

А.Н.Членов, Т.А. Буцынская  
**АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА**

Представлены материалы пятой главы монографии "Новые методы и технические средства обнаружения пожара", в которой рассмотрены методы обнаружения пожара и нарушителя в системах пожарной и охранно-пожарной сигнализации.

## **ГЛАВА 5**

### **5.1. Метод ультразвуковой локации для обнаружения пожара и проникновения нарушителя**

Ультразвуковой (УЗ) извещатель - это устройство охранно-пожарной сигнализации, предназначенное для обнаружения проникновения (или попытки проникновения) нарушителя или появления открытого пламени и формирования тревожного извещения.

Ультразвуковой извещатель использует принцип активной локации. В контролируемом воздушном пространстве извещателем создается поле ультразвуковых волн, параметры которого постоянно контролируются [5.1]. Ультразвуковое поле может создаваться импульсным или непрерывным излучением (без модуляции или с модуляцией амплитуды и(или) частоты). Появление в зоне обнаружения человека или появления очага пожара приводит к изменению характеристик поля. Это происходит за счет известных физических эффектов: отражения, реверберации ультразвуковых волн, эффекта Доплера и др. При уходе контролируемых параметров за нормированные пределы извещателем формируется сигнал тревоги. Основными анализируемыми признаками являются амплитуда принимаемого ультразвукового сигнала, его частота, а также временные характеристики. Извещатели только с амплитудной селекцией работают по принципу "прерывания луча" (прямой или обратный ультразвуковой барьер), то есть изменения амплитуды принимаемого сигнала. В более сложных современных извещателях объемного обнаружения используются совместно практически все перечисленные информационные признаки.

Извещатели с непрерывным излучением могут быть рассчитаны для работы в свободном поле "бегущей волны" или диффузном ультразвуковом поле. Для извещателей, работающих в свободном поле характерно наличие зоны обнаружения с относительно четкими границами, возможность регулировки размеров зоны.

Основной задачей при разработке УЗ извещателя является выбор принципа действия и методов обработки принимаемых сигналов, при ко-

тором обеспечивается его высокая обнаруживающая способность и устойчивость к воздействию помех.

В настоящее время наибольшее распространение получили доплеровские извещатели с непрерывным излучением ультразвука. Вместе с тем, как показал проведенный анализ патентной информации, ведется активный поиск методов совершенствования УЗ извещателей, использующих принцип импульсной эхо-локации [5.12].

В результате проведенного анализа известных источников информации [5.1], выявлены следующие основные методы обработки:

- временное накопление (задержка формирования извещения тревоги);
- методы анализа энергетического спектра (в том числе амплитудная и частотная селекция);
- анализ структуры принимаемого сигнала;
- методы адаптации к изменениям среды и помеховым воздействиям;
- методы совершенствования конструкции УЗ преобразователей;
- методы совершенствования конструкции акустического узла извещателя и способы формирования зоны обнаружения.

Применение перечисленных методов в УЗ извещателе определяется выбором принципа его построения с учётом выявленных основных характеристик сигналов цели и помех.

Возникновение в контролируемой зоне турбулентных тепловых потоков от очага пожара так же, как и при движении человека приводит к изменению ультразвукового поля - появлению на приемнике сигнала, модулированного по амплитуде и частоте. Поэтому существует принципиальная возможность обнаружения ультразвуковым извещателем как движущегося нарушителя, так и очага пожара [5.2, 5.8].

В настоящее время наибольшее распространение получили доплеровские извещатели с непрерывным излучением ультразвука.

Основными характеристиками сигналов для разных по принципу построения и методам обработки ультразвуковых извещателей являются:

- амплитуда (мощность) отраженного (проходящего) сигнала;
- частотная характеристика (энергетический спектр за небольшое ограниченное время);
- пространственно-временные характеристики (расположение источника сигнала, характеристика изменения со временем амплитуды и спектра).

Проведем анализ этих характеристик по материалам известных публикаций и результатам исследований авторов.

## Математические модели характеристик сигналов при движении в охраняемой зоне человека, домашних животных и качающихся предметов

Основными характеристиками акустического поля, создаваемого ультразвуковым доплеровским извещателем, являются: звуковое давление  $P$ ; интенсивность  $I$  (количество энергии упругих волн, проходящих через единичную площадку в направлении нормали за единицу времени);

Изменение амплитуды акустического давления, создаваемого источником ультразвука в произвольной точке пространства, может быть описано с помощью выражения:

$$P_o = A \frac{P_{и}}{r_{ио}} e^{-\mu r_{ио}} \prod_{i=1}^N K_{\pi i}, \quad (5.1.1)$$

где  $A$  – коэффициент пропорциональности;  $r_{ио}$  – расстояние от источника ультразвука до отражателя;  $\mu$  – коэффициент поглощения ультразвука в воздухе;  $P_{и}$  – давление у излучателя.  $K_{\pi i} = (1 - K_{oi})$  – коэффициент прохождения для  $i$ -ой неоднородности (препятствия);  $K_{oi}$  – коэффициент отражения (по давлению);  $i$  – общее количество неоднородностей (препятствий).

Значение коэффициента поглощения  $\mu$  ультразвука в воздухе при нормальной влажности и температуре в диапазоне частот от 20 до 40 кГц изменяется от  $0,08 \text{ 1/м}$  до  $0,18 \text{ 1/м}$ . Таким образом, суммарное уменьшение амплитуды давления волны на расстоянии 10 м от источника на этих частотах без учета отражений составляет примерно 20 - 60 раз.

Отражение звуковой волны от неоднородностей происходит вследствие разных волновых сопротивлений участков среды ( $Z_1, Z_2$ ), вызванных изменением плотности из-за различного химического состава, наличием твердых частиц (дыма, паров и др.), а также различной температуры. Такие неоднородности на практике возникают при наличии в помещении сквозняков, тепловых потоков воздуха от батарей отопления, но в значительно большей степени – от пламени очага пожара, поскольку в этом случае градиент температур на границе неоднородности максимален. Коэффициент отражения в этом случае может быть определен из выражения:

$$K_{oi} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}. \quad (5.1.2)$$

В случае твердого препятствия коэффициент отражения близок к единице, поэтому амплитуда ультразвуковой волны, прошедшей сквозь стекла, стены, мебель и т.п. мала. К "твердым" препятствиям можно отнести

также плотные шторы, значительно затрудняющие прохождение ультразвука. Характеристикой прохождения волны через препятствия является коэффициент звукопроводности  $K_{зп}$ , измеряемый в дБ. В случае тонких листовых перегородок (например, из стекла), для  $K_{зп}$  может быть представлено следующее приближенное выражение:

$$K_{зп} = 20 \lg \frac{P_{mn}}{P_n} = 20 \lg \left( \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{\pi L f}{C} \right), \quad (5.1.3)$$

где  $P_n$  – акустическое давление отраженной волны у приемника;  $P_{mn}$  – давление падающей волны;  $L$  – толщина стекла.

Таким образом, за препятствиями, размеры которых значительно больше длины волны, на пути распространения ультразвука могут образовываться области с пониженным уровнем давления ультразвука, что необходимо учитывать при анализе работы извещателя.

Рассмотрим параметры зоны обнаружения УЗ извещателя с одним излучающим и одним приемным преобразователями, размещенными в корпусе извещателя.

Если считать характеристику направленности приемного и излучающего преобразователей одинаковой и размеры отражателя гораздо меньше расстояния от него до извещателя, выражение для акустического давления отраженного сигнала у приемного преобразователя может быть получено в виде [5.4]:

$$P_n = A B P_{и} e^{-2\mu r} \frac{1}{r^2} \cos^n \theta \cos^k \varphi, \quad (5.1.4)$$

где  $A$  – коэффициент, определяемый параметрами извещателя и преобразователей;  $\theta$ ,  $\varphi$  – угол между осью симметрии характеристики направленности извещателя и проекцией радиус-вектора  $r$  соответственно на горизонтальную и вертикальную плоскости;  $n$ ,  $k$  – коэффициент, определяемый конструкцией ультразвуковых преобразователей и акустического узла извещателя;  $r$  – расстояние между извещателем и отражателем;  $B$  – коэффициент, характеризующий отражательную способность отражателя.

Коэффициент  $B$  равен:

$$B \approx \sqrt{S_{эф} K_{отр}}, \quad (5.1.5)$$

где  $S_{эф}$  – эффективная отражающая площадь;  $K_{отр}$  – средний коэффициент отражения.

Представленное выражение позволяет примерно оценить параметры,

характеризующие размеры зоны обнаружения извещателя.

Рассмотрим спектральные характеристики сигнала от человека и характерных помех. На работу УЗ извещателя значительное влияние оказывает также эффект Доплера, заключающийся в изменении частоты сигнала, отраженного от движущегося препятствия. Известно, что значение изменения (доплеровского сдвига) частоты  $\Delta f_d$  прямо пропорционально частоте излучения, радиальной скорости движения отражателя по отношению к приемо-передатчику  $V_o$  и обратно пропорционально скорости распространения ультразвука в контролируемой среде  $C$ . В зависимости от направления движения отражателя доплеровский сдвиг частоты может иметь как положительный, так и отрицательный знак, то есть частота отраженного сигнала может быть меньше или превышать частоту излучения. Данный признак может быть использован в извещателе для повышения достоверности обнаружения нарушителя.

$$\Delta f_d = f_{\text{и}} - f_{\text{п}} = \pm \frac{K_k V_o f_{\text{и}}}{C}, \quad (5.1.6)$$

где  $f_{\text{и}}, f_{\text{п}}$  – частота сигнала излучения и приема соответственно;

$K_k$  – числовой коэффициент, определяемый конструкцией ультразвукового приемо-передатчика. Для однопозиционных извещателей, в которых излучатель и приемник размещаются в одном корпусе,  $K_k = 2$ .

Площадь поверхности человека складывается из площадей отдельных участков одежды и открытых частей тела

$$W_{\text{п}} = K_{\text{сф}} \sum_i W_i K_i S_i, \quad (5.1.7)$$

где  $K_{\text{сф}}$  – коэффициент синфазности;  $W_i$  – мощность сигнала, отражённого от элемента поверхности  $S_i$ ;  $K_i$  – усредненный (эффективный) коэффициент отражения от элемента поверхности  $S_i$ .

Коэффициент отражения ультразвуковой волны от отдельных участков тела человека и его одежды близок к единице [5.10, 5.11].

Основными составляющими отражающей поверхности человека, имеющими в процессе движения разные скорости, являются туловище, руки и ноги, что обуславливает достаточно широкий спектр отраженного сигнала с максимумом, сдвинутым относительно частоты излучения в сторону, соответствующую направлению движения. В общем случае, вид спектра ультразвукового сигнала при наличии отражателей различного вида, представлен на рис. 5.1.

При наличии качающихся предметов (например, штор под действием

сквозняка) максимум спектра периодически перемещается в обе стороны относительно частоты излучения. Сигнал на приемном преобразователе  $S(t)$  извещателя в этом случае можно представить в виде

$$S(t) = A \cos [2\pi f_{и} (V_{к}/C)t \cos (2\pi f_{к} t)], \quad (5.1.8)$$

где  $f_{и}$  – излучаемая частота;  $f_{к}$  – частота качания;  $V_{к}$  – максимальная скорость качания;  $C$  – скорость звука в воздухе.

Для типичных объектов диапазон для  $f_{к}$  и  $V_{к}$  составляет:

$$0,3 \text{ м/с} < V_{к} < 3 \text{ м/с}; \quad 0,2 \text{ Гц} < f_{к} < 5 \text{ Гц}.$$

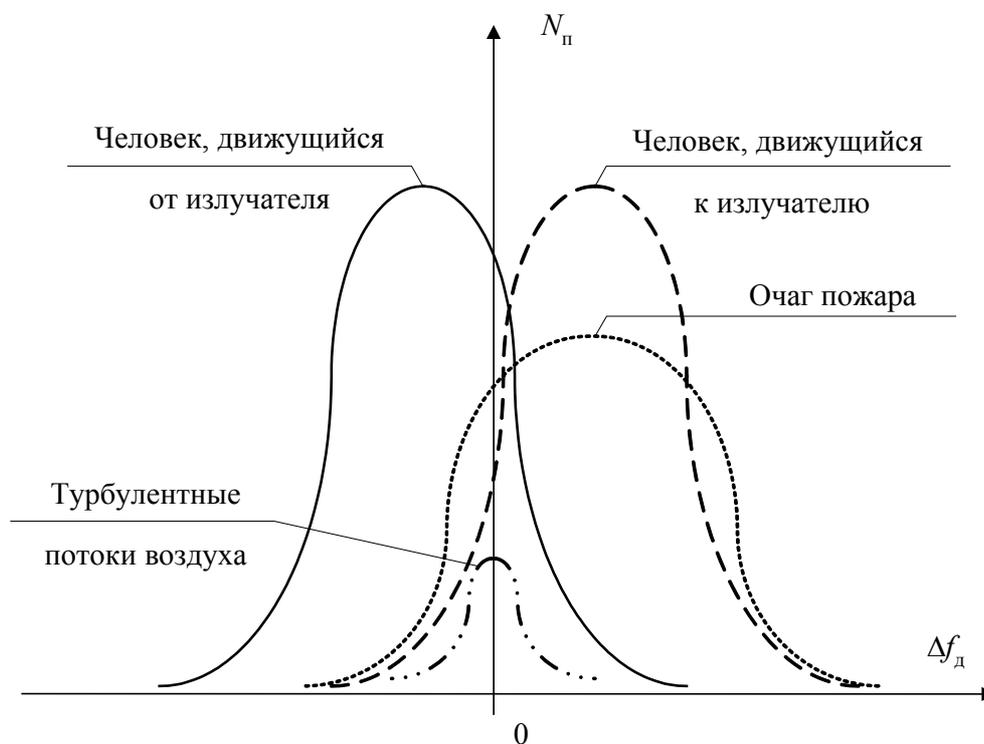


Рис. 5.1. Характерный вид спектра доплеровского сигнала для различных отражателей

## Математические модели характеристик сигнала при наличии очага пожара, движения воздуха в помещении и акустических шумов

Источники акустического шума в охраняемом помещении могут иметь различное происхождение. Активный ультразвуковой извещатель содержит собственный направленный источник ультразвуковых колебаний. Внутри помещения источниками ультразвука являются электромеханические звонки, работающие радио- и электробытовые приборы и даже шум, производимый животными и насекомыми. Известно, например, что цикады могут издавать звук значительной интенсивности в диапазоне частот до 40 кГц. Такие источники могут создавать помеху при работе извещателя [5.15].

Для ультразвуковых сигналов, проходящих в помещение снаружи на звукоизоляцию ограждения особенно в области высоких частот оказывают влияние различные отверстия, щели, неплотности и даже сквозные поры. В этом случае произойдет дополнительное ухудшение звукоизоляции.

Для сквозняка проходящий через него ультразвуковой сигнал имеет доплеровский сдвиг частоты с максимальным значением, определяемым выражением (5.1.6), с подстановкой вместо  $V_0$  скорость движения воздуха. Флуктуацию амплитуды сигнала вызывает также изменение фазы принимаемого ультразвукового сигнала от флуктуаций температуры в сквозняке, а также вибрация предметов, находящаяся в зоне обнаружения:

$$\psi(t) = \varphi_1 - \varphi_2 + \frac{2d_0 \left(1 + \frac{l}{d_0} \cos \omega_0 t\right)}{\sqrt{\frac{\gamma RT}{m}}} \omega_0, \quad (5.1.9)$$

где член  $2d_0 \left(1 + \frac{l}{d_0} \cos \omega_0 t\right)$  учитывает изменение расстояния от отра-

жателя из-за его вибрации с амплитудой  $l$  и частотой  $\omega_0$ ; член  $\sqrt{\frac{\gamma RT}{m}}$  учитывает изменение скорости УЗ из-за изменений температуры  $T$  среды и её состава;  $R$  – газовая постоянная;  $m$  – молекулярный вес газа;  $\gamma$  – относительная удельная теплопроводность.

На рис. 5.2 приведена зависимость амплитуды доплеровского сигнала от частоты при обнаружении человека и помех в ультразвуковом извещателе без выделения знака доплеровского сдвига частоты (типа "Эхо-А",

"Эхо-5").

В результате обработки эмпирических данных получены следующие математические выражения для амплитудно-частотных характеристик доплеровского сигнала, представленных на рис. 5.2:

1. Зависимость для кривой сквозняка (•) и термотурбулентности (Δ).

$$A = e^{0,96 - 0,7 f_{\delta}^{0,46}} \quad (5.1.10)$$

2. Эмпирическая зависимость для кривой термотурбулентности (×):

$$A = 1,923 f_{\delta}^{-0,943} \quad (5.1.11)$$

3. Зависимость для кривой пламени спирта (□):

$$A = e^{0,057 - 0,028 f_{\delta}^{1,04}} \quad (5.1.12)$$

Другим характерным видом помех является широкополосный акустический шум, вызывающий появление сигнала на выходе усилителя доплеровской частоты и снижающий помехозащищенность извещателя.

Уровень помехозащищённости  $G$  ультразвукового извещателя обычно характеризуют отношением напряжения полезного сигнала на его входе (выходе ультразвукового преобразователя), вызванного отражением ультразвука от нарушителя, движущегося на границе зоны обнаружения, к напряжению сигнала помехи. Поскольку современные приёмные ультразвуковые преобразователи формируют на своем выходе напряжение электрического сигнала, пропорциональное величине акустического давления, уровень  $G$  в дБ может быть определён с помощью выражения:

$$G = 20 \lg \frac{P_c}{P_n} = 20 \left( \lg \frac{P_c}{P_0} - \lg \frac{P_n}{P_0} \right) = \nu_c - \nu_n, \text{ дБ} \quad (5.1.13)$$

где  $\nu_c$  - уровень давления ( $P_c$ ) ультразвукового сигнала, отражённого от нарушителя, (относительно стандартного нулевого уровня,  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  н/м<sup>2</sup>);  $\nu_n$  - уровень давления ( $P_n$ ) сигнала помехи у приёмного преобразователя на рабочей частоте  $f_i$  извещателя (относительно  $P_0$ ).

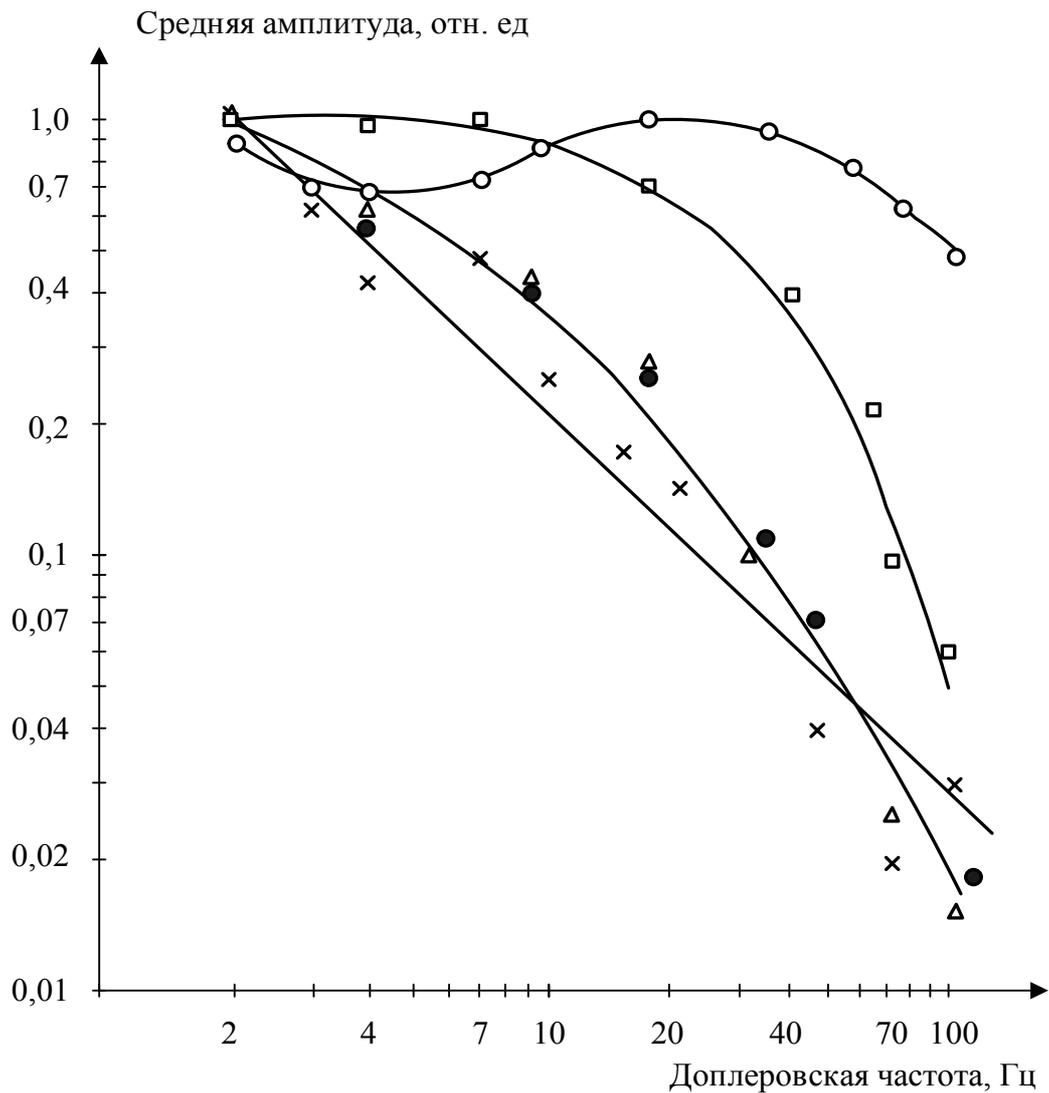


Рис. 1.6. Спектральная характеристика сигналов цели и характерных помех доплеровского извещателя:

- Горение спирта;
- Движение нарушителя со скоростью 0,15 - 0,6 м/с;
- Сквоняк, скорость воздуха 0,15 - 1,5 м/с;
- △ Тепловой источник турбулентности, близко расположенный к извещателю;
- × Тепловой источник турбулентности, удаленный от извещателя

Поверхность конвективной струи вследствие интенсивной турбулентности можно представить как движущуюся вертикально диффузно отражающую поверхность с неоднородностями, размеры которых больше длины волны падающего ультразвука. Следовательно, у приёмника мощность сигнала  $W_{\text{п}}$ , отражённого от конвективного потока газов над очагом пожара может быть представлена как сумма мощностей сигнала, отражённого от отдельных элементов поверхности потока с учётом коэффициента синфазности.

Площадь поверхности  $S_i$  может быть определена как произведение ширины потока  $H$  на элемент высоты  $\Delta Z$ :

$$S_i = H \Delta Z_i. \quad (5.1.14)$$

Коэффициент синфазности учитывает степень некоррелированности по фазе отражённого сигнала.

Мощность отражённого сигнала определяется параметрами среды, параметрами источника излучения, расстоянием от него до элемента поверхности  $S_i$ , и ориентацией относительно очага пожара.

Коэффициент отражения определяется градиентом температуры у элемента поверхности  $S_i$ . Учитывая, что для значений градиента температуры ниже  $70^\circ\text{C}$   $K_i$  стремится к нулю [5.6], можно рассматривать только ту часть конвективного потока, которая непосредственно примыкает к очагу пожара и имеет вертикальную составляющую скорости.

Известны полученные теоретически и экспериментально зависимости, связывающие изменение температуры и направленной скорости восходящего потока с параметрами источника и высотой  $Z_{\text{в}}$  по его оси. В большинстве случаев на основном участке струи при установившемся процессе горения и неизменной теплопроизводительности  $Q_k$  источника эти зависимости описываются соотношениями:

$$\Delta Q_m \approx N_1 Q_k^{2/3} Z_{\text{в}}^{-5/3}, \quad (5.1.15)$$

$$C_m \approx N_2 Q_k^{1/3} Z_{\text{в}}^{-1/3}, \quad (5.1.16)$$

где  $\Delta T_m$ ,  $V_m$  – соответственно средняя избыточная температура и средняя вертикальная скорость потока на оси струи;  $Z_{\text{в}}$  – расстояние по вертикали от точки измерения до полюса источника тепла;  $N_1$ ,  $N_2$  – коэффициенты пропорциональности.

Учитывая турбулентный характер движения потока, целесообразно представить мгновенную скорость  $v_{\text{п}}$  перемещения горячих газов на каждом элементарном участке в виде суммы двух составляющих – вертикальной постоянной  $C_m$  и ненаправленной  $v_{\text{н}}$ , связанной со случайными пуль-

сациями пламени. Поскольку характер пульсаций слабо зависит от высоты:

$$v_{pi} = C_{mi} + v_H. \quad (5.1.17)$$

Частота отражённого сигнала от элемента поверхности  $S_i$  в соответствии с эффектом Доплера будет отличаться от частоты излучения  $\omega_H$  на величину  $\omega_d$ :

$$\omega_{d_i} = K_k \omega_H v_{pi} \Phi(Z_i) C^{-1} = K_k \omega_H \Phi(Z_i) C^{-1} (C_{mi} + v_H), \quad (5.1.18)$$

где  $K_{ki}$  – конструкционная постоянная, определяемая взаимным расположением излучающего и приёмного ультразвуковых преобразователей;  $\Phi(Z_B)$  – коэффициент, определяемый характеристикой направленности, месторасположением и ориентацией извещателя и зависящий от высоты  $Z_B$  элемента отражающей поверхности  $S_i$ .

Решая совместно уравнения (5.1.7) и (5.1.18) с учётом зависимостей (5.1.15), (5.1.16), получим выражения для энергетического спектра ультразвукового сигнала, отражённого от очага пожара в виде:

$$E_{\Pi} = \Psi(\omega_d). \quad (5.1.19)$$

Следует отметить, что в виду присутствия двух составляющих скорости спектр также может быть представлен в виде двух слагаемых: направленной и турбулентной. При этом форма спектра турбулентной составляющей будет близка к симметричной независимо от размещения и ориентации извещателя, а его ширина – определяться характером турбулентных процессов. Форма и ширина спектра для направленной составляющей будет определяться диаграммой направленности и ориентацией извещателя относительно очага пожара и в общем случае будет несимметричной.

Разработанная методика получения математической модели энергетического спектра сигнала позволяет провести оценку параметров обнаружения УЗ доплеровских извещателей, имеющих различный алгоритм функционирования.

На рис. 5.3 представлены расчётные зависимости энергетического спектра сигнала, отражённого от тестового очага пожара – пламени ацетона площадью  $0,1 \text{ м}^2$  [5.9]. Указанное на рисунке значение  $h$  обозначает высоту подвеса извещателя при его ориентации на очаг пожара. Из рис. 5.3 следует, что при высоте подвеса более 1,0 м наблюдается существенная несимметричность энергетического спектра.

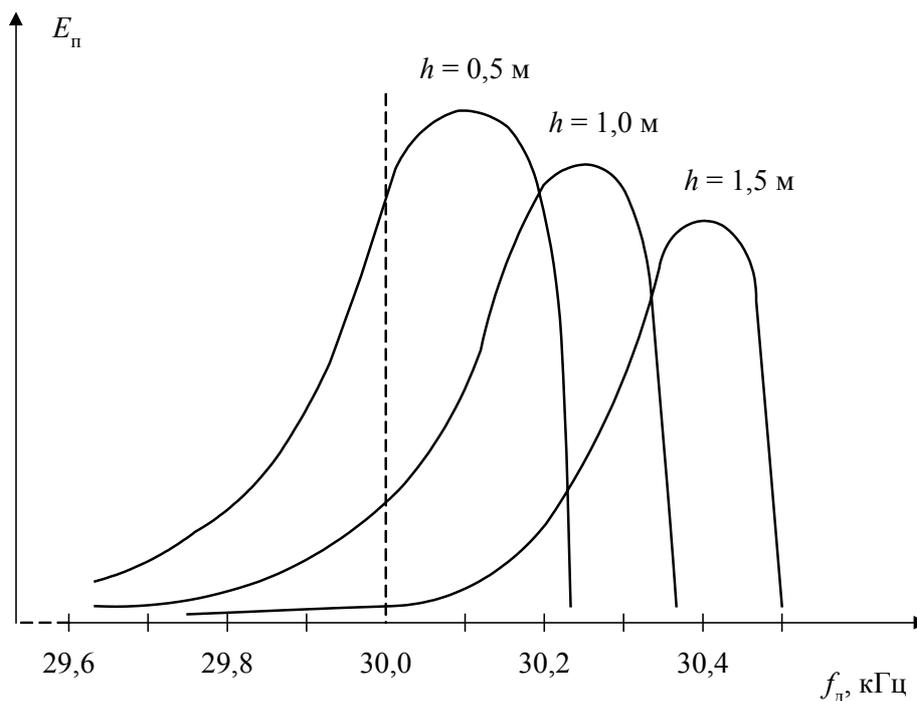


Рис. 5.3. Энергетический спектр сигнала, отражённого от очага пожара, для рабочей частоты излучения 30 кГц

### Вероятностно-статистические модели движения человека и помех

При построении модели нарушителя процесс перемещения человека в помещении может быть представлен как совокупность элементарных независимых импульсов движения длительностью  $d\tau$ , совершаемых с вероятностью  $p = h d\tau$ , где  $h$  - постоянный коэффициент.

Вероятность длительного движения в течение времени  $(\tau + d\tau)$  определяется из выражения:

$$P(\tau + d\tau) = P(\tau)(1 - h d\tau). \quad (5.1.20)$$

После ряда преобразований выражения (5.1.20) получаем дифференциальное уравнение, решая которое относительно  $P(\tau)$ , находим:

$$P(\tau) = e^{-h\tau + C_{и}}. \quad (5.1.21)$$

Постоянная  $C_{и}$  определяется из начального условия, при  $\tau = 0$ ,  $P(0) = 1$ , то есть  $C_{и} = 0$ .

Вероятность  $P(\tau)$  за установленный промежуток времени представляет собой отношение количества импульсов движения длительностью  $\tau$  к общему количеству импульсов движения, поэтому:

$$N_{и}(\tau) = N_0 e^{-h\tau}. \quad (5.1.22)$$

$N_0$  определяется двигательной активностью человека в помещении.

Интенсивность количества перемещений, превышающих по длительности установленное значение  $\tau_1$ , может быть определено суммированием  $N_{и}(\tau)$  от  $\tau_1$  до  $\infty$ :

$$N_{и}(\tau > \tau_1) = \int_{\tau_1}^{\infty} N_{и}(\tau) d\tau = \frac{N_0}{h} e^{-h\tau_1}. \quad (5.1.23)$$

При наличии в помещении нескольких ( $M$ ) человек, движение которых происходит относительно редко, независимо и неодновременно, приближенно можно считать, что

$$N_{\Sigma}(\tau > \tau_1) = M N_{и}(\tau > \tau_1). \quad (5.1.24)$$

Интенсивность перемещений человека длительностью  $\geq \tau_1$ , может быть определена как произведение количества перемещений, превышающих установленную длительность  $\tau_1$  на вероятность соответствия выбранных характеристик движения.

$$\lambda_{ср} = N_{и}(\tau > \tau_1) P(Y_1, \dots, Y_n). \quad (5.1.25)$$

Рассмотрим следующие две характеристики, имеющие практическое значения:

$Y_1$  – движение человека происходит только в направлении на извещатель или от него при минимальной радиальной скорости  $v_1$  и неограниченной максимальной радиальной скорости обнаружения;

$Y_2$  – то же, что и при  $Y_1$ , но движение человека происходит в любом направлении относительно извещателя.

Условия нарушение непрерывности движения – его прекращении на время длительностью  $\geq \Delta t_{д}$ .

При равновероятном движении человека в зоне обнаружения со скоростью  $v$  в любом направлении вероятность его соответствия условиям обнаружения  $Y_1$  и  $Y_2$  может быть определена как геометрическая вероятность:

$$P(Y_1) = \left( \frac{\pi - 2\alpha}{2\pi} \right)^{\frac{\tau_1}{\bar{\tau}}}; \quad (5.1.26)$$

$$P(Y_2) = \left( \frac{\pi - 2\alpha}{\pi} \right)^{\frac{\tau_1}{\bar{\tau}}}, \quad (5.1.27)$$

где  $\alpha = \arccos \frac{v_1}{v}$  – угол, при движении человека в направлении которого обнаружение не происходит;  $\bar{\tau}$  – среднее время, в течение которого происходит изменение направления движения человека, приводящее к изменению знака доплеровского сдвига частоты  $\bar{\tau} \gg \Delta t_d$ .

При продолжительном наблюдении  $T > 24$  ч необходимо учитывать относительную длительность пребывания людей в помещении в течение суток. Для этого должен быть введён коэффициент  $\Theta$ .

$$\Theta = \frac{\Delta T}{24} \leq 1, \quad (5.1.28)$$

где  $\Delta T$  – среднее время пребывания людей в помещении в течение суток.

Таким образом, для рассмотренных условий движения, интенсивность непрерывных перемещений людей с установленной длительностью  $\geq \tau_1$  определяется выражением:

$$\lambda_{cp}(Y_1) = 2^{(\tau_1/\bar{\tau})} \lambda_{cp}(Y_2) = \frac{\Theta M N_o}{h} \cdot \left( \frac{\pi - 2\alpha}{2\pi} \right)^{\frac{\tau_1}{\bar{\tau}}} \cdot e^{-h\tau_1}. \quad (5.1.29)$$

Численные значения коэффициентов этой модели могут быть определены в результате проведённого на макетном образце извещателя экспериментального исследования статистических закономерностей выбросов шума.

На рис. 5.4 приведены экспериментальные зависимости интенсивности перемещений людей с различной длительностью в служебном помещении [5.5].

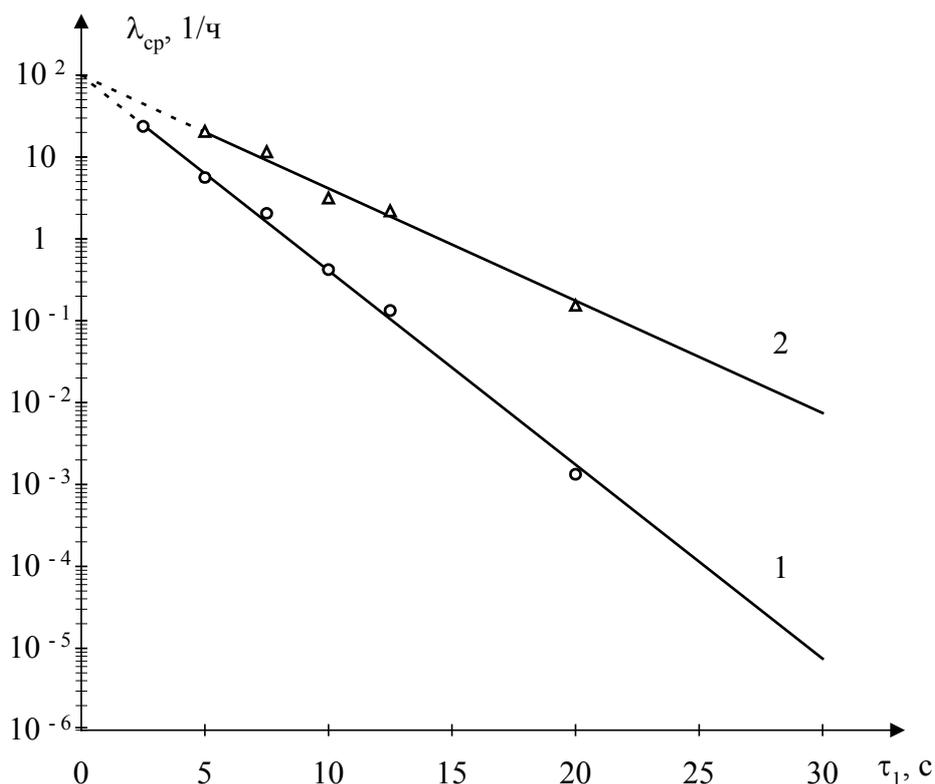


Рис. 5.4. Экспериментальные зависимости интенсивности перемещений людей в помещении с установленной длительностью  $\tau_1$ :  
 1 – движение человека в одну сторону (на извещатель);  
 2 – движение человека в любую сторону

Среднее количество работающих людей составляло 5 человек. Суммарная длительность наблюдений – 1000 ч. Установленное значение  $\Delta t_{\text{д}} \geq 0,3 \text{ с}$ .

## 5.2. Доплеровский ультразвуковой извещатель с отдельными каналами обнаружения очага пожара и нарушителя

Разделение каналов обнаружения с формированием отдельных извещений расширяет тактические возможности использования УЗ извещателя [5.14].

Канал обнаружения пожара использует проверку сигнала с положительным сдвигом частоты на непрерывность, что соответствует постоянству (с учётом турбулентности) движения восходящих тепловых потоков от очага пожара. Канал обнаружения движущегося нарушителя для повышения помехозащищённости (в том числе от турбулентных потоков воздуха)

использует оценку симметричности энергетического спектра, а также другие информационные признаки полезного сигнала и помехи: скорость нарастания амплитуды, частотно-временную структуру сигнала и др., как это сделано, например, в извещателе "Эхо-3" [5.6, 5.7].

В разработанной модели решена задача разделения каналов обнаружения движущегося нарушителя и очага пожара [5.20].

Структурная схема такого извещателя приведена на рис. 5.5.

Извещатель работает следующим образом. После включения электропитания приемопередатчик, расположенный в корпусе извещателя, начинает излучать в окружающее пространство непрерывный сигнал УЗ частоты. Отраженные от неподвижных объектов УЗ волны возвращаются к приемопередатчику, где они преобразуются в электрические сигналы, усиливаются и детектируются. В отсутствии движущихся отражателей любой природы сигнал на выходах приемопередатчика, соответствующий доплеровскому сдвигу частот, отсутствует. Поэтому блок формирования извещений 12 формирует извещение "Норма", при котором по линиям связи передается сигнал о нормальном состоянии объекта, световые индикаторы 19-21 не светятся.

При появлении в зоне обнаружения движущегося человека, отраженные от него УЗ волны будут иметь доплеровский сдвиг частоты. При этом на первом и втором выходах приемопередатчика 1 появляются усиленные низкочастотные колебания с частотой доплеровского сдвига  $\pm \Delta f_d$ , имеющие фазовый угол сдвига относительно друг друга  $\pm \pi/2$ . Знак фазового сдвига зависит от направления движения человека (отражателя).

Сигналы с выходов приемопередатчика 1 поступают в фазовый селектор импульсов 2, в котором происходит разделение сигналов в зависимости от направления движения отражателя (знака доплеровской частоты  $\Delta f_d$ ) по признаку их относительного фазового сдвига и выделение сигналов на соответствующем выходе селектора 2.

При движении человека от извещателя ( $-\Delta f_d$ ) сигнал появляется на первом выходе селектора 2 и поступает на первый вход коммутатора 6 и первый вход первого селектора непрерывности сигнала 3. При движении отражателя к извещателю ( $+\Delta f_d$ ) сигнал появляется на втором выходе селектора 2 и поступает на второй вход коммутатора 6, а также входы второго селектора непрерывности сигнала 4 и формирователь скважности 5.

После появления сигнала на любом из выходов первого селектора непрерывности 3 на его выходе появляется постоянное управляющее напряжение, поступающее на третий вход коммутатора 6 и третий вход формирователя 12 извещений. При этом с помощью второго формирователя 16 сигналов световой индикации включается световой индикатор 20 "Шум", а также открывается коммутатор 6 для прохождения

сигналов, поступающих на его первый или второй входы. После прохождения сигналов через коммутатор 6 и сумматор 8 они накапливаются в интеграторе 9 с полярностью относительно среднего значения напряжения питания, соответствующей знаку доплеровской частоты. При достижении значения напряжения на выходе интегратора 9 одного из двух симметрично расположенных (относительно середины напряжения питания) порогов порогового блока 11 он срабатывает, и на его выходе появляется сигнал, поступающий на первый вход формирователя 12 извещений. С помощью первого формирователя 16 сигнала "Тревога" в линию связи на пульт централизованного наблюдения или приемно-контрольный прибор передается тревожное извещение. Одновременно сигнал управления с выхода первого формирователя 16 подается на вход второго формирователя 17, который включает световой индикатор "Тревога".

Доплеровский сигнал со второго выхода фазового селектора 2 при движении человека в зоне обнаружения попадает также через формирователь 6 скважности на первый вход нормально закрытого электронного ключа 7. Одновременно доплеровский сигнал со второго выхода селектора 2 поступает на вход интегратора 13 второго селектора 4 непрерывности сигнала. Время накопления интегратора 14 до срабатывания порогового блока 15 значительно больше его разряда. Выход первого блока 15 подключен ко второму входу электронного ключа 7. При срабатывании порогового блока 15 электронный ключ 7 открывается для прохождения сигнала в интегратор 10. При уменьшении напряжения на выходе интегратора 13, вызванном нарушением непрерывности сигнала, управляющее напряжение на выходе порогового блока исчезает, что приводит к быстрому (форсированному) разряду интегратора 10. Время накопления интегратора 10 до срабатывания порогового блока 13 определяется отношением максимальной дальности действия устройства к радиальной скорости движения человека в зоне обнаружения, то есть возможным временем присутствия непрерывного сигнала от человека при его движении к устройству. При минимальной обнаруживаемой скорости 0,3 м/с, нормируемый стандартом и реальных значений максимальной дальности для существующих УЗ извещателей 6-8 м она составляет 20-30 с. При реальном движении человека нарушение непрерывности сигнала будет вызываться не только его остановками, но и изменением направления движения. Формирователь скважности 5 уменьшает длительность импульсов доплеровского сигнала при снижении его частоты. Это приводит к увеличению скважности импульсов, поступающих в интегратор 10 при медленном движении человека и как следствие – к увеличению времени накопления интегратора 10. Это приводит к дополнительному увеличению помехозащищенности канала обнаружения пожара.

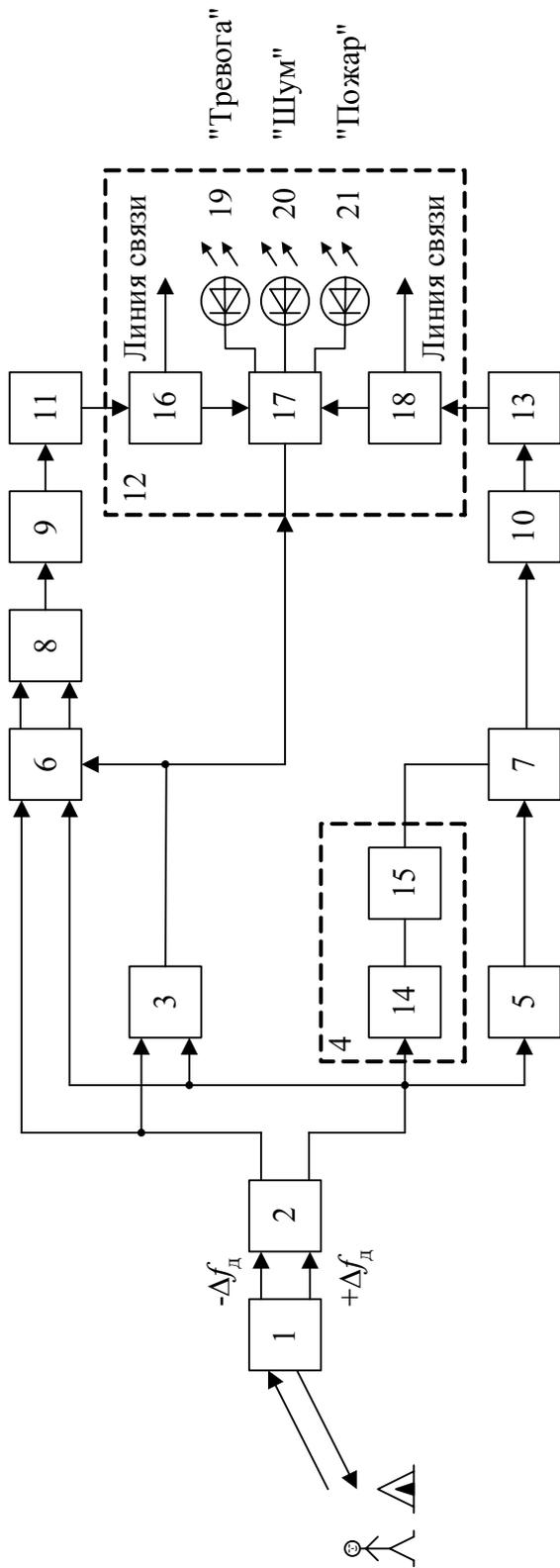


Рис. 5.5. Структурная схема извещателя с отдельными каналами обнаружения движущегося нарушителя и очага пожара.

- |                                   |                                   |                       |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 1 - приемопередатчик;             | 9 - первый интегратор;            | 17 - второй           |
| 2 - фазовый селектор импульсов;   | 10 - второй интегратор;           | формирователь         |
| 3 - первый селектор непрерывности | 11 - первый пороговый блок;       | сигналов световой     |
| сигнала;                          | 12 - блок формирования извещений; | индикации,            |
| 4 - второй селектор непрерывности | 13 - второй пороговый блок;       | 18 - третий           |
| сигнала;                          | 14 - интегратор;                  | формирователь         |
| 5 - формирователь скважности;     | 15 - пороговый блок;              | сигнала "Пожар";      |
| 6 - коммутатор;                   | 16 - первый формирователь сигнала | 19, 20, 21 - световые |
| 7 - электронный ключ;             | "Тревога";                        | индикаторы            |
| 8 - сумматор;                     |                                   |                       |

При установленных таким образом параметрах интегратора 10 и второго селектора непрерывности сигнала движение человека в зоне обнаружения не может вызвать увеличение напряжения на выходе интегратора до порога срабатывания порогового блока 13.

При появлении в зоне обнаружения очага пожара на втором выходе фазового селектора 2 появляется непрерывный доплеровский сигнал, вызванный отражением УЗ волн от восходящих тепловых потоков, которые возникают в непосредственной близости от горящего материала. При этом на интенсивность сигнала не влияет наличие или отсутствие дыма из-за малых размеров его частиц по сравнению с длиной волны падающего УЗ.

Доплеровский сигнал накапливается на интеграторе 13, что вызывает срабатывание порогового блока 14, открывающего электронный ключ 7. Доплеровский сигнал имеет относительно высокую частоту, поэтому он проходит формирователь скважности 5 практически без искажений и попадает через электронный ключ 7 во второй интегратор 10.

Через установленное время задержки напряжение на интеграторе 10 достигает порога срабатывания второго порогового блока 13, на выходе которого появляется сигнал, поступающий на второй вход блока формирования извещений 12 – вход третьего формирователя 18 сигнала "Пожар". В результате с выхода формирователя 18 в линию связи передается извещение о пожаре, и с помощью второго формирователя 17 сигналов световой индикации включается световой индикатор 21.

При появлении очага пожара в зоне обнаружения доплеровский сигнал с выходов фазового селектора 2 поступает также на входы коммутатора 6 и первого селектора непрерывности сигнала 3. Это приводит к появлению на выходе первого селектора 3 управляющего сигнала, который открывает коммутатор 6 и вызывает, с помощью второго формирователя 17, включение светового индикатора "Шум".

Энергетические составляющие сигналов с положительным и отрицательным доплеровским сдвигом частоты поступает с выходов коммутатора 6 через сумматор 8 в интегратор 9 и вычитаются в нем. Результирующая составляющая энергии вызывает изменение напряжения на интеграторе 9, выходящее за установленный порог порогового блока 11, что приводит к формированию тревожного извещения первым формирователем 16 в линию связи, а также включению светового индикатора 19.

Следовательно, появление очага пожара может привести к формированию не только извещения "Пожар", но и извещения "Тревога",

что повышает надежность обнаружения извещателем пожара на объекте. Однако, поскольку в интеграторе 9 происходит накопление энергетически ослабленного сигнала в результате вычитания его составляющих, чувствительность канала обнаружения очага пожара выше, чем канала тревоги.

Таким образом, в извещателе осуществляется обнаружение очага пожара при его возникновении с формированием отдельного извещения о пожаре в линию связи, а также включение специального светового индикатора. При использовании такого извещателя независимо от режима работы объекта и наличия людей может быть обеспечен контроль пожароопасной ситуации на объекте. Кроме того, при отсутствии людей на объекте устройство может осуществлять охранные функции и сигнализировать о несанкционированном проникновении нарушителя в зону обнаружения по отдельной линии связи, а также включением специального светового индикатора. При появлении доплеровского сигнала достаточного уровня включается световой индикатор "Шум", который может быть использован при установке и настройке извещателя на защищаемом объекте.

### **5.3. Новые направления разработки акустических пожарных извещателей**

#### **5.3.1. Инфразвуковой метод обнаружения пожара и проникновения**

Одним из направлений развития техники охранно-пожарной сигнализации является создание извещателей, способных анализировать характеристики акустических процессов в воздушной среде и по изменению их параметров обнаруживать пожар, наличие или попытку проникновения нарушителя в охраняемое помещение. В частности, возможно использование устройств, которые реагируют на инфранизкочастотные флуктуации давления воздуха в закрытом объёме [5.1, 5.18]. Подобные эффекты возникают при открывании и разбивании дверей, окон, фрамуг и др. подобных конструкций, а также при возникновении очага пожара.

Изменение акустического давления в помещении происходит также при возникновении в помещении очага пожара. Известно [5.1], что в случае изохорного процесса в закрытом помещении изменение давления прямо пропорционально температуре. Как показывают расчёты, для реального пожара изменение давления максимально на начальной стадии

развития пожара и существенно зависит от объёма помещения, степени его герметичности, вида и площади открытой поверхности пожарной нагрузки. В помещениях с проёмом процесс выравнивания давления протекает в течение 0,05 – 1 с, что соответствует положению максимума спектральной характеристики в диапазоне частот 0,25 – 5 Гц.

Однако при выборе диапазона рабочих частот и чувствительности датчика давления извещателя необходимо учитывать возможное влияние акустических помех в помещении [5.19].

Основными акустическими шумами, спектры которых имеют инфранизкочастотные составляющие, являются:

турбулентные потоки воздушных масс (метеорологические феномены в виде реактивных потоков и высотных ветров, выпуск газа под большим давлением, изменение силы ветра, обтекающего здание и др.);

электрические разряды в атмосфере (гроза);

ударная волна (взрыв, самолёты);

движение водных масс (морские волны, плотины);

работа машин и механизмов.

Результаты проведённых исследований [5.1] позволяют утверждать, что рассмотренные акустические эффекты могут быть использованы для создания автоматического инфразвукового извещателя охранно-пожарной сигнализации, канала обнаружения несанкционированного проникновения в комбинированном (составном) извещателе, а также дополнительного инфразвукового канала в акустическом охранном извещателе, предназначенном, например, для блокировки остеклённых конструкций в закрытых помещениях. Функциональная схема инфразвукового извещателя, использующая рассмотренный принцип действия, представлена на рис. 5.6.

Извещатель работает следующим образом. После включения напряжения питания на выходе блока питания формируются постоянные напряжения для питания блоков извещателя. Сразу же начинают работать генераторы тактовых 4 и установочного импульсов 7.

Генератор установочного импульса формирует на своём выходе сигнал, устанавливающий блок управления 8 в исходное состояние, при котором на его выходах присутствуют сигнал логического нуля. Этот сигнал блокирует формирователь тревожных извещений 11, в состав которого входит генератор звуковым сигнализатором, а также реле.

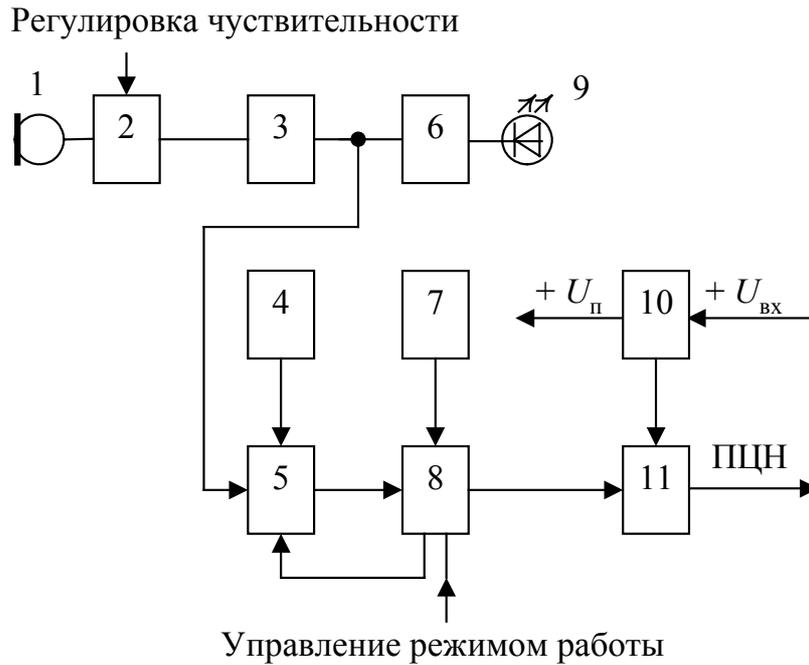


Рис. 5.6. Функциональная схема инфразвукового извещателя:

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 1 – микрофон;                     | 7 – генератор установочного импульса;       |
| 2 – усилитель с фильтром;         | 8 – блок управления;                        |
| 3 – двухпороговый блок;           | 9 – световой индикатор;                     |
| 4 – генератор тактовых импульсов; | 10 – блок питания;                          |
| 5 – коммутатор;                   | 11 – блок формирования тревожных извещений. |
| 6 – электронный ключ;             |   |

Сразу же после включения напряжения питания начинаются относительно длительные переходные процессы установления рабочего режима усилителя 2. На его выходе при этом присутствуют затухающие инфранизкочастотные сигналы, амплитуда которых превышает пороги напряжения переключения двухпорогового блока 3, установленные относительно середины напряжения питания. Поэтому на выходе блока 3 в течение (5-30) с присутствуют импульсы напряжения, включающие с помощью электронного ключа 6 световой индикатор 9 и поступающие на вход коммутатора 5., а через него - на вход блока управления, на выходе которого в течение установленного времени задержки (2 минуты) появляется блокирующий потенциал логической единицы. Коммутатор закрывается, тревожное извещение при этом не формируется.

Таким образом, период установки, необходимый для выхода ответственного лица (владельца) из охраняемого помещения и установления переходных процессов, завершается, и извещатель переходит в дежурный режим работы. В этом режиме отсутствует сигнал с выхода микрофона 1, по-

этому на выходе усилителя и двухпорогового блока устанавливается потенциал логического нуля, который подаётся на вход коммутатора и электронного ключа. Это приводит к тому, что тревожное извещение не формируется и световой индикатор не горит.

Если происходит изменение объёма охраняемого помещения в результате открывания двери, окна и т.п., в нём начинают распространяться инфранизкочастотные звуковые волны, преобразуемые микрофоном электронного блока в электрический сигнал. Этот сигнал поступает в усилитель, в котором происходит его усиление и фильтрация. Усилитель имеет регулируемый с помощью специального резистора коэффициент усиления. Полоса его пропускания при максимальном усилении находится в пределах 0,1 – 1 Гц.

Усиленный инфранизкочастотный сигнал поступает на входы электронного ключа 6, вызывая свечение светового индикатора. При превышении амплитуды сигнала порога переключения блока 3, на его выходе формируются импульсы логической единицы. Первый же импульс, поступая в коммутатор, открывает его для прохождения импульсов с генератора 4 в блок управления. Если переключатель блока управления находится в положении "НОЧЬ", на его выходе сразу же появляется сигнал логической единицы, что приводит к включению звукового сигнализатора на время 2 мин и формированию тревожного извещения на пульт централизованного наблюдения с помощью выходных контактов реле. Извещатель переходит в тревожный режим работы.

Через 2 мин выключения звукового сигнализатора сигнал с выхода блока управления сменяется постоянным напряжением логического нуля, прекращая формирование тревожного извещения, извещатель вновь переходит в дежурный режим работы.

Если переключатель находится в положении "ДЕНЬ", после обнаружения проникновения и появления тактовых импульсов на входе блока управления, сигнал логического нуля на выходе блока 8 появляется не сразу, а через 1 мин. Таким образом, формируется задержка на включение звукового сигнализатора. Далее процессы восстановления дежурного режима через 2 мин после прекращения формирования сигнала тревоги, происходят идентично описанному выше.

### 5.3.2. Звуковой метод дистанционного обнаружения терморазрушения остеклённых конструкций

Стекло - материал, обладающий уникальным сочетанием физических характеристик (низкая теплопроводность, относительно высокий коэффициент линейного расширения, высокая хрупкость), которые определяют его специфическую реакцию на повышение температуры. Неравномерный нагрев стеклянного полотна, закреплённого в строительную конструкцию, в результате воздействия открытого пламени или контактируемых с поверхностью нагретых материалов приводит к возникновению в стекле механических перенапряжений, приводящих к разрушению [5.16].

Это явление, называемое термоударом, может наблюдаться даже при сравнительно медленном нагреве со скоростью 0,1 - 1 °С/сек. При этом растрескивание стеклянного полотна происходит при температурах значительно более низких, чем температура его плавления.

Процесс механического разрушения стекла как твёрдого тела сопровождается возникновением и распространением в нём упругих механических колебаний - акустической эмиссии. Собственно эмиссия связана с появлением и развитием трещин и занимает во времени единицы-десятки миллисекунд. Однако акустические процессы, порожденные ей, связанные с резонансными явлениями, реверберацией продолжаются значительно дольше.

Колебательные движения частиц стекла, как указывалось выше, являются результатом сложения основных составляющих волн различного порядка: сдвиговых волн  $S_t$ , и двух видов волн Лэмба (сжатия-растяжения) - продольных  $S_d$  и изгибных  $a_d$ . Волны  $S_t$  и  $S_d$  распространяются вдоль стеклянного полотна и, вызывая их вибрацию, передаются элементам строительных конструкций (рамы, стены). Изгибные волны  $a_d$  являются источником звуковых волн в воздушной среде. Теоретическое значение верхней частоты спектра акустической эмиссии в стекле оцениваются величиной 50 МГц. Однако в результате интенсивного затухания волн более высоких частот уже на расстоянии около 1 м спектр практически ограничивается единицами МГц.

Характерная форма спектра волн акустической эмиссии для этого случая приведена на рис 5.7. Из рисунка следует, что при удалении от источника ширина спектра существенно сужается. Как видно, максимум спектра колебаний располагается в области частот 40-120 кГц.

Натурные испытания на стеклянных полотнах толщиной 2-8 мм показали, что ускорения частиц стекла при разрушении термоударом могут достигать десятков тысяч  $m/c^2$  [5.16].

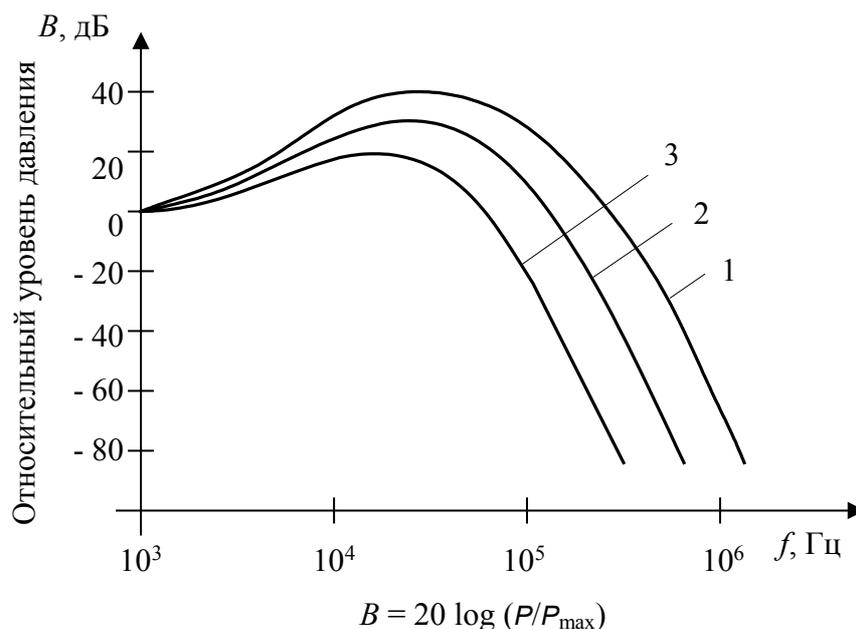


Рис. 5.7. Зависимость формы спектра акустической эмиссии, вызванной терморазрушением, от расстояния до источника: 1 – расстояние 1 м; 2 – расстояние 3 м; 3 – расстояние 6 м

Акустические сигналы, вызванные термическим разрушением остеклённых конструкций, могут свидетельствовать о появлении и распространении пожара. Для приёма этих сигналов могут быть использованы различные типы вибрационных и акустических преобразователей.

В частности, охранные звуковые извещатели "Стекло", реагирующие на ударное разрушение стёкол, установленных в строительных конструкциях или элементах интерьера, могут быть использованы для обнаружения очага пожара в сочетании с устройствами, генерирующими звуковой сигнал при появлении признаков пожара. В качестве таких устройств предложено применять стеклянные капсулы с газом (например,  $\text{CF}_3\text{Br}$ ), создающим избыточное давление и разрушающим стекло при повышении температуры определённого значения. Аналогичный механизм "срабатывания" используется в спринклерных установках, а также самосрабатывающих порошковых огнетушителях. Исследования показали [5.1], что звуковой импульс при разрушении стеклянных капсул имеет частотный спектр с максимумом в диапазоне 5-13 кГц и амплитудой, превышающей фоновый уровень на 30-40 дБ, что соответствует рабочим характеристикам извещателя "Стекло-1".

Рассмотренный вариант применения звуковых извещателей в сочетании с "термопреобразователями признаков" позволяет расширить их функциональные возможности в системах охранно-пожарной сигнализации [5.3].

### 5.3.3. Акустический реверберационный метод обнаружения очага пожара и нарушителя

Известно, что любое помещение может характеризоваться стандартным временем реверберации, представляющим собой фактическую продолжительность существования акустической энергии (её спад на 60 дБ) после прекращения работы источника звука. Абсолютное значение времени реверберации  $T_p$  определяется формулой Эйринга-Сэбина [5.17]. Относительное изменение времени реверберации  $H_p$  при появлении в конкретном помещении объёмом  $V$  человека или возникновения очага пожара зависит от вносимого ими поглощения и может быть определено с помощью выражения:

$$H_p = \frac{T_{pв}}{T_{pи}} = 1 - \frac{S_{вп} \ln(1 - \alpha_{вп})}{4\mu V - \sum_{i=1}^n S_{пi} \ln(1 - \alpha_{пi})}, \quad (5.3.1)$$

где  $T_{pи}$  – сходное значение времени реверберации;  $T_{pв}$  – значение времени реверберации после проникновения в помещение человека или возникновения очага пожара;  $S_{пi}$  – площадь ограничивающей помещение  $i$ -й поверхности, имеющей характерный коэффициент поглощения  $\alpha_{пi}$ ;  $S_{вп}$  – площадь вносимой поверхности с соответствующим коэффициентом поглощения  $\alpha_{вп}$ ;  $\mu$  – относительный показатель затухания звуковой энергии в воздухе.

Рассмотрим конкретный расчётный пример изменения времени реверберации при проникновении в помещение человека.

На рис. 5.8 представлена зависимость изменения  $H_p$  от площади (объёма) помещения, который представляет собой, например, комнату хранения ценностей с квадратным бетонным полом, стенами и потолком ( $\alpha_{п1} = 0,014$ ) высотой 3 м на 30% поверхности, заполненную деревянными стеллажами ( $\alpha_{п2} = 0,03$ ) и ещё на 30% - стальными шкафами ( $\alpha_{п3} = 0,05$ ).

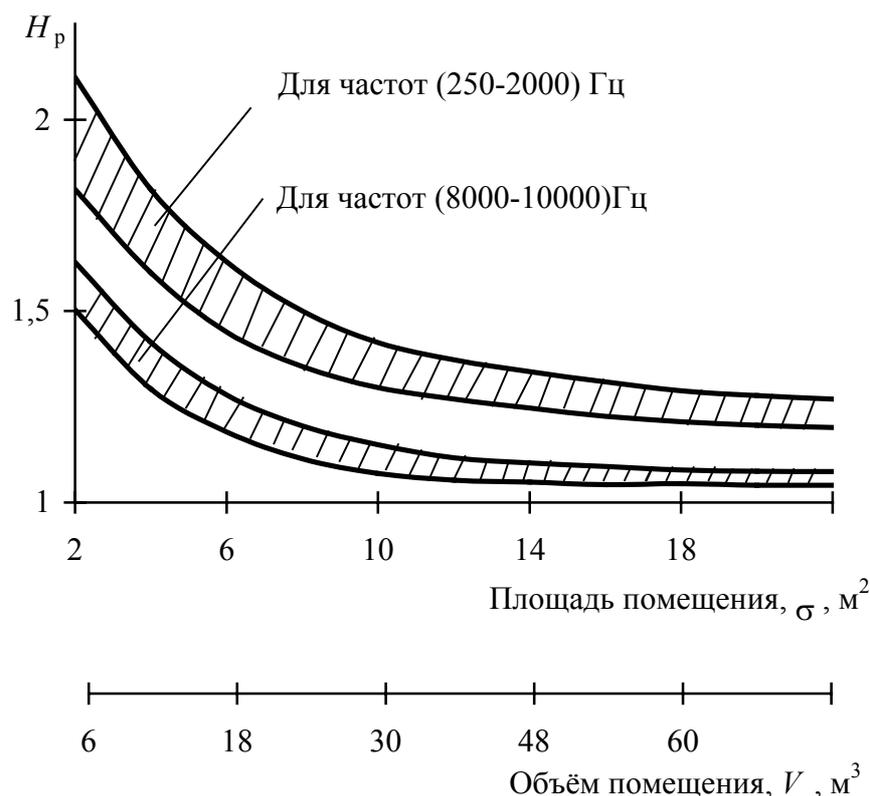


Рис. 5.8. Зависимость относительного времени реверберации от площади (объёма) помещения при измерении в различных диапазонах частот

Из рис. 5.8 видно, что имеется существенное изменение времени реверберации, возрастающее при изменении объёма помещения, а также снижении частоты звука. Следует отметить, что значительное влияние на  $H_p$  оказывает также суммарное поглощение ограждающей поверхности. Для рассмотренного помещения расчётное стандартное время реверберации находится в пределах 0,6 – 4 с. Практические методы измерения времени реверберации хорошо известны и их реализация не представляет технической сложности.

Таким образом, для обнаружения возникновения пожара или проникновения на объект может быть предложен метод, основанный на анализе изменения времени реверберации акустической энергии в помещении. Этот метод может быть использован для построения новых эффективных извещателей систем охранно-пожарной сигнализации.

## Литература

### Глава 5

5.1. **Топольский Н.Г., Членов А.Н., Буцынская Т.А.** Акустические извещатели охранно-пожарной сигнализации интегрированных автоматизированных систем безопасности. –М.: Академия ГПС МВД России, 2000. –264 с.

5.2. **Членов А.Н., Левчук С.А.** Характеристики обнаружения пожара извещателем "Эхо-А" // Сб. докл. научно-практической межвузовской конференции "Пожарная безопасность – 97". –М.: МИПБ МВД России, 1997.

5.3. **Членов А.Н.** О возможностях увеличения эффективности обнаружения пожара системами сигнализации // Материалы девятой международной конференции "Системы безопасности" – СБ-2000. –М.: МИПБ МВД России, 2000. –С.149, 150.

5.4. **Членов А.Н., Буцынская Т.А.** Математическая модель процесса формирования сигналов помехи в ультразвуковом доплеровском извещателе // Материалы седьмой международной конференции "Системы безопасности" – СБ-98. –М.: МИПБ МВД России, 1998. –С.35-37.

5.5. **Членов А.Н., Буцынская Т.А.** Интенсивность ложных срабатываний ультразвукового доплеровского извещателя с выделением сигнала о пожаре // Материалы седьмой международной конференции "Системы безопасности" – СБ-98. –М.: МИПБ МВД России, 1998. –С.58-60.

5.6. **Топольский Н.Г., Членов А.Н., Буцынская Т.А.** Ультразвуковые извещатели систем охранной и охранно-пожарной сигнализации. –М.: ГИЦ МВД России, деп. рук. Ук. № 18., 2000. –57с.

5.7. **Ткачевкая М.Я., Членов А.Н.** Ультразвуковые извещатели охранно-пожарной сигнализации. –М.: ГИЦ, 1986. –58с.

5.8. **Членов А.Н.** Ультразвуковые охранные и охранно-пожарные извещатели для закрытых помещений // Системы безопасности, связи и телекоммуникаций, март-апрель, –М., 1999. –С.25-27.

5.9. **Членов А.Н.** Математическая модель энергетического спектра ультразвукового сигнала, отражённого от очага пожара // Материалы научно-практической конференции "Современные проблемы тушения пожаров". Ч.II. –М.: ГУГПС-МИПБ МВД России, 2000. –С.149-152.

5.10. **Буцынская Т.А.** Корректировка теоретической модели обнаружения нарушителя по результатам эксперимента // Матер. VIII междунар. конф. "Системы безопасности" – СБ-99. –М.: МИПБ МВД России, 1999. –С.117-119.

5.11. **Буцынская Т.А.** Дальность действия ультразвуковых охранных извещателей // Матер. VIII междунар. конф. "Системы безопасности" - СБ-99. –М.: МИПБ МВД России, 1999. –С.260-261.

5.12. **Топольский Н.Г., Членов А.Н., Буцынская Т.А.** Повышение эффективности ультразвуковых охранно-пожарных извещателей // Матер. междунар. конф. "Информатизация правоохранительных систем". Ч.II. –М.: АУ МВД России, 1998. –С.178-179.

5.13. **Топольский Н.Г., Членов А.Н., Буцынская Т.А.** Ультразвуковой охранно-пожарный извещатель с отдельными каналами обнаружения нарушителя и очага пожара // Сб. докл. науч.-практ. конф. "Пожарная безопасность – 97". –М.: МИПБ МВД России, 1997.

5.14. **Буцынская Т.А., Членов А.Н.** Вероятностная характеристика обнаружения очага пожара двухканальным ультразвуковым доплеровским извещателем // Матер. науч.-практ. конф. ВВШ МВД России. –Воронеж: ВВШ МВД России, 1998. –С.37-39.

5.15. **Топольский Н.Г., Членов А.Н., Буцынская Т.А.** Помехоустойчивость

ультразвукового доплеровского извещателя с выделением сигнала о пожаре // Матер. VII междунар. конф. "Системы безопасности" – СБ-98. –М.: МИПБ МВД России, 1998. –С.21, 22.

5.16. **Членов А.Н., Лавлинский Л.Л.** Параметры акустической эмиссии при разрушении остекленных конструкций в результате термоудара // Матер. науч.-практ. всерос. конф. "Современные проблемы тушения пожаров". –М.: МИПБ МВД России, 1999. – С.266-268.

5.17. **Членов А.Н.** Акустический ревербационный метод обнаружения нарушителя и очага пожара // Матер. VII междунар. конф. "Системы безопасности" – СБ-98. –М.: МИПБ МВД России, 1998. –С.93, 94.

5.18. **Пузач С.В., Поляков Ю.А.** Обоснование возможности раннего обнаружения возгорания в помещении с помощью датчиков давления // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып. 3, 1999. –С.53–56.

5.19. **Членов А.Н.** Метод оценки устойчивости функционирования инфразвукового извещателя // Сб. докл. VI междунар. конф. "Системы безопасности" – СБ-97. –М.: ВИПТШ МВД России, 1997.

5.20. Патент на изобретение РФ № 2130201 от 10.03.99. Устройство для тревожной сигнализации (**Топольский Н.Г., Членов А.Н., Буцынская Т.А.**).