

6
А 66

209

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СВЯЗИ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА

Б. А. САВЕЛЬЕВ

На правах рукописи

**Сравнение многопозиционных и
двоичных способов
и систем передачи**

№ 05.304—Системы и средства передачи
информации по каналам связи

*Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук*

ЛЕНИНГРАД
1971

Министерство связи Союза ССР
Ленинградский электротехнический институт связи
им. проф. М.А.Бонч-Бруевича

Б.А.Савельев

На правах рукописи

СРАВНЕНИЕ МНОГОПОЗИЦИОННЫХ И ДВОИЧНЫХ
СПОСОБОВ И СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

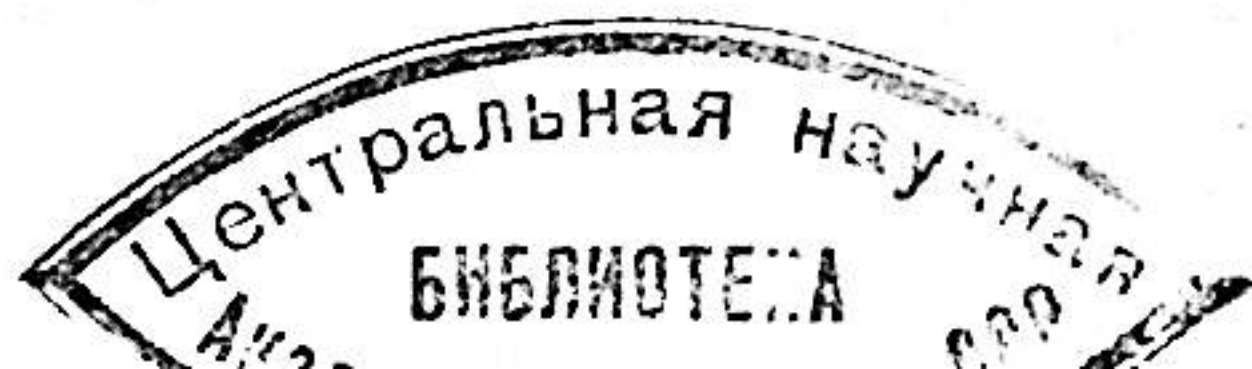
№ 05.304 - Системы и средства передачи
информации по каналам связи

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ленинград

1971



С развитием автоматизации и механизации труда, развитием вычислительной техники возросло количество информации, которое необходимо передать на различные расстояния.

Возросли и требования к точности передачи данных. Передача данных потребовала иного подхода к скорости и достоверности передачи по существующим и вновь создаваемым каналам связи. Большое количество информации и автоматизированные системы управления, работающие в реальном масштабе времени, вызвали необходимость в увеличении пропускной способности существующих каналов связи.

Высокая скорость и большая достоверность передачи побудили к разработке новых методов передачи, к более тонкому изучению характеристик каналов и статистических свойств помех в них. Появились корректирующие устройства, улучшающие частотные характеристики каналов связи; различные методы кодирования, обеспечивающие требуемое повышение достоверности передачи; более интенсивно стали разрабатываться оптимальные методы приема. Для повышения пропускной способности стали применять сложные виды модуляции (амплитудно-частотную, фазо-частотную и т.д.), многопозиционные способы передачи.

Задачей настоящей работы является исследование эффективности многопозиционных способов и систем передачи в условиях воздействия флюктуационных или импульсных помех. Эффективность их сравнивается с эффективностью эквивалентных двоичных систем и способов передачи.

Диссертация в основном посвящена:

- исследованию помехоустойчивости двоичных и многопозиционных способов передачи при воздействии флюктуационных помех;

- исследованию помехоустойчивости многопозиционных и двоичных способов передачи при воздействии импульсных помех;

- сравнению двоичных и многопозиционных систем передачи с обратной связью, работающих на каналах с импульсными помехами;

- экспериментальной проверке эффективности некоторых многопозиционных способов передачи и верности выведенных выражений для расчета помехоустойчивости и достоверности передачи.

Диссертационная работа состоит из введения и четырех глав.

Первая глава диссертации посвящена классификации многопозиционных систем, экономической целесообразности их применения и постановке задач исследования.

Расширяется предложенная Л.М.Финком классификация многопозиционных систем передачи, в соответствии с которой системы делятся на 2 группы ("Мелодия" и "Аккорд").

В зависимости от вида модуляции вторая группа систем подразделяется на системы типа "Аккорд АТ" (АТ - амплитудная телеграфия) и "Аккорд ЧТ" (ЧТ - частотная телеграфия). Эти группы предлагается расширить за счет систем параллельной и параллельно-последовательной передачи данных. В системах параллельной передачи все посылки комбинации посылаются одновременно, а в системах параллельно-последовательной передачи комбинация содержит более одного последовательного элемента, которые состоят из нескольких параллельных. В зависимости от способа приема системы передачи можно разделить на избыточные и безизбыточные.

Показывается экономическая целесообразность применения многопозиционных способов передачи. Отмечается, что системы параллельной передачи целесообразно применять на низовых пунктах сбора данных, где достаточны скорости передачи до 75 зн/сек. Простота, высокая надежность и низкая стоимость обеспечили им широкое распространение в США, Швеции и других странах. Еще большие перспективы имеют системы параллельно-последовательной передачи, как по диапазону скоростей передачи, так и качеству передачи.

Во второй главе исследуется помехоустойчивость двоичных и многопозиционных способов передачи при воздействии флюктуационных помех.

Чтобы сравнить помехоустойчивость двоичных и многопозиционных систем и способов передачи предлагается критерий, названный критерием эквивалентности. В соответствии с ним у сравниваемых систем берутся равными скорости передачи

информации источником сообщений

$$I(x) = \frac{1}{t} \log W \quad (I)$$

при фиксированной мощности сигнала в канале, где $I(x)$ - скорость передачи информации источником сообщений, t - среднее время передачи одного сообщения, W - объем алфавита.

Преимущество предлагаемого критерия перед известными состоит в том, что у сравниваемых систем фиксируются параметры, несвязанные с характеристиками канала связи, т.е. легко осуществляется их равенство. Критерий эквивалентности обеспечивает равенство или соизмеримость и многих других характеристик у сравниваемых систем передачи (занимаемая полоса частот, пропускная способность систем передачи и т.д.), что и подчеркивается названием критерия.

Системы и способы передачи сравниваются по следующим параметрам:

- 1) помехоустойчивость передачи посылок и комбинаций,
- 2) достоверность передачи информации,
- 3) пропускная способность систем передачи,
- 4) общая занимаемая полоса частот.

Применительно к системам параллельной и параллельно-последовательной передачи данных анализируется помехоустойчивость приема на амплитудный и частотный детекторы, а также прием методом сравнения уровня в ветви с сигналом с уровнями остальных ветвей (прием методом общего сравнения). При этом системы передачи в зависимости от способа

приема подразделяются на безизбыточные и избыточные. При приеме на амплитудные детекторы параллельного сообщения по n каналам возможна регистрация любой из 2^n комбинаций (независимо от W на передаче). Если передается 2^n комбинаций, система названа безизбыточной, а при передаче $W < 2^n$ комбинаций - избыточной.

Частотную модуляцию в многопозиционных системах можно применить тогда, когда число одновременно посылаемых частот в 2 раза меньше числа используемых. На приеме всегда фиксируется $2^{n/2}$ возможных комбинаций, ошибка в которых без дополнительного кодирования не обнаруживается. Поэтому такая система передачи названа безизбыточной.

Прием методом общего сравнения можно применить в том случае, когда n частот подразделены на K подгрупп и комбинация образуется посылкой из каждой подгруппы по одной частоте (код "K из n"). Как и при ЧМ на приеме всегда фиксируется $(C_{n/k}^1)^K$ комбинаций без обнаружения ошибок и система названа безизбыточной.

В системе параллельно-последовательной передачи комбинация состоит из n_1 последовательных посылок, каждая из которых содержит K частот (код "K из $\lambda \times n_1$ "). Вся группа содержит λ частот.

Осуществляется сравнение эффективности многопозиционных способов передачи по перечисленным выше параметрам при указанных способах приема. При этом учитывается коэффициент многоканального сообщения с помощью коэффициента $\lambda =$
= 1-2.

Показывается, что избыточные системы передачи эквивалентны по сравниваемым параметрам при АМ или ЧМ и $\lambda = 1$.

Аналитически и графически определяется, что помехоустойчивость многопозиционных способов передачи кодами "К из N" и "К из $\chi \times N_1$ " выше двоичных, при этом параллельные помехоустойчивее параллельно-последовательных.

Показывается, что в многопозиционных системах передачи эффективно применение кодов "К из N" и "К из $\chi \times N_1$ " за счет увеличения напряжения сигнала элементарных посылок в соответствии с формулой

$$U_m = \frac{U}{\sqrt{K^\lambda}},$$

где U_m - напряжение сигнала в многопозиционной системе, U - напряжение сигнала в двоичной системе. В то же время эти коды в эквивалентных двоичных системах не являются оптимальными. С целью сравнения для двоичных систем на основе критерия эквивалентности и при равных W найдены более оптимальные коды. В соответствии с критерием

$$K_n = \log_2 \frac{n!}{k!(n-k)!}, \quad (2) \quad K_{n\chi} = n_1 \log_2 \frac{\chi!}{k!(\chi-k)!}, \quad (3)$$

где $K_n, K_{n\chi}$ - число двоичных информационных символов, соответствующих параллельному и параллельно-последовательному способам передачи с избыточностью. В найденных линейных кодах максимизировано минимальное кодовое расстояние. В результате сравнения установлено, что для многопозиционных систем можно найти код, эффективность которого

весьма близка к оптимальным двоичным (например, коды "4 из 24", "1 из 8 x 3").

Оценка эффективности многопозиционных систем передачи с приемом по методу общего сравнения произведена при неравных объемах алфавитов. Находится, что и при указанных условиях помехоустойчивость и достоверность передачи, общая занимаемая полоса частот одинаковы в эквивалентных многопозиционных системах, например, системах с кодами "2 из 8", "3 из 12" и "4 из 16".

Третья глава диссертации посвящена исследованию помехоустойчивости многопозиционных способов передачи при воздействии импульсных помех и сравнению их с двоичными.

Выбирается модель канала, основанная на первичных характеристиках его (энергетическая характеристика импульсных помех и закон их распределения). Такая модель позволяет установить связь между первичными и вторичными характеристиками в системе связи.

Модель помех в канале строится на основе статистических данных об интенсивности импульсных помех q , среднем числе их в единицу времени и гиперболическом законе распределения q

$$W_q(x) = \begin{cases} \frac{\alpha K_0^{2\alpha}}{|x|^{2\alpha+1}} & \text{при } |x| > K_0, \\ 0 & \text{при } |x| < K_0, \end{cases} \quad (4)$$

где $W_q(x)$ - плотность распределения вероятностей величины q , α - параметр потока помех, определяющих качество канала, K_0 - пороговый уровень,

$$q = U_n \tau_n, \quad (5)$$

U_n - амплитуда помехи, τ_n - длина импульсной помехи.

В реальных каналах $\alpha = 1-3$. При $\alpha = 1$ вероятность ошибки максимальна, $\alpha = 3$ соответствует каналам с малым количеством импульсных помех большой интенсивности.

На основе модели импульсных помех в канале выводятся выражения для вероятности ошибочного приема посылки при АМ в функции от q , η , где η - отношение максимального значения амплитуды помехи к максимальной амплитуде сигнала на выходе приемного фильтра.

Вероятность ошибочного приема посылки в двоичной системе при АМ и использовании в качестве приемного фильтра одиночного колебательного контура

$$P = B \left\{ \frac{b}{4\pi} \left[\frac{1}{2\alpha-1} \left(1 - \frac{1}{(2X_1)^{2\alpha-1}} \right) - \frac{1}{2\alpha} \left(1 - \frac{1}{(2X_1)^{2\alpha}} \right) \right] + \frac{1}{2\alpha} \left[\frac{1}{2\alpha} \left(1 - \frac{1}{(2X_2)^{2\alpha}} \right) - \frac{\ln 2X_2}{(2X_2)^{2\alpha}} \right] \right\}, \quad (6)$$

где

$$B = \frac{\alpha \gamma}{2V}, \quad (7)$$

γ - среднее число импульсных помех, возникающих в единицу времени; V - скорость модуляции, X_1, X_2 - текущие значения η ; b - угловой коэффициент кривой, выражающей зависимость области значений φ_0 и ζ (области неверного приема) от η (здесь $b = 0,84$); φ_0 - фазовый угол между помехой и сигналом в момент регистрации,

$$\eta = \frac{2q \Delta f_{эф}}{U}, \quad (8) \quad \zeta = 2 \Delta f_{эф} t_y, \quad (9)$$

t_y - расстояние по времени между моментами регистрации и возникновения помехи, $2 \Delta f_{эф}$ - эффективная полоса пропускания приемного фильтра, U - амплитуда сигнала. В (6) $\frac{1}{2} < X_1 \leq \frac{3}{2}$, а $X_2 > \frac{1}{2}$. При $X_2 > \frac{1}{2}$ $X_1 = \frac{3}{2}$.

Выведены выражения для исследования помехоустойчивости многопозиционных способов передачи при АМ. Выражение для расчета вероятности ошибочного приема элементарной посылки в функции от η получается совершенно таким же, что и (6). Однако, в (6) вместо X нужно подставить

$$X_n = \frac{2q \Delta f_{эф}}{\sqrt{n^{2-\lambda}} \cdot U}, \quad (10)$$

а вместо B

$$B_n = \frac{\alpha \gamma n}{2V} \quad (11)$$

для систем параллельной передачи или

$$X_{nn} = \sqrt{\left(\frac{n_1}{n}\right)^{2-\lambda}} \cdot \frac{2q \Delta f_{эф}}{U} \quad (12) \quad \text{и} \quad B_{nn} = \frac{\alpha \gamma n}{2n_1 V} \quad (13)$$

для систем параллельно-последовательной передачи данных.

Однако, найденные выражения неудобно использовать при сравнении способов передачи, т.к. эквивалентные системы имеют в соответствии с (10) и (12) различные η . Поэтому

найденны выражения в функции от первичного параметра канала q , что позволяет сравнивать способы передачи при одинаковых условиях. Выражение для всех способов передачи при АМ имеет вид:

$$P = B \left\{ \frac{b}{4\pi} \left[\frac{1}{2\alpha-1} \left(1 - \left(\frac{K_1}{q_1} \right)^{2\alpha-1} \right) - \frac{1}{2\alpha} \left(1 - \left(\frac{K_1}{q_1} \right)^{2\alpha} \right) \right] + \frac{1}{2\alpha} \left[\frac{1}{2\alpha} \left(1 - \left(\frac{K_1}{q_2} \right)^{2\alpha} \right) - \left(\frac{K_1}{q_2} \right)^{2\alpha} \ln \frac{q_2}{K_1} \right] \right\}, \quad (14)$$

где $K_1 < q_1 \leq 3K_1$, $q_2 > K_1$. При $q_2 > 3K_1$ $q_1 = 3K_1$, где

$$K_1 = \frac{U}{4\Delta f_{эф}}, \quad (15)$$

K_1 - пороговый уровень q . Для параллельных способов передачи

$$K_{1n} = \frac{U \sqrt{n^{2-\lambda}}}{4\Delta f_{эф}}, \quad (16)$$

а для параллельно-последовательных -

$$K_{1nn} = \sqrt{\left(\frac{n}{n_1} \right)^{2-\lambda}} \cdot \frac{U}{4\Delta f_{эф}}. \quad (17)$$

Величины B и q в соответствии со способом передачи определяются из (7), (8), (10)-(13).

На основе анализа (6), (14) и графиков находится, что многопозиционные способ передачи помехоустойчивее двоичных при q , близкой к пороговому значению. Если q превышает пороговое значение в 1,5-2 раза, то начинает

сказываться преимущество двоичных способов передачи.

Исследуется также помехоустойчивость двоичных и многопозиционных способов передачи при ЧМ. Показывается, что выведенные формулы для двоичных способов передачи пригодны для расчета и многопозиционных.

Для оценки помехоустойчивости любого способа передачи и сравнения способов передачи между собой получено выражение

$$P = \frac{B}{2\pi} \left\{ \frac{b_1}{2\alpha-1} \left[1 - \left(\frac{K_1}{q_1} \right)^{2\alpha-1} \right] - \frac{b_1}{2\alpha} \left[1 - \left(\frac{K_1}{q_1} \right)^{2\alpha} \right] + \frac{b_2}{2\alpha-1} \left[\frac{1}{(2\ell_2)^{2\alpha-1}} - \left(\frac{K_1}{q_2} \right)^{2\alpha-1} \right] - \frac{b_2}{2\alpha} \left[\frac{1}{(2\ell_2)^{2\alpha}} - \left(\frac{K_1}{q_2} \right)^{2\alpha} \right] \right\}, \quad (18)$$

где q_1 и q_2 больше K_1 , а члены в квадратных скобках больше 0. При коэффициенте модуляции, равном 1, $b_1 = 1,44$; $b_2 = 0,44$; $\ell_1 = 0,5$; $\ell_2 = 3$.

Коэффициенты и переменные в (18) для соответствующих способов передачи находятся из выражений (10)-(13), (15)-(17).

Найдены также выражения для определения помехоустойчивости приема сигналов методом обшего сравнения. При равнороятной послыке частот из подгрупп, равенстве их энергий и одинаковой спектральной плотности импульсных помех во всех ветвях условие возникновения ошибок в $\frac{n}{K}$ позиционной системе может быть заменено более простым условием для двоичной системы с ЧМ. Поэтому вероятность ошибочного приема послыки в каждой подгруппе можно определить по (18), в которое

вместо K_1 нужно подставить величины, определяемые из выражений:

$$K_{1к} = \frac{n U}{4 \Delta f_{эф} \sqrt{K}^\lambda}, \quad (19) \quad q = \frac{\eta n U}{2 \Delta f_{эф} \sqrt{K}^\lambda} \quad (20)$$

для параллельных способов передачи и

$$K'_{1к} = \frac{n U}{4 \Delta f_{эф} n_1 \sqrt{K_2}^\lambda}, \quad (21) \quad q' = \frac{\eta n U}{2 \Delta f_{эф} n_1 \sqrt{K_2}^\lambda} \quad (22)$$

для параллельно-последовательных способов передачи, где K, K_2 - число подгрупп частот при параллельном и параллельно-последовательном способах передачи соответственно.

Графически и с помощью выведенных выражений при сравнении способов передачи показано, что наивысшей помехоустойчивостью обладают многопозиционные способы передачи с приемом по методу общего сравнения. Коды "К из N " и "К из $\lambda \times n_1$ " систем передачи с АМ обеспечивают большую помехоустойчивость, чем безызбыточные способы передачи с АМ. Помехоустойчивость способов передачи с кодами "К из N " и "К из $\lambda \times n_1$ " увеличивается за счет увеличения энергии параллельных посылок.

Четвертая глава диссертации посвящена сравнению двоичных и многопозиционных систем передачи с ретрансляцией обратной связью, работающих по каналам с импульсными помехами. Сравнение осуществляется на примере системы параллельной передачи с неразделенными служебными командами и переспросом по помехоустойчивости, достоверности и скорости передачи комбинаций.

ций.

На основе полученных в главе 3 зависимостей выводятся выражения для определения вероятности ошибочного приема комбинации в системе параллельной передачи с АМ. Выражения учитывают корреляцию в искажении параллельных и последовательных посылок. При этом помехоустойчивость в основном определяется нулевыми посылками. Тогда

$$P_o = \frac{B_n}{\alpha} \left[\frac{1}{2\alpha} \left(1 - \left(\frac{K_{1n}}{q} \right)^{2\alpha} \right) - \left(\frac{K_{1n}}{q} \right)^{2\alpha} \cdot \ln \frac{q}{K_{1n}} \right], \quad (23)$$

где P_o - вероятность ошибочного приема комбинации.

Показывается, что помехоустойчивость систем передачи с кодом "К из N " и АМ можно оценить с помощью (23), в которое однако необходимо подставить вместо K_{1n} величину, определяемую из (20).

Результаты расчетов по (23) проверяются экспериментом для кодов "2 из 6", "2 из 5 x 2" и "2 из 4 x 2". Эксперимент проводился на коммутируемой городской телефонной сети при $A_{сн} = 1,5-2,2$ нп, $2 \Delta f_{эф} = 70$ гц, $U = 550$ мв (при $A_{сн} = 1,5$ нп $\gamma = 1 \cdot 10^{-2}$ I/сек, $\alpha = 2$; при $A_{сн} = 2,2$ нп $\gamma = 8 \cdot 10^{-2}$ I/сек, $\alpha = 1,5$), где $A_{сн}$ - затухание соединительной линии. В процессе эксперимента было передано $4 \cdot 10^6$ комбинаций. В результате установлено, что помехоустойчивость передачи в значительной степени зависит от амплитудно-частотной характеристики канала. Например, при передаче комбинации сочетанием частот 0,7 гц и 0,9 кгц $P_o = 7 \cdot 10^{-5}$, а при сочетании частот 1,5 и 1,7 кгц - $P_o = 2 \cdot 10^{-2}$. Сравнительный анализ эксперименталь-

ных и расчетных данных указывает на целесообразность практического применения выведенных выражений.

Исследуется помехоустойчивость передачи комбинаций в системе параллельной передачи с ЧМ. Методами численного интегрирования находится выражение для определения ошибочного приема комбинации при случайных фазах составляющих сообщения. Оно имеет вид, аналогичный (18), куда вместо $\frac{B}{2\pi}$ нужно подставить $B_1 = \frac{\alpha\delta}{2V}$, а вместо b_1 и b_2 величины, определяемые графически в зависимости от n .

Оценена также помехоустойчивость систем передачи с приемом по методу общего сравнения.

Осуществляется сравнение систем передачи с описанными способами приема по P_0 . Показывается, что наибольшей помехоустойчивостью обладает система с приемом по методу общего сравнения. При максимальном q в существующей коммутируемой телефонной сети (1,5-2 в мсек) система с кодами "1 из 12", "3 из 12" и "4 из 12" обеспечивает $P_0 \leq 1 \cdot 10^{-5}$, что позволяет иногда обойтись без обратного канала.

Показывается, что P_0 в двоичной системе с АМ выше, чем в системе параллельной передачи (при коде "К из n "). В двоичной системе с кодом "К из n " целесообразно применение кода с возможно большим числом единичных посылок, так как вероятность их поражения ниже, чем нулевых посылок.

В результате расчетов установлено, что многопозиционные и двоичные системы с ЧМ приблизительно эквивалентны по P_0 , то же можно сказать и о избыточных системах с АМ.

Производится сравнение систем по достоверности переда-

чи при АМ. Вероятность необнаруженных ошибок P_n в двоичной системе с АМ и кодом "К из n " можно найти так:

$$P_n = \frac{n-1}{n} \cdot \frac{C_{n-2}^{K-1}}{2^n} \left\{ \frac{1}{2\alpha-1} \left[1 - \frac{1}{(2x_1)^{2\alpha-1}} \right] - \frac{1}{2\alpha} \left[1 - \frac{1}{(2x_1)^{2\alpha}} \right] \right\} \times \\ \times B \frac{B}{4\pi} \left\{ \frac{1}{2\alpha} \left[1 - \frac{1}{(2x_2)^{2\alpha}} \right] - \frac{\ln 2x_2}{(2x_2)^{2\alpha}} \right\} \quad (24)$$

Находится также выражение для определения P_n в системах параллельной передачи данных:

$$P_n = B_n P_n \left\{ \frac{1}{2\alpha-1} \left[1 - \left(\frac{K_{in}}{q} \right)^{2\alpha-1} \right] - \frac{1}{2\alpha} \left[1 - \left(\frac{K_{in}}{q} \right)^{2\alpha} \right] \right\}, \quad (25)$$

где

$$P_n = P_\varphi^{n/2}, \quad P_\varphi = \frac{B}{2\pi}$$

Вследствие широкого спектра помехи, имеющей вид δ -функции, она имеет во всех параллельных каналах одинаковую амплитуду и фазу. Поэтому в многопозиционной системе с АМ на всех нулевых позициях при превышении помехой порогового уровня возникают единицы, что весьма эффективно может быть использовано кодами "К из n " и "К из $2 \times n_1$ " для обнаружения ошибок.

Результаты расчетов по (25) проверяются экспериментом. Испытания были подвергнуты системы передачи с кодами "2 из 6", "2 из 5 x 2" и "2 из 4 x 2". (Эксперимент проводился на городской коммутируемой телефонной сети с $a_{cl} = 1,5$ нп, а также при искусственном увеличении a_{cl} до 2,2 нп). Было передано $4 \cdot 10^6$ комбинаций. В результате эксперимента установ-

лено, что P_0 и, следовательно, P_n в сильной степени зависят от амплитудно-частотной характеристики тракта передачи. Показывается, что P_n на коммутируемых каналах худшего качества при передаче многопозиционными способами (коды "2 из 6", "2 из 5 x 2" и "2 из 4 x 2") не превосходит $5 \cdot 10^{-4}$. Экспериментом установлена целесообразность применения параллельно-последовательных способов передачи, позволяющих исключить часть полосы канала с максимальным затуханием и увеличить объем алфавита.

Расчетом и экспериментом показано, что в приемнике на каждый частотный подканал целесообразно установить пороговый уровень в соответствии с затуханием в подканале.

Экспериментом подтверждается эффективность применения многопозиционных способов передачи. Так, при $\alpha_{сд} = 1,5$ ип обнаруженных ошибок не зафиксировано (расчетное P_n не превышает $1 \cdot 10^{-8}$). Сравнение экспериментальных и расчетных данных по (23) и (25) указывает на достаточно близкое совпадение их (в пределах $10 \pm 20\%$).

Производится сравнение систем с ЧМ по достоверности передачи. В результате сравнения систем параллельной и двоичной передачи с ЧМ установлено, что эффективность кодов в системах параллельной передачи данных гораздо выше чем в двоичных.

Осуществляется сравнение систем передачи по пропускной способности. В результате сравнения установлено, что:

- система параллельной передачи данных с приемом по методу общего сравнения уступает двоичным и параллельным с

АМ и ЧМ по пропускной способности,

- многопозиционные системы с кодами "1 из N " оказываются малоэффективными по пропускной способности.

По проделанной работе сделаны следующие основные выводы:

1. В соответствии с критерием эквивалентности безизбыточные двоичные и многопозиционные системы передачи при АМ или ЧМ эквивалентны по сравниваемым параметрам при воздействии на информацию флюктуационных помех.

2. У эквивалентных систем оказываются равными или близкими многие характеристики, так равны объемы алфавитов, общие занимаемые полосы частот или длина комбинации. У них сравнимы помехоустойчивость и пропускная способность, конструктивные характеристики оконечной аппаратуры.

3. Помехоустойчивость многопозиционных способов передачи с кодами "K из N " и "K из $\chi \times N_1$ " при воздействии флюктуационных или импульсных помех выше двоичных, при этом параллельные способы помехоустойчивее параллельно-последовательных.

4. Повышение помехоустойчивости многопозиционных систем с кодами "K из N " и "K из $\chi \times N_1$ " вызвано увеличением энергии каждой посылки при нормированной мощности суммарного сигнала в канале.

5. В многопозиционных системах, работающих по каналам с флюктуационной помехой, можно найти код с необходимой избыточностью, близкий по эффективности к оптимальным.

6. В системах параллельной передачи данных с АМ при воздействии импульсных помех вероятность ошибочного приема

комбинации определяется в основном нулевыми посылками, что весьма повышает эффективность кодов "К из \mathcal{N} " и "К из $\mathcal{X} \times \mathcal{N}_1$ ".

7. Система параллельной передачи данных с приемом по методу общего сравнения имеет преимущество по помехоустойчивости передачи комбинаций, но уступает системам с АМ и ЧМ по пропускной способности.

8. Сравнение экспериментальных и расчетных данных по помехоустойчивости и достоверности передачи комбинаций при АМ указывает на достаточно близкое их совпадение (в пределах 10-20%).

В итоге проведенных работ получены следующие результаты:

1. Предложен критерий эквивалентности для сравнения многопозиционных и двоичных систем и способов передачи. В качестве критерия принято равенство скоростей передачи информации источником сообщений при фиксированной мощности сигнала. На основе его произведено сравнение эффективности многопозиционных и двоичных систем передачи.

2. На основе критерия эквивалентности произведено сравнение избыточности кодов многопозиционных систем с двоичными.

3. Обоснована целесообразность разработки модели помех в каналах связи. Это позволяет использовать экспериментальные результаты для анализа систем передачи с различными способами передачи, как многопозиционными так и двоичными.

4. На основе известного соответствия между параметрами импульсной помехи и характеристиками модели ошибок Беннета-Фройлика установлена связь между первичными характеристиками импульсных помех (q и ее гиперболический закон распределения) и вторичными характеристиками (помехоустойчивость и достоверность передачи, пропускная способность системы).

5. На основе установленной связи между первичными и вторичными характеристиками системы связи при воздействии на нее импульсных помех выведены выражения для оценки основных характеристик систем передачи.

6. Для проверки методики расчетов и эффективности многопозиционных систем передачи проведен эксперимент. Экспериментом подтверждается эффективность кодов "К из \mathcal{N} " и "К из $\mathcal{X} \times \mathcal{N}_1$ " в многопозиционных системах.

Основные результаты диссертационной работы были доложены автором на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Ленинградского электротехнического института связи имени М.А.Бонч-Бруевича в 1969 и 1970 г.г., на научно-технических семинарах кафедры передачи дискретной информации и телеграфии ЛЭИС и опубликованы в следующих статьях и отчетах:

1. Б.А.Савельев. Два метода многопозиционной передачи данных. "Материалы научно-технической конференции ЛЭИС", вып.3, 1969.

2. Б.А.Савельев. Вероятность ошибки в многопозиционной системе передачи частотными методами, "Труды учебных институтов связи", вып.45, 1969.

3. Б.А.Савельев. Анализ одного способа приема в многопозиционных системах передачи. "Материалы научно-технической конференции ЛЭИС", вып. I, 1970.

4. Б.А. Савельев. Сравнение многопозиционных и двоичных способов передачи при амплитудной демодуляции. "Труды учебных институтов связи", вып. 53, 1971.

5. Б.А.Савельев. Технический отчет по теме О4-65. "Принципы построения систем передачи данных параллельным кодом для городских линий связи". Пермь, НИИУМС, 1966.

6. Б.А.Савельев. Технический отчет "Обзор экспериментальных работ по исследованию статистики ошибок в коммутируемых и некоммутируемых телефонных каналах связи". Пермь, НИИ управляющих машин и систем, 1966 .

Роталпринт. Типография ЛЭИС, г. Красное Село
Зак. 474. Объем 1¹/₂ печ. л. Тираж 130 экз. Бесплатно.

М-07648. Подписано к печати 20/1У-71 г.