**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ТАГАНРОГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

# **КАФЕДРА ЭГА и МТ**

#### КУРСОВАЯ РАБОТА

По курсу:

“Методы и системы обработки сигналов”

На тему:

«Определение характеристик оптимального обнаружения»

Выполнил: Озерин М.В. ­\_\_\_\_\_\_\_­\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

студент 4-го курса гр. Э-15 (дата) (подпись)

Руководитель: Черницер В.М. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(дата) (подпись)

### **Таганрог 1999**

# **ВВЕДЕНИЕ**

# При проектировании гидроакустических систем (ГАС) различного функционального назначения на этапе проектирования решаются задачи оптимизации технических характеристик ГАС и выбора структуры приемного тракта, оптимизирующего отношение сигнал-помеха. Для таких систем основными параметрами является: дальность действия, пространственная разрешающая способность. В данном случае ищут компромиссное решение между этими параметрами, отдавая предпочтение одному или другому в зависимости от стоящей перед разработчиками задачи. Расчет ведется при фиксированной дальности и поэтому выбор оптимальной частоты определяется минимальной излучающей мощности. **1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ**

Рассчитать и построить семейство характеристик обнаружения и определить значение порогового сигнала для исходных данных. Расчет проводится для когерентной последовательности и некогерентной последовательности импульсов при полностью известном сигнале, со случайной начальной фазой и амплитудой.

### Таблица 1.1

#### Данные для расчеты

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Максимально допустимое значение вероятности ложной тревоги Pлт.доп | 10-3,  10-5 |
| 2. Число импульсов последовательности, n | 1, 20 |
| 3. Вероятность правильного обнаружения Po | 0,92 |
| 4. Дальность действия r, м | 1000 |
| 5. Разрешающая способность по угловым координатам, град | Θα=10Θβ=10 |
| 6. Разрешающая способность по дальности Δr, м | 0,5 |
| 7. Спектрально-энергетическая характеристика шумов, № | 3.1 |
| 8. Скорость носителя VН, м/с | 15 |
| 9. Скорость цели VЦ, м/с | 5 |
| 10. Чувствительность антенны γ, мкВ/Па | 300 |
| 11. Уровень шумов электронного тракта Uм эл., мкВ | 5 |

**2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

2.1. Характеристика обнаружения

Характеристиками обнаружения называются кривые, определяющие зависимость между вероятностью правильного обнаружения Ро, вероятностью ложной тревоги Pлт и величиной сигнала выраженного в относительных еденицах:

(2.1)



Параметр q численно равен отношению сигнал-помеха (С/П) по напряжению на выходе согласованного фильтра (СФ). Если задано допустимое значение Pлт, то расписывается соответствующее значение Po.

2.1.1 Случай полностью известного сигнала

Условные плотности вероятности корреляционного интеграла при отсутствии сигнала W(K/0) и при наличии сигнала W(K/1) определяются из выражения:

(2.2)



где величины K и Es корреляционный интеграл и энергия сигнала. При сравнении значений К с порогом Ко вероятность ложной тревоги определяется отношением порогового уровня к среднеквадратичному значению σк.

(2.3)



Вероятность правильного обнаружения зависит не только от отношения порога Ко среднеквадратичному значению σк, но и от отношения

(2.4)



где q – параметр обнаружения.

(2.5)



В выражениях 2.3 и 2.5 в F(U) – интеграл вероятности:

(2.6)



# Выражение 2.5 преобразуется к виду

(2.7)



где qo=Ko/σk.

Если интеграл вероятности определяется в виде



(2.6)

то выражение (2.3), (2.5), (2.6) приобретают вид

Pлт=1-Ф(qo), (2.7)

Pлт=1-Ф(q-qo), (2.8)

где q – параметр обнаружения.

Вероятность правильного обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги тем больше, чем больше параметр обнаружения (рис 2.1). Пользуясь кривыми обнаружения, можно найти пороговый сигнал, т.е. сигнал, который при заданной вероятности ложной тревоги, может быть обнаружен с требуемой вероятностью правильного обнаружения Рп.



#### Рис. 2.1 Кривые обнаружения

Случай полностью известного сигнала на практике встречается редко, но его удобно использовать для сравнения различных типов устройств обнаружения.

**2.2. Случай сигнала со случайной начальной фазой**

# Условные плотности вероятности для корреляционного интеграла при наличии сигнала:

(2.9)



при отсутствии сигнала:



(2.10)

Модель корреляционного интеграла при отсутствии сигнала подчиняется релеевскому закону распределения, а при наличии сигнала, обобщенному релеевскому закону.

Максимально допустимая вероятность ложной тревоги

(2.11)



а пороговое значение отношение сигнал-помеха

(2.12)



Вероятность правильного обнаружения определяется, как

(2.13)



где S – переменная интегрирования.

###### Когда отношение сигнал-шум равен



формулы (2.9) и (2.13) упрощается, и расчет вероятности Po можно вести по формуле

(2.14)



где Ф(U) – интеграл вероятности.

**2.3. Случай со случайной амплитудой и начальной фазой**

(2.15)



(2.16)



Вероятность ложной тревоги

(2.17)



Вероятность правильного обнаружения

(2.18)



Исключая qo из (2.18), получим

(2.19)



В случае приема последовательности из n одинаковых когерентных импульсов энергетическое отношение сигнал/шум

(2.20)



где Eu/No – энергетическое отношение сигнал/шум, соответствующее одному импульсу последовательности.

По характеристикам обнаружения определяются значения qn и пороговый сигнал, соответствующий полной энергии сигнала в пачке (ES). Поэтому в случае когерентного обнаружения, энергия минимального порогового сигнала одного импульса должна быть – ES/n. А в случае некогерентного обнаружения ES/√n. Выигрыш при когерентном приеме составляет √n раз. Параметр обнаружения q может быть представлен как отношение максимального напряжения сигналаAs к среднеквадратичного значения шума

(2.21)



При этом пороговом сигналом определяется коэффициент распознавания (различимости) δ, который вычисляется как минимальное отношение сигнал/шум, обеспечивающее обнаружение с требуемой вероятностью:

для случая когерентного обнаружения



для случая некогерентного обнаружения



где Wи=As2/2 – импульсная мощность.

При n=1 различие между когерентным и некогерентным приемами отсутствует.

**3. РАСЧЕТ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАС**

## **Оптимальная частота работы ГАС**

Оптимальную частоту выбираем из расчета, что сигнал будет иметь приемлемый шум и малое поглощение.



где rmax – дистанция до цели обнаружения (км).

Но так как можно перебирать частоту в некотором диапазоне, то выбираем частоту fопт=39000, при этом получаем выигрыш в минимальном шуме, но имеем более сильное поглощение сигнала.

##### Полоса пропускания приемного тракта

Она складывается из доплеровского смещения частот и ширины спектра эхо-сигнала

Δf=Δfд+Δfсп.

# Найдем Δfд – доплеровское смещение частоты



где Vн – скорость носителя,

Vц – скорость цели обнаружения,

с – скорость звука в среде.

**Найдем Δfс – ширина спектра эхо-сигнала**

Коэффициент 1,37 выбирается из того условия что отношение сигнал-шум является опртимальным для нашего случая.



где τи=2⋅Δr/c=2⋅0,3/1483=0,67 (мс), где ⋅Δr – разрешающая способность по дальности. Тогда Δfсп=2032 (Гц).

Δf=2032+2104=4136 (Гц).

**Уровень шума, воздействующий на вход приемного тракта**

Для расчета шума воспользуемся спектрально-энергетическими характеристиками шумов, в данном случай характеристикой для моря. Частота излученного сигнала равна 39000 Гц, тогда Pпр=2⋅10-5 Па/Гц2.

**Уровень шумового давления на входе приемной антенны**

P’ш=Uш/γ,

где Uш – уровень шумов на входе в приемный тракт и шум приемного тракта;

γ - чувствительность антенны в режиме приема (мкВ/Па),

Uш.эл – уровень шумов электронного тракта (мкВ).



тогда P’ш=0,017 (Па).

**Площадь антенны**

S=a⋅b.

a=(50,5⋅с)/fопт⋅Θα=(50,5⋅1483)/39000⋅10=0,192 (м),

b=(50,5⋅с)/fопт⋅Θβ=(50,5⋅1483)/39000⋅10=0,192 (м).

S=0,192 ⋅0,192 =0,037 (м2).

Где Θα,Θα - разрешающая способность по угловым координатам.

**Интенсивность**

I=| P’ш /ρ⋅c |=0,017/103⋅1483=1,127⋅10-8,

где ρ - плотность среды распространения звука (вода),

с – скорость звука в среде.

**Среднеквадратичное напряжение шума**

Wш=I⋅S=1,127⋅10-8⋅0,037 =4,157⋅10-10.

**Спектральная плотность мощности шумовой помехи**

No= Wш/Δf=4,157⋅10-10/4136=1,005⋅10-13(Вт/Гц).

**4. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ОБНАРУЖЕНИЯ**

**4.1. Определение порога и построение семейства характеристик обнаружения**

Определим порог при двух заданных значениях вероятности ложной тревоги Pлт1=10-3, Pлт2=10-5 для трех случаев:

**а) сигнал известен точно**

Распределение помехи нормальное. При определении порога пользуемся таблицей интеграла вероятности



Pлт=1-Ф(qo), тогда qo=arg[Ф(1- Pлт)].

Из таблицы интеграла вероятности для:

Pлт1=10-3, qo=3,1;

Pлт2=10-5, qo=4,27.

Находим точки для построения кривой обнаружения

Pлт=1-Ф(qo-q).

Таблица 4.1

Точки построения кривой обнаружения для известного сигнала[[1]](#footnote-1)\*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **q** | **Pлт1=10-3** | **Pлт2=10-5** |
| 1 | 0,01786 | 0,0005 |
| 2 | 0,1357 | 0,011 |
| 3 | 0,4602 | 0,102 |
| 4 | 0,8159 | 0,39 |
| 5 | 0,97128 | 0,76 |
| 6 | 0,998134 | 0,95 |
| 7 | 0,9999519 | 0,997 |
| 8 | 0,99999 | 0,9999 |
| 9 |  | 0,99999 |

**б) Сигнал со случайной начальной фазой**

Распределение помехи релеевское, но при больших отношениях «сигнал-шум» распределение сводится к нормальному

qo=√-2⋅ln(Pлт).

Тогда для Pлт1=10-3, qo=3,72;

Pлт2=10-5, qo=4,8.

Таблица 4.2

Точки построения кривой обнаружения для сигнала с неизвестной начальной фазой[[2]](#footnote-2)\*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **q** | **Pлт1=10-3** | **Pлт2=10-5** |
| 1 | 0,00326 | 0,00007 |
| 2 | 0,4272 | 0,0025 |
| 3 | 0,2358 | 0,035 |
| 4 | 0,6103 | 0,21 |
| 5 | 0,8997 | 0,57 |
| 6 | 0,9887 | 0,88 |
| 7 | 0,99841 | 0,98 |
| 8 | 0,99999 | 0,9993 |
| 9 |  | 0,99999 |

**в) сигнал со случайной фазой и амплитудой**

qo=√-2⋅ln(Pлт).

Тогда для Pлт1=10-3, qo=3,72;

Pлт2=10-5, qo=4,8.

Расчет точек для кривой обнаружения.



Таблица 4.3

Точки построения кривой обнаружения для сигнала с неизвестной начальной фазой и амплитудой[[3]](#footnote-3)\*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **q** | **Pлт1=10-3** | **Pлт2=10-5** |
| 1 | 0,01 | 0,0005 |
| 2 | 0,1 | 0,02 |
| 3 | 0,2848 | 0,11 |
| 4 | 0,4642 | 0,28 |
| 5 | 0,5995 | 0,42 |
| 6 | 0,6852 | 0,55 |
| 7 | 0,7627 | 0,64 |
| 8 | 0,8111 | 0,7 |
| 9 | 0,8467 | 0,76 |
| 10 | 0,8753 | 0,8 |
| 11 | 0,8938 | 0,83 |
| 12 | 0,9097 | 0,85 |
| 13 | 0,9224 | 0,87 |
| 14 | 0,9326 | 0,89 |
| 15 | 0,941 | 0,91 |
| 16 | 0,9479 | 0,92 |
| 17 | 0,9536 | 0,924 |
| 18 | 0,9585 | 0,93 |
| 19 | 0,9627 | 0,944 |
| 20 | 0,9662 | 0,95 |

**4.2. Расчет характеристик обнаружения**

а) Находим энергию сигнала при Pomin=0,92

тогда



Данные наших расчетов приведены в приложении (рис.1) и (рис.2).

Таблица 3.4

Энергия сигнала при заданной минимальной вероятности правильного обнаружения

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Сигнал** | **Pлт1=10-3** | | **Pлт2=10-5** | |
| qn | Es | qn | Es |
| полностью известный | 4,5 | 2,261⋅10-13 | 6 | 3,015⋅10-13 |
| со случайной начальной фазой | 5,1 | 2,563⋅10-13 | 6,7 | 3,367⋅10-12 |
| со случайной фазой и амплитудой | 13 | 6,533⋅10-12 | 17 | 1,005⋅10-12 |

б) энергия минимального сигнала при когерентном и некогерентном приеме.

Еи=Es/n –для когерентного приема.

Еи=Es/√n – для некогерентного приема.

n=1 и n=20 – число сигналов принимаемой последовательности .

Для n=1 различие между когерентным и некогерентным приемами отсутствуют.

Таблица 4.5

Энергия минимального порогового сигнала

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | **Pлт1=10-3** | | **Pлт2=10-5** | |
| **сигнал** | вид приема | n=1 | n=20 | n=1 | n=20 |
| точно известный | когерент. | 2,261⋅10-12 | 1,508⋅10-14 | 3,015⋅10-13 | 2,01⋅10-14 |
| некогерент. | 5,839⋅10-13 | 7,785⋅10-13 |
| со случ. нач. фазой | когерент. | 2,563⋅10-13 | 1,709⋅10-14 | 3,367⋅10-12 | 2,245⋅10-14 |
| некогерент. | 6,617⋅10-13 | 8,694⋅10-13 |
| со случ. нач. фазой и амп. | когерент. | 6,533⋅10-12 | 4,355⋅10-14 | 1,005⋅10-12 | 6,701⋅10-14 |
| некогерент. | 1,687⋅10-13 | 2,595⋅10-13 |

в) коэффициент распознавания

δ=qоп/√n – для когерентного приема.

δ=qоп/4√n – для когерентного приема.

Таблица 4.6

Коэффициент распознавания, δ

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | **Pлт1=10-3** | | **Pлт2=10-5** | |
| **сигнал** | **вид приема** | n=1 | n=20 | n=1 | n=20 |
| точно известный сигнал | когерент. | 4,5 | 1,162 | 6 | 1,549 |
| некогерент. | 2,287 | 3,049 |
| сигнал со случ. нач. фазой | когерент. | 5,1 | 1,317 | 6,7 | 1,73 |
| некогерент. | 2,591 | 3,404 |
| сигнал со случ. нач. фазой и амп. | когерент. | 13 | 3,357 | 17 | 5,164 |
| некогерент. | 6,606 | 10,163 |

г) импульсная мощность

Wи=Es/τи, для n=1;

Wи=Eи/τи, для n=20.

Таблица 4.7

Импульсная мощность Wи, Вт

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | **Pлт1=10-3** | | **Pлт2=10-5** | |
| **сигнал** | **вид приема** | n=1 | n=20 | n=1 | n=20 |
| точно известный | когерент. | 3,354⋅10-10 | 2,236⋅10-11 | 4,472⋅10-10 | 2,981⋅10-11 |
| некогерент. | 8,659⋅10-11 | 1,155⋅10-11 |
| со случ. нач. фазой | когерент. | 3,801⋅10-10 | 2,534⋅10-11 | 4,993⋅10-10 | 3,329⋅10-11 |
| некогерент. | 9,814⋅10-11 | 1,289⋅10-10 |
| со случ. нач. фазой и амп. | когерент. | 9,688⋅10-10 | 6,459⋅10-11 | 1,491⋅10-9 | 9,937⋅10-10 |
| некогерент. | 2,502⋅10-10 | 3,849⋅10-10 |

**ВЫВОД**

В данной курсовой работе были рассчитаны и построены кривые семейства характеристик обнаружения и определены значения порогового сигнала для исходных данных. Расчет проводился для когерентной последовательности и некогерентной последовательности импульсов при полностью известном сигнале, со случайной начальной фазой и амплитудой. По результатам расчетов видно что при некогерентном сигнале коэффициент распознавания выше, чем при когерентном, также при этом выше и импульсная мощность. Также можно сделать вывод, что у различных сигналов, таких, например, как полностью известный сигнал и сигнал со случайной начальной фазой, будут разные энергий при заданной минимальной вероятности правильного обнаружения, в первом случае она меньше.

**ПРИЛОЖЕНИЕ**



1. \* см. приложение (рис.1 и рис.2) [↑](#footnote-ref-1)
2. \* см. приложение (рис.1 и рис.2) [↑](#footnote-ref-2)
3. \* см. приложение (рис.1 и рис.2) [↑](#footnote-ref-3)