

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ УКРАИНЫ

ОДЕССКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СВЯЗИ им. А.С. ПОПОВА

На правах рукописи.

АЛЬ АБУДУЛЛАХ АБДЕЛЬ МОНЕМ

(Республика Сирия)

УДК 621.396.43.037.372:621.391

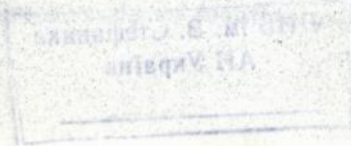
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ
В СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ

05.12.02 – Системы и устройства передачи
информации по каналам связи

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Одесса 1993



621.39



00330578 (Q)

Работа выполнена в Одесском институте связи им. А.С. Попова

Научный руководитель - канд. техн. наук, доцент Бундур В.В.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, доцент Данилович О.С.

- кандидат технических наук, доцент Игаченко П.В. (Одесский электротехнический институт связи им. А.С. Попова)

Будущее предприятие - Одесский научно-исследовательский институт связи

Защита состоится "24" марта 1993 г. в 10⁰⁰ часов на заседании Специализированного Совета КТ18.05.01 Одесского электротехнического института связи им. А.С. Попова.

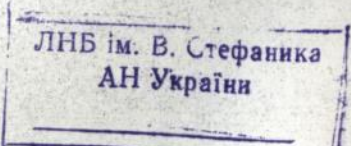
Адрес: 270021, Одесса, ул. Челюскинцев, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "24" февраля 1993 г.

Ученый секретарь
Специализированного Совета
кандидат технических наук,
профессор

П.П. Воробийко



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Повышение эффективности систем радиосвязи различного назначения по-прежнему остается одной из решающих задач, стоящих перед теорией и практикой передачи сигналов. Это объясняется прежде всего тем, что к настоящему времени все традиционные диапазоны, предназначенные для радиосвязи, значительно перегружены. В частности, спутниковые системы связи (ССС) с первых лет своего существования работают в тех же диапазонах, что и радиорелейные линии прямой видимости (РРЛ), создавая проблему электромагнитной совместимости (ЭМС). Темпы освоения новых диапазонов не соответствуют непрерывно возрастающей потребности цивилизованных стран в каналах связи.

В этих условиях на первый план выдвигается проблема повышения эффективности существующих и вновь создаваемых систем радиосвязи, предназначенных для работы в освоенных участках диапазона. За последнее десятилетие научная мысль добилась в этой области заметных успехов. Предложены оригинальные способы кодирования и декодирования, найдены и реализованы субоптимальные методы модуляции и обработки сигналов, позволившие приблизиться к теоретическому пределу эффективности. Наиболее совершенные разработки представляют собой саморегулирующиеся системы и базируются на применении микропроцессоров, т.е. по существу представляют собой специализированные ЭВМ. Однако следует заметить, что не во всех случаях необходимо стремиться к созданию сложных систем и отвергать простые как менее совершенные. В ряде случаев оправдан поиск более простых систем, которые совмещают разумную степень совершенства с экономической эффективностью. В первую очередь это может касаться проблемы создания цифровой сети на основе существующих

аналоговых РРЛ без их существенной и дорогостоящей реконструкции, что в настоящее время является актуальным для многих регионов. Исследование этого вопроса позволит определить потенциальные возможности аналоговых стволов РРЛ, если рассматривать их как средство для передачи цифровой информации. Подобные исследования предполагают также согласование спектра цифрового сигнала с каналом связи и повышение спектральной эффективности на основе выбора формы сигнала и оптимизации параметров используемого метода модуляции без каких-либо изменений приемно-передающего оборудования аналоговых радиорелейных систем последнего поколения. Полученные результаты могут оказаться пригодными для повышения эффективности ССС и систем радиосвязи с подвижными объектами.

Цель работы и задачи исследования. Целью диссертационной работы является проведение исследований, направленных на выяснение возможностей повышения эффективности существующих и проектируемых цифровых систем радиосвязи.

Для достижения поставленной цели в диссертации решаются следующие задачи:

- обобщение и анализ известных цифровых систем передачи, количественная оценка их эффективности;
- выбор сигналов, способствующих повышению эффективности систем передачи информации;
- анализ влияния неидеальности приемных устройств на достоверность передачи цифровой информации;
- разработка метода расчета искажений мгновенной частоты ЧМ сигнала в линейных цепях при произвольной форме модулирующей функции;
- выбор и обоснование критерия оценки степени влияния

межсимвольной интерференции (МСИ) на помехоустойчивость передачи цифровых потоков;

- разработка алгоритма расчета величины МСИ при передаче цифровых потоков методом ЧМ по реальным трактам систем радиосвязи;
- исследование влияния искажений характеристик тракта УПЧ на величину МСИ при передаче цифровой информации методом ЧМ;
- разработка методики расчета зависимости МСИ от селективных замираний при смещении интерференционного минимума вдоль оси частот (сигнатурная характеристика).

Методы исследования. При решении сформулированных задач в диссертационной работе использовались основные положения теории передачи сигналов, методы математического анализа и аппроксимации функций, математическое моделирование.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем.

1. Предложен новый класс сигналов для использования в цифровых системах с АМ ОБП, отличающихся высокой γ - эффективностью.
2. Получено выражение в замкнутом виде, связывающее величину МСИ с отклонением фазы опорного колебания.
3. Разработан новый метод расчета искажений формы выходного сигнала при произвольном виде частотного импульса в цифровых системах с ЧМ.
4. Предложен алгоритм и составлена программа расчета МСИ на выходе приемника при произвольных искажениях линейных характеристик тракта УПЧ.
5. Разработана методика расчета сигнатурных характеристик цифровых систем радиосвязи.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

- разработанная программа расчета величины МСИ на выходе линейного тракта цифровых систем передачи методом ЧМ может быть использована при проектировании и оптимизации новых цифровых систем и их отдельных узлов;

- разработанная методика расчета сигнатурных характеристик позволяет сравнивать различные цифровые системы радиосвязи и определять их соответствие требованиям МКГР;

- результаты расчетов влияния селективных замираний на величину МСИ могут быть использованы при конструировании адаптивных эквалайзеров для уточнения требований к точности их работы.

Вклад автора. Основные научные положения, результаты теоретических исследований, выводы и рекомендации, содержащиеся в диссертационной работе, получены автором самостоятельно.

Апробация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались: в школе-семинаре "Методы разработки программного обеспечения микропроцессорных систем" (Одесса, 4-6 сентября 1990г.); на 45, 46 и 47-й научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников института (Одесса, 1990-1992гг.); на научном семинаре кафедры СРС Одесского электротехнического института связи им. А.С.Попова

Публикации. Основные результаты диссертационной работы отражены в 5 публикациях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка используемой литературы. Текст изложен на страницах, иллюстрирован рисунками. Список литературы включает наименований.

Основные результаты и положения, выносимые на защиту.

1. Метод расчета формы сигнала на выходе приемника при прохождении цифрового ЧМ сигнала через тракт с линейными искажениями.
2. Математическая модель радиотракта и программа расчета МСИ в цифровых системах с ЧМ.
3. Методика расчета сигнатурных характеристик цифровых систем радиосвязи.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, определены научная новизна, практическая ценность и область применения результатов исследования. Приведены сведения об апробации работы, структуре и объеме диссертации.

Первая глава носит обзорный характер и посвящена анализу перспективных методов модуляции в современных цифровых системах радиосвязи. Основное внимание уделяется методам модуляции, обладающим минимальным внеполосным излучением и постоянной огибающей. Для полосно-ограниченных систем целесообразно использовать селективные сигналы и сигналы с частичным откликом. Такие сигналы используются в дальнейших исследованиях.

Вторая глава посвящена методам коррелятивного кодирования в системах с АМ ОБП, которые совместно с многоуровневым кодированием обеспечивает формирование модулирующего сигнала с контролируемой МСИ. В качестве аналогового переносчика цифровой информации выбран сигнал с частичным откликом класса 4, имеющий форму

$$g(t) = \left(\frac{2bT^2}{\pi} \right)^2 \frac{\sin(\pi t/T)}{t^2 - T^2} \quad (1)$$

и спектральную плотность

$$G(j\omega) = \begin{cases} -j2bT \sin \omega T, & |\omega| < \pi/T \\ 0, & |\omega| > \pi/T \end{cases} \quad (2)$$

где b - значение сигнала при $t = -T$ и T - длительность тактового интервала. При двоичном алфавите такая система занимает полосу $\Delta f = 1/2T$ и теоретически не обладает внеполосными излучениями. Число уровней равно трем цифрам последовательности наблюдается значительная межсимвольная информационная связь, которая может быть использована для повышения помехоустойчивости при демодуляции. γ - эффективность составляет 2 (бит/с)/Гц.

На выходе синхронного демодулятора сигнал имеет вид

$$u(t) = \frac{1}{2} \sum_{\kappa} a_{\kappa} [g(t + \kappa T) \cos \Delta\psi - \hat{g}(t + \kappa T) \sin \Delta\psi],$$

где $\hat{g}(t)$ - преобразование Гильберта функции $g(t)$; $a_{\kappa} = \pm 1; \pm 3; \dots; \pm m$ - коэффициенты, соответствующие переданным символам; $\Delta\psi$ - фазовая ошибка опорного колебания. Преобразование Гильберта сигнала с частичным откликом класса 4 имеет вид

$$\hat{g}(t) = -\left(\frac{2bT^2}{\pi}\right) \frac{\cos(\pi t/T) + 1}{t^2 - T^2} \quad (3)$$

Для $t = \pm T; \pm 3T; \dots \pm (2K-1)T$ функция $\hat{g}(t) = 0$.

Максимальная величина МСИ в момент отсчета согласно D - критерию равна

$$D = m \left[|\hat{g}(0)| + 2 \sum_{K=2,4,6,\dots} |\hat{g}(KT)| \right] \sin \Delta\varphi = \frac{\theta \rho b |\sin \Delta\varphi|}{\pi} \quad (4)$$

Вертикальный раскрыв глаз-диаграммы в момент отсчета определяется по формуле

$$E = 2b \cos \Delta\varphi \left[1 - (\theta m/\pi) |\operatorname{tg} \Delta\varphi| \right]$$

Приведены графики зависимости относительного вертикального раскрыва глаз-диаграммы δ от фазовой ошибки опорного колебания $\Delta\varphi$.

В третьей главе рассматриваются вопросы, связанные с прохождением ЧМ сигналов с непрерывной фазой через частотно-ограниченный радиотракт с линейными искажениями.

Частотно-модулированный сигнал с непрерывной фазой может быть представлен в следующей весьма общей форме

$$s(t; \vec{a}_i) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos [\omega_0 t + \theta(t; \vec{a}_i) + \varphi_0], \quad (5)$$

где

$$\theta(t; \vec{a}_i) = 2\pi \sum_{j=1}^i a_j h_j q [t - (j-1)T] -$$

фазовая траектория сигнала, т.е. зависимость информационной составляющей полной фазы ЧМ сигнала от времени; E - энергия сигнала на одном тактовом интервале длительностью T ; ω_0 ,

φ_0 - несущая частота и начальная фаза соответственно; h_j - индекс модуляции на j -м тактовом интервале; $\vec{a}_j = [a_1, a_2, \dots, a_i]^T$ - вектор m -ичных информационных символов, где $a_j = \pm 1; \pm 3; \dots; \pm(m-1)$.

Функция $g(t)$ описывает характер изменения фазы высокочастотного сигнала, которое происходит при воздействии некоторого информационного символа. Индекс модуляции h_j , являющийся множителем функции $g(t)$, представляет собой максимальное изменение фазы за j -й тактовый интервал.

Изменение фазы ЧМ сигнала может быть представлена в виде

$$g(t) = \int_0^t g(\tau) d\tau, \quad (6)$$

где $g(t)$ - частотный импульс, отражающий форму изменения мгновенной частоты при передаче дискретных сигналов. Существует обширный класс функций $g(t)$, которые обеспечивают непрерывность фазы ЧМ сигнала. Наиболее известные из этих функций рассмотрены в диссертационной работе. Все они обладают свойством селективности (удовлетворяют критерию Найквиста) либо вносят контролируемую межсимвольную интерференцию, т.е. относятся к классу сигналов с частичным (парциальным) откликом.

Пусть частотный импульс представлен периодической функцией $g_p(t) \quad t \in [0, P]$, которую можно записать в виде ряда Фурье

$$g_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jn\Omega t},$$

где

$$\Omega = 2\pi/P \quad \text{и} \quad c_n = \frac{1}{P} \int_0^P g_p(t) e^{-jn\Omega t} dt.$$

Тогда информационную составляющую полной фазы ЧМ колебания можно записать следующим образом

$$\theta(t) = 2\pi \Delta f \int_0^t \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jn\Omega\tau} d\tau \quad (7)$$

Коэффициенты c_n могут быть получены в результате БПФ решетчатой функции $g_p(k\Delta t)$ $k = \overline{0, N-1}$, $\Delta t = P/N$.

В этом случае

$$\theta(t) \pm \frac{Nh}{8} \sum_{n=1}^{n_1} \frac{2}{n} \operatorname{Re} [G_p(jn\Omega)] \sin n\Omega t \quad (8)$$

Выражение (8) получено на основании известных соотношений, если предположить, что функция $g_p(t)$ является четной

$$g_p(t) = a_{g_0}/2 + \sum_{n=1}^{n_1} a_{g_n} \cos n\Omega t$$

$$a_{g_0}/2 = \operatorname{Re} [G_p(0)] ;$$

$$a_{g_n} = 2\operatorname{Re} [G_p(jn\Omega)] ; n = \overline{1, n_1} ; n_1 < N/2$$

$$\operatorname{Im} [G_p(jn\Omega)] = 0 ; n = \overline{0, N-1} .$$

Как известно, ЧМ колебание (5) может быть представлено в виде двух квадратурных АМ колебаний

$$\begin{aligned} S(t) &= A_0 \cos [\omega_0 t + \theta(t) + \varphi_0] = \\ &= A_0 A(t) \cos (\omega_0 t + \varphi_0) - A_0 B(t) \sin (\omega_0 t + \varphi_0) , \end{aligned} \quad (9)$$

где $A(t) = \cos \theta(t)$, $B(t) = \sin \theta(t)$.

Без потери общности можно положить $A_0 = 1$ и $\varphi_0 = 0$. Периодические функции $A(t)$ и $B(t)$ также можно разложить в ряд Фурье

$$A(t) = \frac{a_{c0}}{2} + \sum_{n=1}^{n_2} a_{cn} \cos n\Omega t, \quad B(t) = \sum_{n=1}^{n_2} b_{sn} \sin n\Omega t. \quad (10)$$

Для расчета коэффициентов в (10) можно воспользоваться ВПФ функций $A(k\Delta t)$ и $B(k\Delta t)$ $k = \overline{0, N-1}$, $\Delta t = P/N$.

$$a_{c0}/2 = \operatorname{Re} [X_c(jn\Omega)], \quad n = 0;$$

$$a_{cn} = 2\operatorname{Re} [X_c(jn\Omega)], \quad n = \overline{1, n_2};$$

$$b_{sn} = 2\operatorname{Re} [X_s(jn\Omega)], \quad n = \overline{1, n_2}, \quad n_2 < N/2.$$

После несложных тригонометрических преобразований можно получить спектр ЧМ колебания с непрерывной фазой

$$S(t) = \frac{a_{c0}}{2} \cos \omega_0 t + \sum_{n=1}^{n_2} \frac{a_{cn} + b_{sn}}{2} \cos (\omega_0 + n\Omega) t + \\ + \sum_{n=1}^{n_2} \frac{a_{cn} - b_{sn}}{2} \cos (\omega_0 - n\Omega) t. \quad (11)$$

Легко заметить, что для получения спектра ЧМ колебания (11) не использовались, как это обычно делается, функции Бесселя, которые усложняют расчеты.

Линейные искажения радиотракта, следствием которых является ЧСИ, проявляются в виде ограничения спектра, неравномерности АЧХ и нелинейности ФЧХ.

Для определения закона изменения мгновенной частоты на выходе радиотракта необходимо вернуться к исходной форме записи (9) ЧМ колебания:

$$S_1(t) = A_1(t) \cos \omega_0 t - B_1(t) \sin \omega_0 t = \\ = \sqrt{A_1^2(t) + B_1^2(t)} \cos [\omega_0 t + \theta_1(t)], \quad (12)$$

где

$$A_1(t) = a_{1c0}/2 + \sum_{n=1}^{n_2} a_{1cn} \cos n\Omega t ,$$

$$B_1(t) = \sum_{n=1}^{n_2} b_{1sn} \sin n\Omega t ,$$

$$a_{1cn} = \frac{a_{cn} + b_{sn}}{2} K_n^+ + \frac{a_{cn} - b_{sn}}{2} K_n^- ,$$

$$b_{1sn} = \frac{a_{cn} + b_{sn}}{2} K_n^+ - \frac{a_{cn} - b_{sn}}{2} K_n^- ,$$

K_0 , K_n^+ и K_n^- - значения АЧХ радиотракта на частотах ω_0 , $\omega_0 + n\Omega$ и $\omega_0 - n\Omega$ соответственно.

Нормированное значение информационного изменения мгновенной частоты на выходе тракта, пропорциональное напряжению на выходе демодулятора, можно определить по формуле

$$\Delta\omega_{1H}(t) = \frac{A_1(t)B'_{1H}(t) - A'_{1H}(t)B_{1H}(t)}{A_1^2(t) + B_1^2(t)} , \quad (13)$$

где

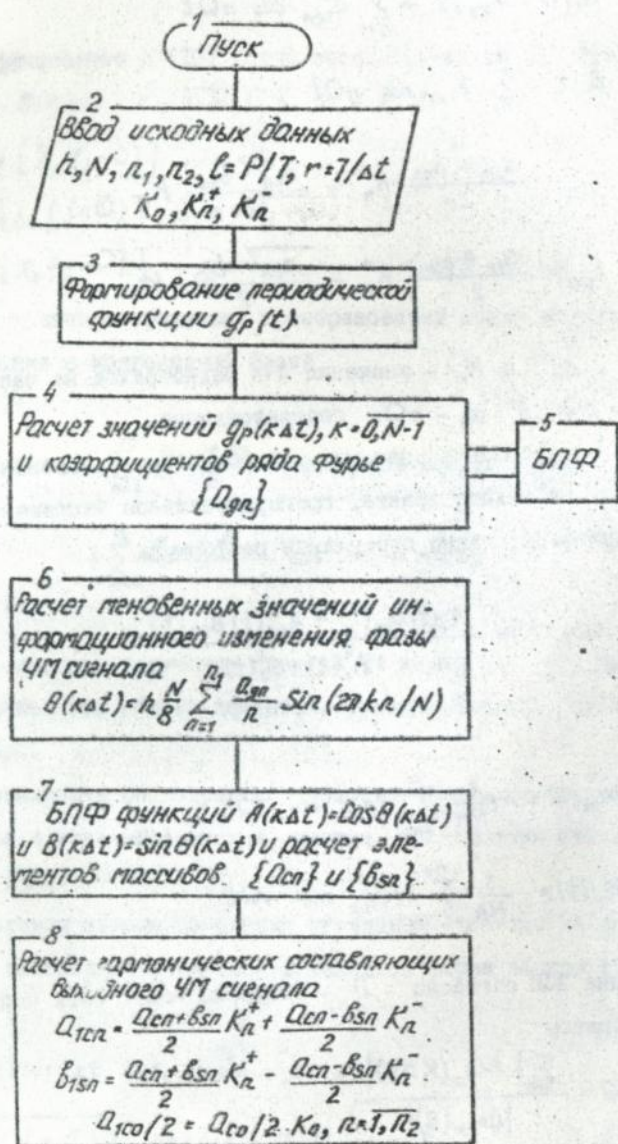
$$A'_{1H}(t) = -\frac{\delta}{Nh} \sum_{n=1}^{n_2} n a_{1cn} \sin n\Omega t ,$$

$$B'_{1H}(t) = \frac{\delta}{Nh} \sum_{n=1}^{n_2} n b_{1sn} \cos n\Omega t .$$

Величина МСИ согласно D - критерию может быть найдена следующим образом

$$D = \frac{\sum_{K \neq 0} |\Delta\omega_{1H}(K\Delta t)|}{|\Delta\omega_{1H}(0)|} \quad (14)$$

Алгоритм расчета МСИ представлен на рис. I.



①

Рис. I

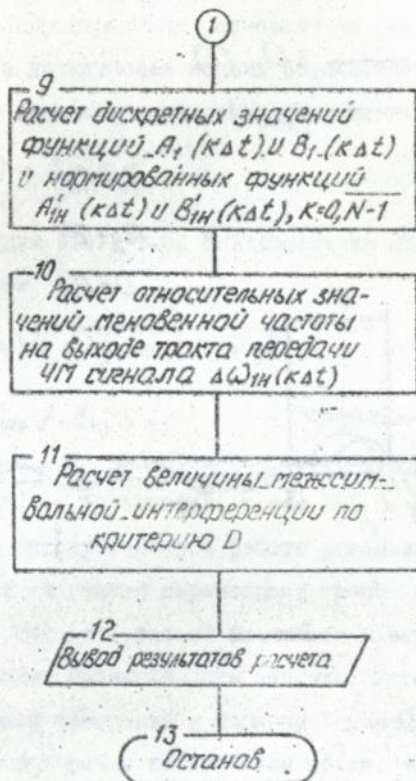


Рис. 1
(продолжение)

Программа расчета написана на алгоритмическом языке Паскаль и приведена в Приложении I диссертационной работы.

На рис.2 приведена иллюстрация искажения закона изменения мгновенной частоты при ограничении спектра ЧМ сигнала. Зависимость МСИ от степени ограничения спектра при различных индексах модуляции показана на рис.3.

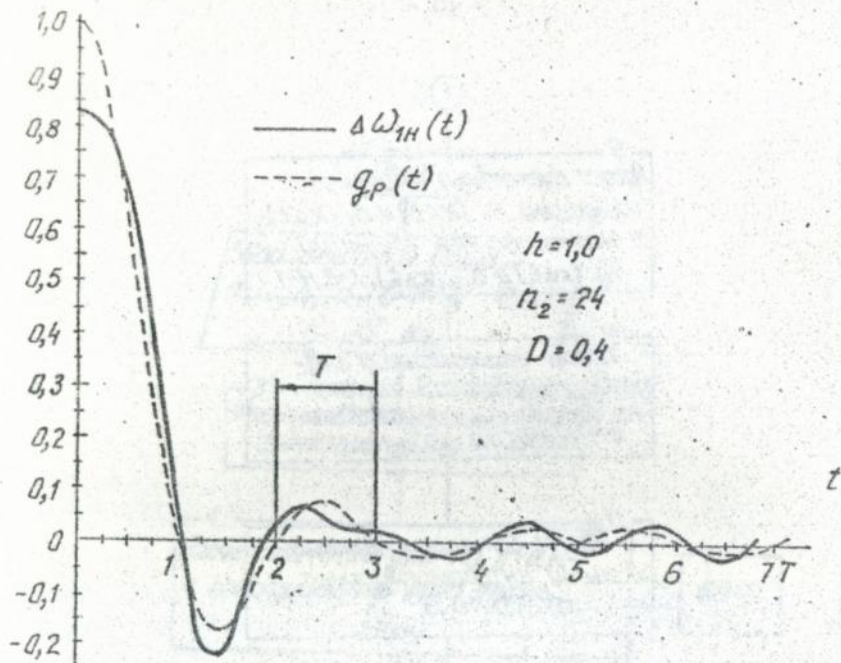


Рис. 2

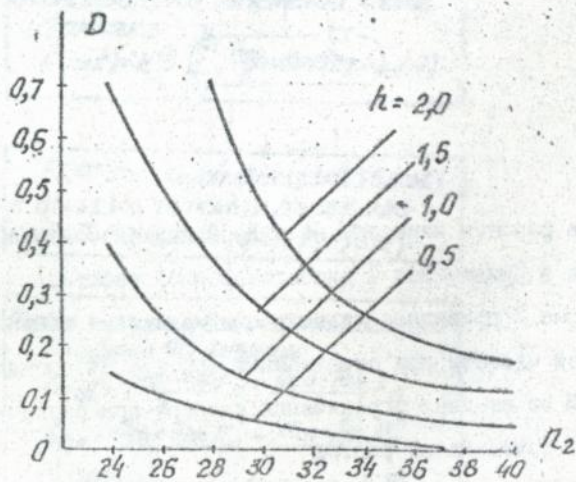


Рис. 3

В четвертой главе исследуется влияние селективных замираний на трассе распространения радиоволн на величину МСИ. В исследованиях принята двухлучевая модель распространения радиоволн.

Коэффициент передачи среды распространения равен

$$H(j\omega) = 1 + \varphi e^{j\omega\tau} \quad (15)$$

Модуль функции (15), т.е. эквивалентная АЧХ пролета, определяется выражением

$$A(\omega) = \sqrt{1 + 2\varphi \cos \omega\tau + \varphi^2}$$

где $\varphi = E_{отр} / E_{пр}$ - коэффициент отражения от поверхности земли; τ - запаздывание отраженного сигнала. Величина τ для подавляющего большинства трасс РРД находится в интервале τ 1-6,3 нс. В диссертационной работе устанавливается связь между величиной τ и такими параметрами трассы как протяженность, геометрический просвет, рельеф местности и вертикальный градиент диэлектрической проницаемости воздуха. Установлена зависимость между глубиной замираний и шириной "провала" в АЧХ. Показано, что селективные замирания проявляются тогда, когда скорость передачи информации превышает 34,368 Мбит/с. При относительно малых скоростях можно говорить о гладких замираниях, интенсивность которых снижают с помощью обычной схемы АРУ.

Влияние селективных замираний на достоверность передачи цифровой информации была исследована при помощи математической модели, разработанной в третьей главе диссертационной работы. Зависимость МСИ от глубины замираний и величины сдвига интерференционного минимума представлена на рис.4. Среднее значение вероятности ошибки при воздействии МСИ и межканальной помехи может быть рассчитано по формуле

ЛНВ ім. В. Стефаніка
АН України

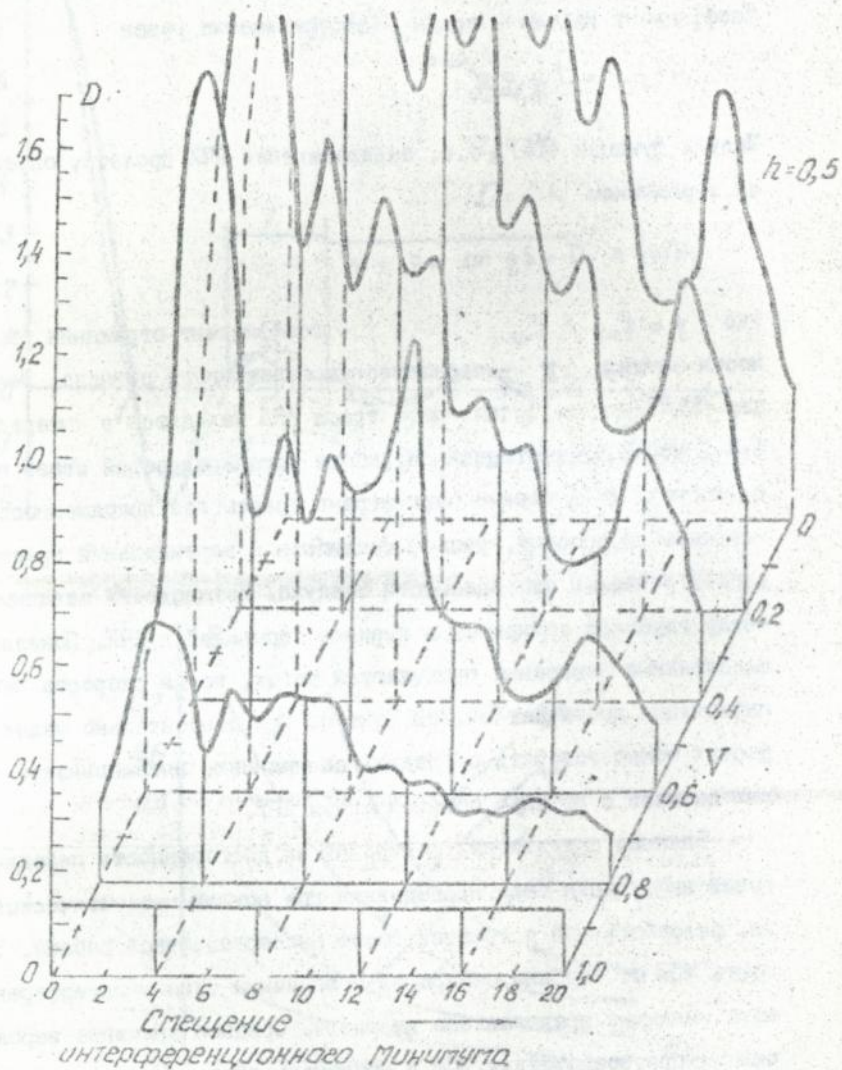


Рис. 4

$$P_e = Q \left(\frac{(A g(t_0) + ISI + ACI) / \sigma_n}{\sigma_n} \right), \quad (16)$$

где

$$g(t) = f(t) * h_T(t) * h_R(t),$$

$$ISI = A \sum_{i \neq 0} a_{oi} g(t_0 - iT),$$

$$ACI = x_i(t_0) + x_{-i}(t_0),$$

$$\sigma_n^2 = N_b / 2 \int_{-\infty}^{\infty} |H_R(f)|^2 df,$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-y^2/2) dy, \quad A = \sqrt{E_b / T_b}$$

Оценивать качественные показатели систем радиосвязи с точки зрения выполнения требований МЦКР в условиях замираний, а также сравнивать эти системы удобно на основании сигнатурной характеристики (рис.5). В диссертационной работе разработана методика расчета сигнатурных характеристик систем радиосвязи и рассмотрены современные методы борьбы с замираниями.

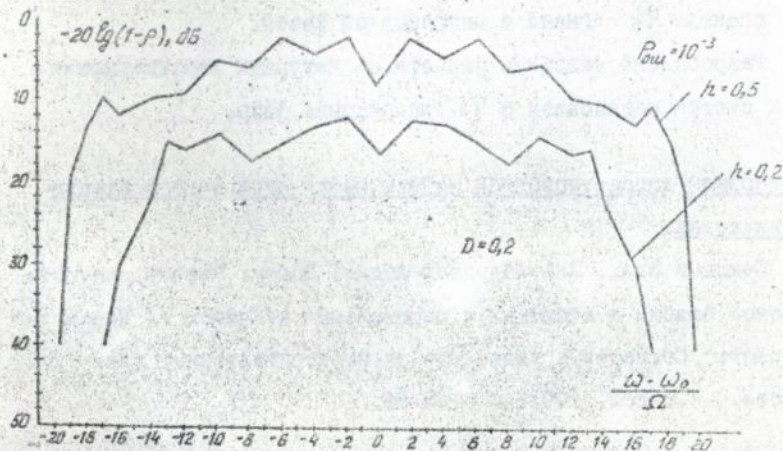


Рис. 5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты проведенных в диссертационной работе исследований состоят в следующем.

1. Рассмотрена система радиосвязи с АЧ ОБП, обладающая высокой спектральной эффективностью, и получено в замкнутой форме выражение для определения МСИ, возникающей вследствие фазовой ошибки опорного колебания.

2. Предложен метод расчета формы частотного импульса цифрового сигнала, передаваемого методом ЧМ с непрерывной фазой, на выходе радиотракта с линейными искажениями.

3. Разработана математическая модель радиотракта и программа расчета МСИ, возникающей вследствие линейных искажений в этом радиотракте.

4. Исследована зависимость МСИ от индекса модуляции при передаче ЧМ сигнала с непрерывной фазой через частотно-ограниченный тракт.

5. Исследована зависимость МСИ от глубины селективных замираний при плавном смещении интерференционного минимума вдоль частотного спектра ЧМ сигнала с непрерывной фазой.

6. Разработана методика расчета сигнатурных характеристик цифровых систем радиосвязи с ЧМ без разрыва фазы.

Материалы диссертационной работы нашли отражение в следующих публикациях:

1. Сукачев Э.А. Аль Абдуллах Абдель Монем. Расчет допустимой фазовой ошибки в системах с парциальным откликом // Информатика и связь: Сб. научн. трудов./Одесск. электротехн. ин-т связи им. А.С. Попова. - Одесса, 1991. - с.33-36.

2. Аль Абдуллах Абдель Монеи. Исследование частотных характеристик радиотракта на трассе с замираниями/Одесск.электротехн. ин-т связи им.А.С.Попова, М., 1993, 16с., ил.Библиогр.7 назв. (Рукопись деп. в ЦИТИ Информсвязь 18.01.93г. Деп. от № 1955 - св 93г.) (Рус.).

3. Аль Абдуллах Абдель Монеи. Исследование влияния ограничения полосы частот на величину МСИ в системах с ЧМ без разрыва фазы, 1993. - Деп. в УкрІНЕІ (в печати).

4. Сукачев Э.А., Скопа А.А., Аль Абдуллах Абдель Монеи, Сирый Р.Н. Исследование влияния характеристик линейного радиотракта на качество передачи цифровых сигналов методом ЧМ/Одесск.электротехн.ин-т связи им.А.С.Попова, М., 1993, 77с., ил.Библиогр. 10 назв.(Рукопись деп. в ЦИТИ Информсвязь 18.01.93 г. Деп. от № 1954 - св 93г.) (Рус.).

5. Сукачев Э.А., Скопа А.А., Аль Абдуллах Абдель Монеи, Сирый Р.Н. Исследование влияния искажений характеристик тракта ПЧ на величину МСИ при передаче цифрового сигнала методом ЧМ, 1993. - Деп. в УкрІНЕІ (в печати).

Подписано к печати 22.02.93 года.
Объем 0,82 печ. л. Формат 60x84¹/16.
Заказ 43. Тираж 100.

Типография Одесского электротехнического института связи
им. А.С.Попова. Одесса, Старопортофранковская, 61

246 568

AB 26.865

AB 26.865