

## СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ И ИЗМЕРИТЕЛЯ АВХ ТВ СИГНАЛОВ ОТРАЖЕННЫХ ОТ МЕТЕОРНЫХ СЛЕДОВ.

### Введение

Начиная с 1994 г., в рамках программы «Глобальная метеорная сеть» («Global Meteor-Scatter Network»), в мире действует сеть автоматических станций учета метеорной активности, которые в качестве зондирующего излучения используют сигнал от ТВ и радиовещательных станций. Цель наблюдений состоит в том, чтобы обнаружить кратковременные (0,5...2 ч) увеличения метеорной активности, которые вызываются потоками, связанными с долгопериодическими кометами. Эти кометы потенциально опасны с точки зрения столкновения с Землей, а обнаружить их можно, наблюдая связанные с ними метеорные потоки.

Как отмечается в [1], в результате наблюдений на фоне обычного суточного хода численности метеоров явно проявляются кратковременные «вспышки активности», которые повторяются из года в год. Один из обнаруженных потоков сопоставлен с кометой P/Kiess [2,3].

Для решения этой задачи используются антенны типа «волновые каналы» с тремя или пятью директорами. В качестве приемников используются либо переделанные вещательные приемники, либо сканирующие приемники, управляемые ПЭВМ, имеющие чувствительность порядка 1 мкВ и полосу пропускания от 3 до 50 кГц. Фиксируется численность метеоров и длительность отражений отдельно для каждого десятиминутного интервала.

Ориентация антенн, обработка принимаемых сигналов и идентификация их с сигналами, отраженными от метеорных следов, в этих станциях различна и не всегда эффективна. Существует возможность, используя близкую к оптимальной обработку сигнала, повысить эффективность и унифицировать станции, работающие в рамках программы «Глобальная метеорная сеть».

### Постановка задачи

Для решения задач оценки параметров сигналов, отраженных от метеорных следов, необходимо обеспечить достаточное отношение с/ш для их идентификации. Параметры ТВ сигнала, выбранного в качестве зондирующего, не подлежат изменению. Для повышения отношения с/ш могут быть изменены только параметры приемной аппаратуры, в частности ориентация ДН приемной антенны [4] и выбор структурной схемы оптимального обнаружителя ТВ сигналов.

В статье рассмотрены вопросы синтеза оптимального обнаружителя ТВ сигналов, отраженных от метеорных следов на фоне шумов на основе уточненной модели сигнала.

### Описание модели ТВ сигнала отраженного от метеорного следа

Рассмотрим структуру ТВ сигнала во временной (рис. 1) и в частотной (рис. 2) областях [5]. Некоторые параметры ТВ сигнала, согласно ГОСТ 7845-92, приведены в табл. 1.

Из всего множества компонент телевизионного сигнала, для получения амплитудно-временных характеристик (АВХ) сигналов, отраженных от метеорных следов, наиболее приемлемыми параметрами обладают строчные синхроимпульсы (ССИ) и строчные гасящие импульсы (СГИ). Так как отношение сигнал/шум на выходе оптимального обнаружителя пропорционально отношению энергии сигнала к спектральной плотности шумов на входе обнаружителя, то выигрыш  $B$  при использовании СГИ по сравнению с ССИ

$$B = E_{cgu} \tau_{cgu} / E_{ccu} \tau_{ccu} = 1,7. \quad (1)$$

Параметры СГИ позволяют отнести его к сигнала со случайной фазой.

Дифракционная картина сигнала, рассеянного на формирующимся метеорном следе определяется выражением [6]:

$$I = \left| \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^{x_0} e^{i \frac{\pi}{2} x^2} e^{-\Delta(x_0 - x)} dx \right|, \quad (2)$$

$$\Delta = \frac{8\pi^2 D \sqrt{R}}{v \lambda^{3/2}},$$

где  $\lambda$  – длина волны;  $R$  – наклонная дальность следа;  $D$  – коэффициент амбиполярной диффузии для зеркальной точки;  $v$  – скорость метеорной частицы;  $x_0$  – характеризует положение головы следа;  $x$  – отсчитывается от точки зеркального отражения на следе в направлении движения метеора.

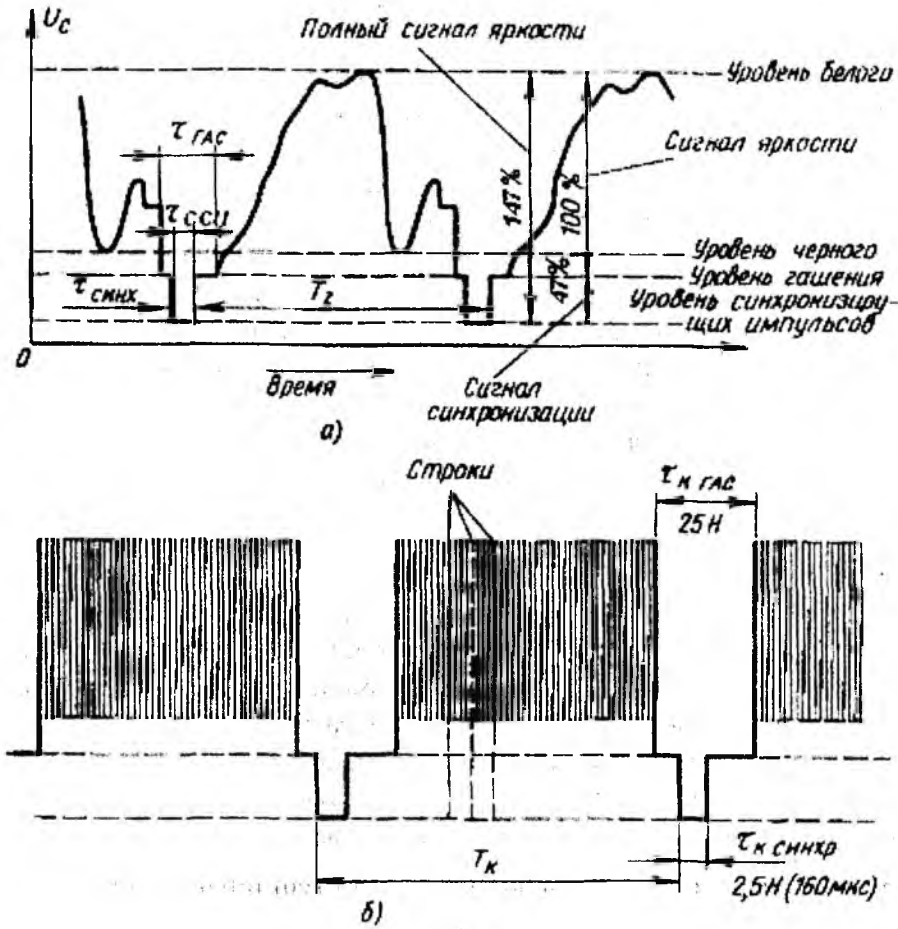


Рис. 1

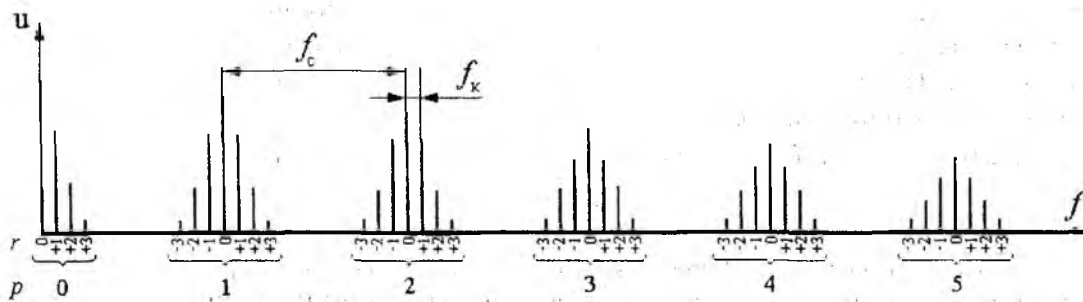


Рис. 2

Наименование	Значение
Номинальный уровень гашения (опорный уровень), %	0
Номинальный уровень белого, %	100
Номинальный уровень синхронизации (уровень синхронизирующих импульсов), %	-47
Защитный интервал, %	от 0 до 7
Размах выброса синхронизирующих, гасящих и уравнивающих импульсов по отношению к размаху импульса, %, не более	5
Номинальная длительность строки, мкс	64
Отклонение длительностей отдельных строк от среднего значения и разность длительностей двух соседних строк, нс, не более	32
Длительность гасящего импульса строк, мкс	12+/-0,3
Интервал между фронтами гасящего и синхронизирующего импульсов строк, мкс	1,5+/-0,3
Длительность синхронизирующего импульса строк, мкс	4,7+/-0,2
Длительность фронта (среза) гасящего импульса строк, мкс	0,3+/-0,1
Длительность фронта (среза) синхронизирующего импульса строк, мкс	0,2+/-0,1
Отклонение несущей частоты от номинального значения (в течение 1 месяца), Гц	+/- 100

\*Длительность импульсов задана на уровне 0,5 их размаха, длительность фронта и среза импульсов – в пределах 0,1-0,9 размаха.

Вид амплитудно-временных характеристик сигналов, рассеянных на ненасыщенных метеорных следах, для различного параметра  $\Delta$  показан на рис. 3.

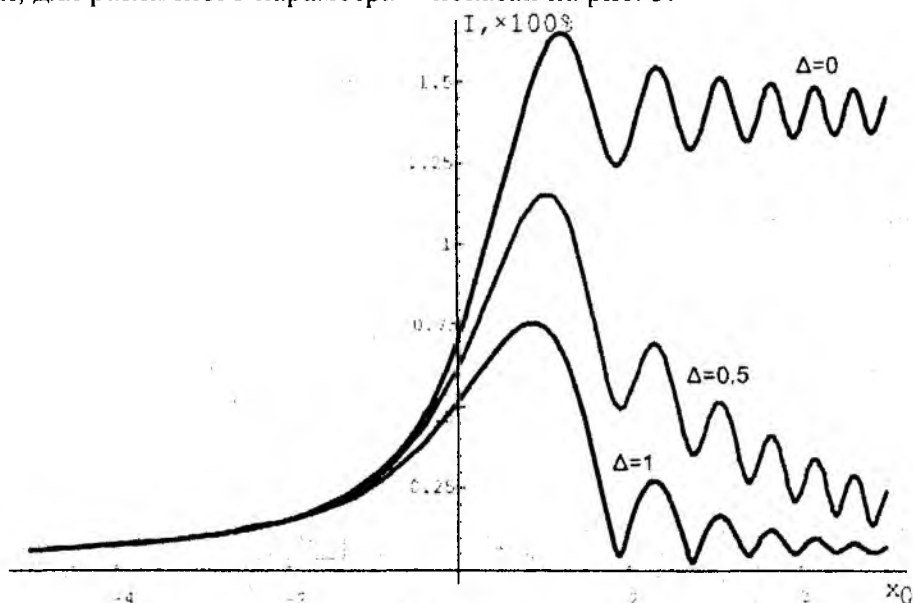


Рис. 3

Распределение длительностей метеорных отражений изображена на рис. 4 [7].

Если принять, что средняя длительность времени метеорного отражения равна 0,25 с, то в зависимости от скорости метеорного тела может сформироваться до 10 зон Френеля, в которых будут располагаться около 4000 СГИ. В этом случае имеют место дружные флуктуации амплитуды отраженного сигнала.

В итоге отраженные от метеорного следа СГИ описываются моделью сигнала с дружными флуктуациями амплитуды и со случайной начальной фазой:

$$u(t, \phi, a) = aU_m(I(t)) \cos[\omega_0 t + \psi(t) - \phi], \quad (3)$$

$$\omega(\phi) = 1/2\pi,$$

$$w(a) = \frac{a}{\sigma_a^2} \exp\left\{\frac{-a^2}{2\sigma_a^2}\right\},$$

где  $a$  – коэффициент флуктуации амплитуды;  $w(a)$  – распределение максимума амплитуды отраженного сигнала;  $\varphi$  – неизвестная начальная фаза;  $w(\varphi)$  – распределение начальной фазы;  $U_m(I(t))$  – амплитуда сигнала с учетом явления дифракции на формирующемся следе;  $\omega_0$  – несущая частота;  $\psi(t)$  – функция угловой модуляции.

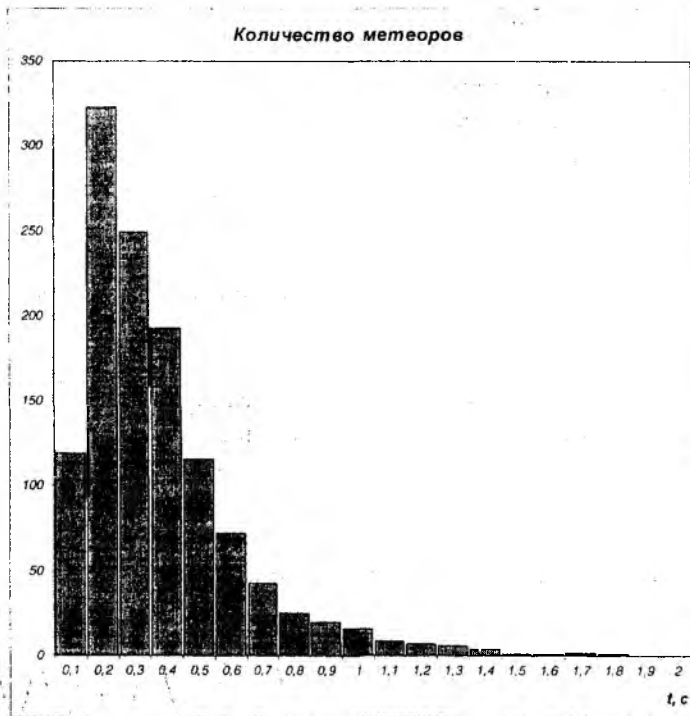


Рис. 4

### Синтез оптимального обнаружителя

Оптимальное обнаружение некогерентных импульсов подробно описано в различных источниках. Как правило, для этого используют два метода обработки: корреляционные или фильтровые. На практике наибольшее распространение получил второй метод в силу простоты его реализации. На рис. 5 изображена структурная схема фильтрового обнаружителя сигнала со случайной начальной фазой на фоне белого шума. Так как априорные вероятности отсутствия и наличия сигнала неизвестны, то значение порога  $U_{пор}$  устанавливаются исходя из критерия Неймана-Пирсона [8].

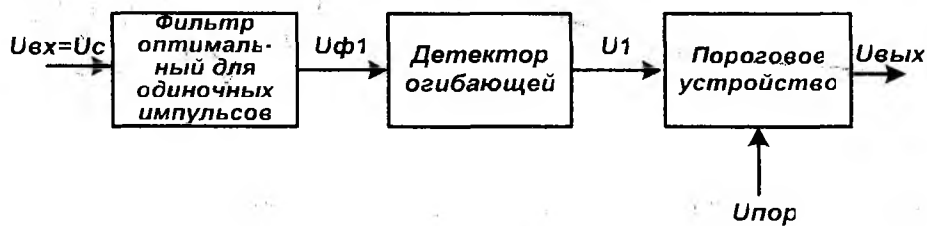


Рис. 5

Оптимальный обнаружитель пачки некогерентных импульсов содержит накопитель протектированных сигналов (рис. 6). Ориентировочно последетекторное интегрирование пачки из  $N$  импульсов увеличивает отношение сигнал/шум в  $\sqrt{N}$  раз [9].

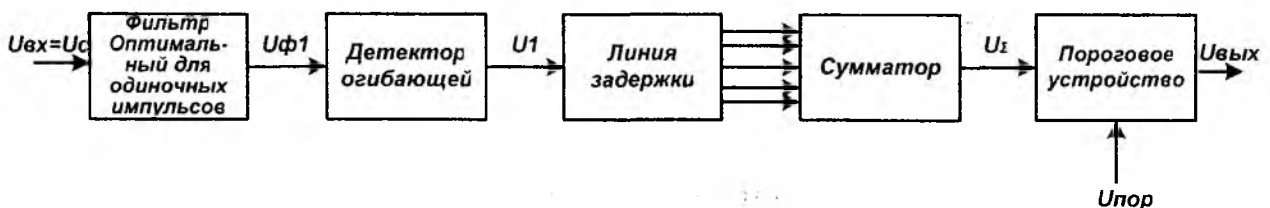


Рис. 6

Рассмотрим основные параметры структурных элементов оптимального обнаружителя.

Как известно, комплексная передаточная функция  $K(j\omega)$  оптимального обнаружителя сигнала на фоне белого нормального шума должна быть согласованна со спектром сигнала [8]:

$$K(j\omega) = kS^*(j\omega)e^{j\omega t_0} \quad (4)$$

где  $S^*(j\omega)$  – функция, комплексно сопряженная спектру сигнала  $S(j\omega)$ ;  $k$  – постоянная, равная максимальному усилению фильтра;  $t_0$  – фиксированное время, при котором наблюдается выходной сигнал.

Отношение сигнал/шум на выходе оптимального обнаружителя детерминированного сигнала, на фоне белого нормального шума, равно параметру обнаружению  $q_0$ :

$$q_0 = 2E/F_0, \quad (5)$$

где  $E$  – энергия сигнала на входе обнаружителя,  $F_0$  – спектральная плотность белого нормального шума на входе приемника.

Так как на практике реализовать оптимальный фильтр в полной мере технически сложно, то используют квазиоптимальный фильтр – фильтр УПЧ приемника в виде простой RLC цепи, согласованной с импульсом только по полосе сигнала. Если согласование проводить полосовым фильтром с полосой пропускания  $2\Delta f = 0.4/\tau$ , то отношение сигнал шум понизится по сравнению с  $q_0$  на 18,5% [10]. Для случая приема СГИ полоса пропускания квазиоптимального фильтра должна быть 33,3 кГц.

Следует также отметить, что для определения угловых координат радианта метеорного следа необходимо оценивать время запаздывания отраженного сигнала, принятого в различных приемных пунктах, а для оценки скорости метеорного тела необходимо измерять положения максимумов дифракционной картины. Дисперсия оценки времени запаздывания для прямоугольного импульса длительностью  $\tau_u$ , ограниченного по спектру полосой  $\Delta f$ , приближено равна [11]:

$$\sigma_{\tau}^2 \approx \frac{\tau_u}{\Delta f (2E/N_0)}$$

Поэтому для повышения точности оценивания времени запаздывания необходимо увеличивать отношение  $\Delta f/\tau_u$ .

Применение синхронного фазового детектора в случае приема СГИ ТВ сигнала не представляется возможным в силу некогерентности начальной фазы импульсов. Поэтому необходимо применять детектор огибающей, что приводит к потерям в пороговом сигнале на 3 дБ.

Необходимое число отводов линии задержки определяется количеством импульсов накопления. Минимальная длительность метеорных отражений  $\tau_{\min}$  определяется длиной волны и скоростью метеорного следа [6]:

$$\tau_{\min} = 1,4 \frac{\sqrt{R\lambda}}{v}. \quad (6)$$

Для  $R=400$  км,  $\lambda=6$  м,  $v=40$  км/с минимальная длительность метеорных отражений равна 0,05 с. Тогда количество импульсов СГИ, пришедших за время  $\tau_{\min}$ , будет равно 780. Наиболее целесообразно реализовать линию задержки в цифровом виде после АЦП, при этом она может быть построена на регистрах сдвига или на рециркуляторе. Накопление 780 импульсов позволит увеличить отношение сигнал/шум на выходе обнаружителя в 28 раз. При этом в случае использования АЦП с разрядностью 16 бит шумами квантования можно будет пренебречь. Частота дискретизации АЦП должна быть не менее 350 кГц.

В результате оптимальный обнаружитель СГИ ТВ будет иметь вид, представленный на рис. 7.

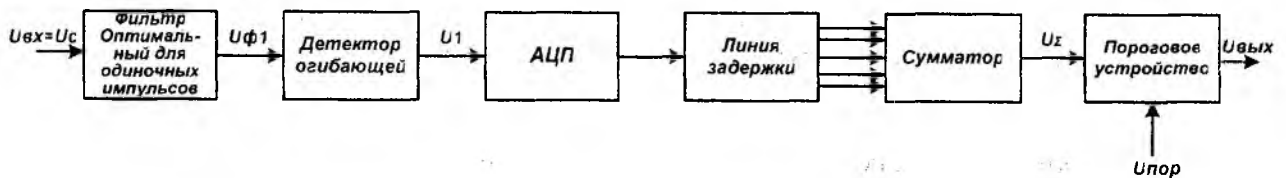


Рис. 7

### Синтез измерителя амплитуды отраженного сигнала

Для определения скорости метеорного тела и координат его радианта используют АВХ отраженного от него сигнала [6]. Поэтому возникает задача синтеза измерителя амплитуды отраженного сигнала. Так как амплитуда сигнала на выходе обнаружителя пропорциональна амплитуде на его входе, целесообразно синтезировать измеритель по схеме оптимального обнаружителя, причем совместив его с последним.

Структурная схема такого измерителя будет иметь вид, показанный на рис. 8.

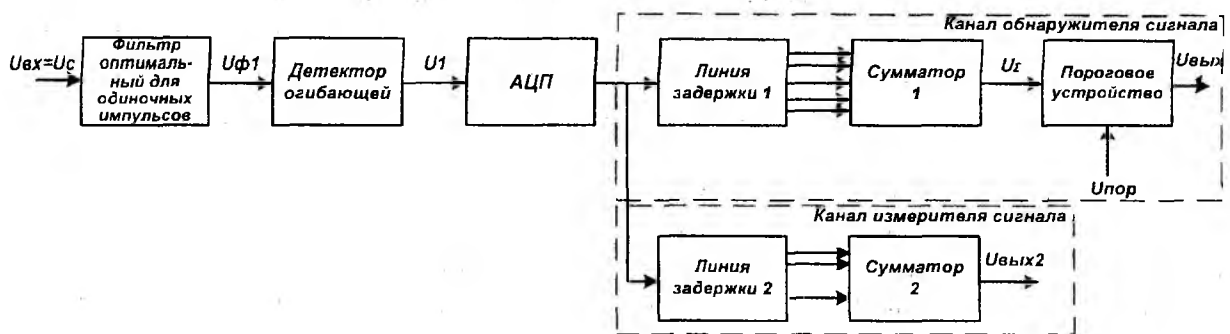


Рис. 8

Количество отводов второй линии задержки выбирается исходя из следующих соображений: количество точек при длительности  $t_{min}$  для удовлетворительной аппроксимации АВХ должно быть не менее 10. Поэтому количество отводов должно быть не более 80, что позволит увеличить отношение сигнал/шум до 9 раз.

Пороговая мощность сигнала [8]:

$$P_{пор} = \nu \frac{q_{пор} F_0}{\tau_{эф}}, \quad (7)$$

где  $\nu$  – потери связанные с неоптимальностью фильтра,  $\tau_{эф}$  – эффективная длительность импульса:

$$\tau_{эф} = \int_0^{\tau_{и}} P(t) dt / P_{и},$$

где  $P_{и}$  – импульсная мощность;  $\tau_{и}$  – длительность импульса по основанию;  $q_{пор}$  – пороговое отношение сигнал/шум:

$$q_{пор} = [1/N(1-D)][\ln(1/F) + (\sqrt{N}-1)\sqrt{2\ln(1/F)}],$$

где  $D$  и  $F$  – вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги соответственно.

Сравнение отношения сигнал/шум на выходе обнаружителей

Представляет интерес сравнение канала измерителя АВХ, построенного на основе квазиоптимального фильтрового обнаружителя (рис. 8) и обнаружителя на основе узкополосной фильтрации гармоника СГИ (рис. 9) [12].

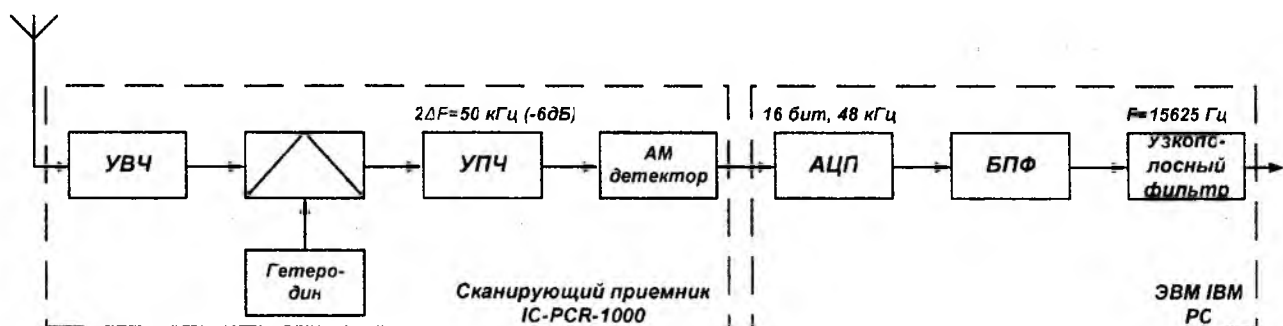


Рис. 9

Отношение сигнал шум на выходе фильтра [13]:

$$q^I_{\text{вых}} = \frac{\int_0^{\infty} S_{\text{сх}}(\omega) |K(j\omega)|^2 d\omega}{\int_0^{\infty} F_n(\omega) |K(j\omega)|^2 d\omega}, \quad (8)$$

где  $F_n(\omega)$  – спектральная плотность шума, так как шум белый нормальный, то  $F_n(\omega) = F_0$ .

Спектр СГИ описывается выражением

$$S_{\text{сх}}(\omega) = \frac{U_0(1 - e^{j(\omega - \omega_p)\tau_n})}{j(\omega - \omega_p)} \sum_{n=0}^{N-1} e^{-jn\omega T}. \quad (9)$$

Частотный коэффициент передачи фильтра [14]:

$$K(j\omega) = K_{\text{УВЧ}}(j\omega) \cdot K_{\text{УПЧ}}(j\omega) \cdot K_{\text{УФ}}(j\omega), \quad (10)$$

$$K_{\text{УВЧ, УПЧ, УФ}}(j\omega) = K_{\text{max}}^n e^{\frac{-(\omega - \omega_p)^2}{2\Delta\omega^2}} e^{-jn(\omega - \omega_p)/\Delta\omega}. \quad (11)$$

Для математического моделирования были приняты следующие параметры:

УВЧ –  $n=1$ ,  $K_{\text{max}}=30$ ,  $2\Delta\omega=5.7 \cdot 10^6 \text{ рад/с}$ ,  $\omega_p=2.85 \cdot 10^6 \text{ рад/с}$ ; УПЧ –  $n=3$ ,  $K_{\text{max}}=70$ ,  $2\Delta\omega=2.93 \cdot 10^5 \text{ рад/с}$ ,  $\omega_p=2.85 \cdot 10^6 \text{ рад/с}$ ; УФ –  $n=1$ ,  $K_{\text{max}}=1$ ,  $2\Delta\omega=201 \text{ рад/с}$ ,  $\omega_p=9.817 \cdot 10^4 \text{ рад/с}$ .

Отношение сигнал/шум на выходе квазиоптимального обнаружителя (рис. 8):

$$q^{II}_{\text{вых}} = \frac{0.815 \cdot U_0^2 \cdot \tau_{\text{ссу}} \sqrt{N}}{F_0}. \quad (12)$$

Спектр СГИ на выходе УВЧ и АЧХ УПЧ показаны на рис. 10.

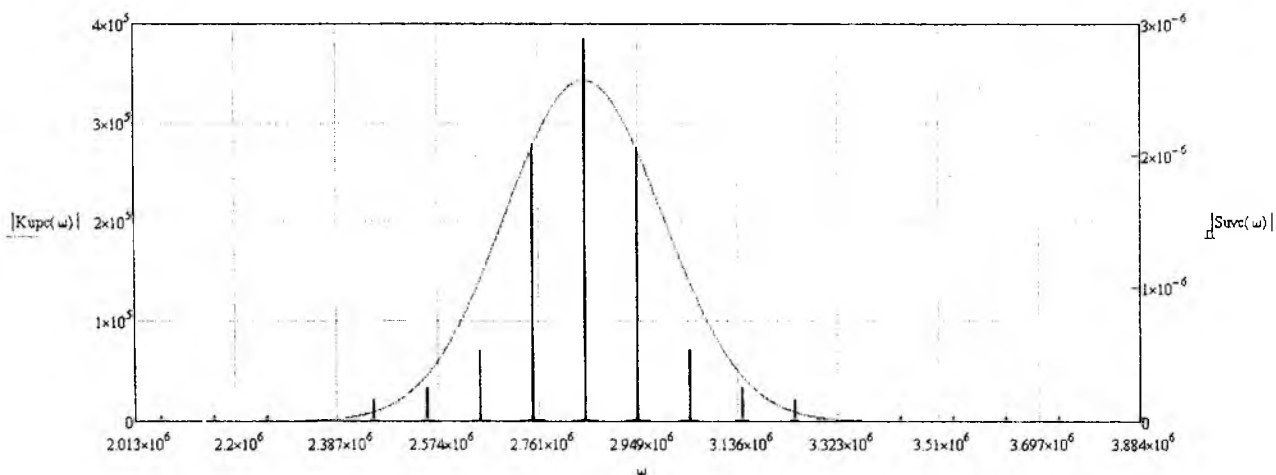


Рис. 10

Результаты моделирования приведены в табл. 2.

Таблица 2

	$N=80$	$N=780$
$q''_{\text{вых}} / q'_{\text{вых}}$	6дБ	11дБ

При использовании узкополосной фильтрации первых двух гармоник СГИ можно несколько увеличить отношение сигнал/шум (табл. 3).

Таблица 3

	$N=80$	$N=780$
$q''_{\text{вых}} / q'_{\text{вых}}$	5дБ	10дБ

По результатам математического моделирования видно, что использование обнаружителя по схеме рис. 8 по сравнению с обнаружителем по схеме рис. 9 дает выигрыш в отношении сигнал/шум, причем как в канале обнаружения так и в канале измерения.

### Выводы

1. Получена модель ТВ сигнала, учитывающая АВХ отражений от метеорных следов.
2. Выбрана структурная схема и параметры обнаружителя, учитывающие параметры СГИ и их изменение при отражении от метеорного следа на основании полученной модели.
3. Проведенное математическое моделирование двух обнаружителей показало, что синтезированный обнаружитель дает не менее чем на 5 дБ большее отношение сигнал/шум, чем используемая узкополосная фильтрация.

**Список литературы:** 1. *Yrjola I., Jenniskens P.*, 1998, Meteor Stream Activity VI. A survey of annual stream activity by means of forward meteor scatter, *Astronomy & Astrophysics* 330, 739-752. 2. *Jenniskens P.* Meteor Stream Activity. IV. Meteor outbursts and the Sun's reflex motion, *Astronomy & Astrophysics* 317, 1997, p.953-961. 3. *Антипов И.Е., Коваль Ю. А., Обельченко В.В.* Развитие теории и совершенствование радиометеорных систем связи и синхронизации. Х.: Коллегиум, 2006. 4. *Лыков Ю.В., Олейников А.Н.* Выбор оптимальной ориентации приемной антенны в разнесенной системе метеорной радиолокации при использовании ТВ сигналов // *Радиотехника*. 2008. Вып.152. С.72-77. 5. *Джасакония В.Е.* Телевидение: Учебник для ВУЗов. М.: Радио и связь, 1997. 640с. 6. *Кащеев Б.Л.* Метеорные явления в атмосфере Земли / *Б.Л. Кащеев, В.Н. Лебединец, М.Ф. Лагутин*. М.: Наука, 1967. 217с. 7. *Олейников А.Н., Лыков Ю. В.* Обработка телевизионных сигналов при метеорном распространении для выявления распределения длительностей метеорных отражений // 11-й Междунар. форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» // Сб. материалов форума. Харьков: ХНУРЭ, 2007. Ч.1. С. 30. 8. *Сосулин Ю.Г.* Теоретические основы радиолокации и радионавигации. Учебное пособие. М.: Радио и связь, 1992. 308с. 9. *Белоцерковский Г.Б.* Основы радиолокации и радиолокационные устройства. М.: Сов.Радио, 1975. 336с. 10. *Лезин Ю.С.* Введение в теорию и технику радиотехнических систем: Учеб. пособие. М.: Радио и связь, 1986. 280 с. 11. *Тихонов В.И.* Статистическая радиотехника. М.: Сов. радио, 1966. 680с. 12. *Олейников А.Н., Сосновчик Д.М., Лыков Ю.В.* Исследование притока метеорного вещества с использованием системы разнесенной радиолокации // 1-я Междунар. конференция «Глобальные информационные системы. Проблемы и тенденции развития»: Сб. материалов конференции Харьков: ХНУРЭ, 2006. 470с. 13. *Баскаков С.И.* Радиотехнические сигналы и цепи: Учеб. пособие. М.: Радио и связь, 2002. 216с. 14. *Гоноровский И.С.* Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для ВУЗов. М.: Радио и связь, 1986. 512с.

Харьковский национальный  
университет радиозлектроники

Поступила в редколлегию 31.07.2009