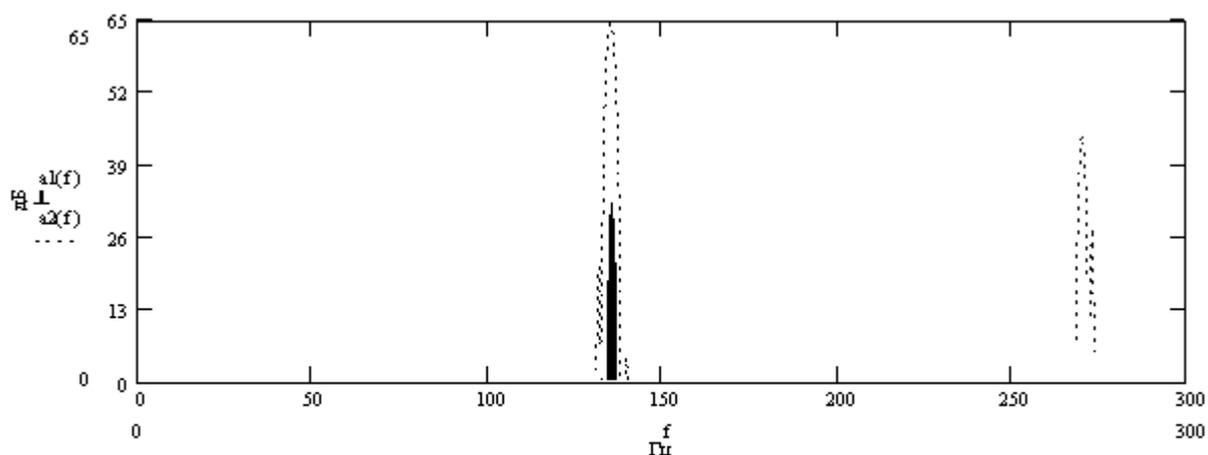


Рис.10. Частотные характеристики излучения диктофона Olympus S724 на расстоянии 30 (пунктирная линия) и 90 см от магнитной антенны при скорости движения ленты 1,2 см/сек.

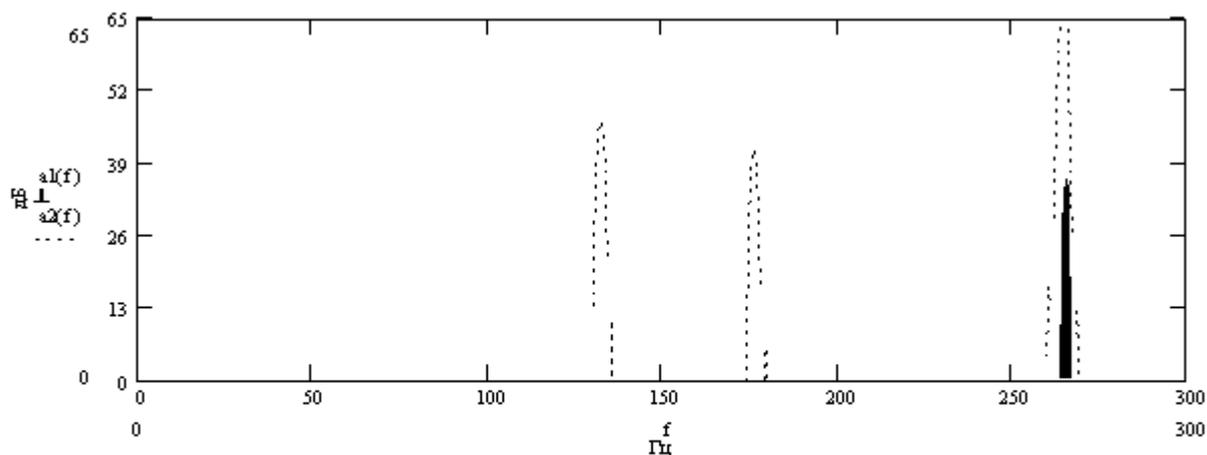


Рис.11. Частотные характеристики излучения диктофона Olympus S724 на расстоянии 30 (пунктирная линия) и 90 см от магнитной антенны при скорости движения ленты 2,4 см/сек.

Какие пути дальнейшего повышения эффективности обнаружителя диктофонов могут быть обозначены? С одной стороны - это улучшение шумовых характеристик аналогового тракта путем использования современных и специализированных микросхем усиления сигналов. С другой стороны, перевод анализа спектральных характеристик электромагнитного поля в плоскость нейронных сетей. Математическое обеспечение нейронных сетей является развитием теории адаптивной фильтрации. Обнаружение диктофонов является плохо алгоритмируемой задачей. Для решения таких задач необходима либо постоянная работа квалифицированных экспертов, либо адаптивные системы автоматизации, каковыми являются нейронные сети. Нейросети способны генерировать нелинейную модель процесса на основе результатов адаптивного обучения сети.

Также, дальность обнаружения может увеличить перевод анализируемого частотного диапазона в более высокочастотную область до 300 МГц [5] и, дополнительно, регистрация электрической составляющей излучаемого электромагнитного поля. Но реализация всех этих методов приведет к существенному удорожанию прибора.

#### Литература.

1. А.А. Жаров, М.Б. Столбов, С.А. Гудков, В.М. Данилов "Устройство для обнаружения сигналов" // Патент на изобретение №2140656. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений 27.10.99.
2. А.А. Жаров, М.Б. Столбов "Трудно искать диктофон в темном кармане... особенно если у вас нет PTRD 018" // Конфидент, 1997, №1, с.53-58.
3. А.П. Кулаичев "Компьютерный контроль процессов и анализ сигналов". М: НПО "Информатика и компьютеры", 1999, с.7-127
4. В.С. Барсуков "Спецтехника с "твердой" памятью: универсальность, качество, надежность" // Специальная техника, 2000, №4, с.21-28.
5. "Сравнительный анализ цифровых диктофонов."  
<http://www.ess.ru/dbtexts/analmat/dmanal/dmanal.htm>