

*На правах рукописи*

Алгазин Евгений Игоревич

**ИНВАРИАНТНАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ  
ПО КАНАЛАМ С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

Специальность 05.13.01 – системный анализ, управление и  
обработка информации

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Красноярск -2006

Работа выполнена в ЗАО «Сибирские сотовые системы – 900»,  
г. Новосибирск

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Малинкин Виталий Борисович**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Петров Михаил Николаевич**  
кандидат технических наук  
**Сединин Алексей Валерьевич**

Ведущая организация: Научно-исследовательский институт  
систем управления, волновых процес-  
сов и технологий, г. Красноярск

Защита диссертации состоится «18» мая 2006 г. в 13<sup>00</sup> часов на за-  
седании диссертационного совета Д 212.249.02 при Сибирском государствен-  
ном аэрокосмическом университете имени академика М.Ф. Решетнева по ад-  
ресу: 6600014, г. Красноярск, проспект имени газеты «Красноярский рабочий»,  
31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского государ-  
ственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева.

Автореферат разослан «10» апреля 2006 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



И.В. Ковалев

**Актуальность темы.** Современный уровень развития систем обработки информации ставит задачу высокопомехоустойчивой передачи сигналов (информации).

Одним из аспектов этой задачи является безыскаженная передача информации по каналам с переменными параметрами.

Вопросам передачи информации по каналам с переменными параметрами посвящены многие исследования, проведенные отечественными учеными: Кремером И.Я., Владимировым В.И., Карпухиным В.И., Васильевым К.К., Петровичем Н.Т., Кловским Д.Д., Сифоровым В.И., и многими другими отечественными и зарубежными учеными.

Полученные этими учеными результаты относятся к передаче бинарного сигнала при воздействии комплекса мультипликативной и аддитивной помех.

Вопросами инвариантности занимались отечественные ученые: Окунев Ю.Б., Петров М.Н., Лебедев В.В., Малинкин В.Б.

Окунев Ю.Б. впервые рассмотрел принципы построения и характеристики систем передачи информации, обладающих свойствами нечувствительности (инвариантности) к некоторым типам помех.

Д.т.н., профессор Петров М.Н., разработал теорию управления информационными сетями на основе использования тензорной теории.

Д.т.н., профессор Лебедев В.В., выявил инвариант как отношение длин векторов информационного и опорного сигналов на входе и выходе канала передачи информации.

Д.т.н., профессор Малинкин В.Б. разработал теорию построения адаптивных фильтров на основе использования инвариантов.

Существующие способы передачи сигналов управления и информации в системах обработки информации зачастую не отвечают жестким требованиям по вероятности ошибки при заданной скорости передачи, ограничении ширины полосы пропускания канала и случайным изменениям параметров канала.

Существующие методы повышения достоверности сводятся к использованию всевозможных способов кодирования информации. Это приводит к

удорожанию оборудования, снижению скорости передачи, использованию дорогостоящих алгоритмов обработки информации.

Все это привело к поиску новых путей решения данной задачи.

Одним из возможных подходов к решению данной задачи является совместное использование метода относительной амплитудной модуляции, предложенного Петровичем Н.Т., и инвариантного подхода при передаче информации.

Совокупность этих двух методов позволяет системе обработки информации быть устойчивой к воздействию мультипликативной помехи и иметь достаточно большой набор передаваемых значений инвариантов.

Такой подход позволяет упростить структуру системы обработки информации при улучшении качественных показателей: например, уменьшении вероятности ошибки.

**Цель работы** – разработка алгоритма безыскаженной передачи информации по каналам с переменными параметрами.

В соответствии с поставленной целью в работе формируются и решаются следующие основные задачи:

- анализ геометрической модели канала с переменными параметрами;
- исследование возможности использования метода относительной амплитудной модуляции в сочетании с использованием инвариантов и мерами по повышению помехоустойчивости;
- разработка методики оценки помехоустойчивости инвариантной системы передачи информации;
- исследование возможности технической реализации инвариантной системы передачи информации по результатам оценки помехоустойчивости;
- разработка структурной схемы инвариантной системы передачи информации .

**Методы исследования.** В работе использовался математический аппарат теории вероятностей, линейной алгебры, вычислительной математики. Экспериментальное исследование инвариантной системы передачи информации проводилось методом статистического моделирования на ПЭВМ.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Проведен анализ геометрической модели канала передачи информации с переменными параметрами.

2. Предложено использовать метод относительной амплитудной модуляции, как устойчивый к воздействию мультипликативной помехи, в сочетании с заданием инвариантов при формировании сигнала.

3. На основании метода преобразования случайных величин получено выражение плотности вероятности оценки инварианта, что позволило оценить помехоустойчивость инвариантной системы передачи информации.

4. Разработана структурная схема инвариантной системы передачи информации для случая обработки поднесущей расширенным синхронным детектированием.

**Практическая ценность.** Реализация результатов исследования вопросов построения инвариантной системы передачи информации позволит на практике добиться существенного снижения влияния мультипликативной и флуктуационной помех на верность передачи информации по каналам с переменными параметрами, и тем самым уменьшить вероятность ошибки.

Предложена методика оценки помехоустойчивости инвариантной системы передачи информации по каналам с переменными параметрами.

**Внедрение работы.** Исследования, проведенные в ходе работы над темой, являются составной частью НИР по теме «Фундаментальные аспекты новых информационных и ресурсосберегающих технологий». Получен акт о внедрении в производственную деятельность ООО «Лифт-комплекс ДС».

**Апробация работы.** Результаты, полученные в работе на разных этапах ее выполнения, докладывались и обсуждались на

– Российской научно-технической конференции «Информатика и проблемы телекоммуникаций», Новосибирск, 1996;

– Международной научно-технической конференции «Информатика и проблемы телекоммуникаций», Новосибирск, 1997;

– Международной научно-технической конференции «Информатика и проблемы телекоммуникаций», Новосибирск, 1998;

– Третьей международной конференции «Современные информационные

технологии СИТ-98», Новосибирск, 1998;

– Российской научно-технической конференции «Информатика и проблемы телекоммуникаций», Новосибирск, 2004;

– Российской научно-технической конференции «Информатика и проблемы телекоммуникаций», Новосибирск, 2005.

– Международной конференции «2005 Microwave Electronics, Measurement, Identification, Application – МЕМИА2005», Новосибирск, 2005.

### **Публикации.**

По теме диссертации автором опубликовано одиннадцать работ, в том числе четыре статьи.

### **Структура и объем диссертации.**

Диссертация изложена на 153 страницах машинописного текста. Состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературных источников и приложения.

**Основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту:**

1. Инвариантная система передачи информации, основанная на использовании относительной амплитудной модуляции, устойчивой к воздействию мультипликативной помехи.

2. Методика расчета помехоустойчивости инвариантной системы передачи информации, основанная на методе преобразования случайных величин.

3. Устройство, реализующее инвариантные алгоритмы обработки информации.

### **Содержание работы**

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, перечислены основные научные результаты диссертации, определена практическая ценность результатов исследования, приведены сведения об апробации работы, пояснена структура и объем диссертации.

В первом разделе рассмотрены известные модели каналов с переменными параметрами. Анализ этих моделей показал, что существует множество от-

дельных моделей каналов с переменными параметрами.

Поэтому возникает необходимость в разработке универсальной модели, адекватно описывающей свойства всех рассмотренных моделей. В связи с этим проведен синтез геометрической модели канала с переменными параметрами. Геометрическая модель позволила с других позиций посмотреть, как изменяются параметры канала при изменении формы импульсной реакции и воздействии мультипликативной и аддитивной помех.

Особенностью геометрической модели канала с переменными параметрами явилось то, что концы векторов выходных сигналов образуют в двумерном сечении эллипс.

Исследовано поведение геометрической модели при воздействии мультипликативной помехи, аддитивной помехи и комплекса мультипликативной и аддитивной помех, а также при изменении формы импульсной реакции.

В частности выявлено следующее: при изменении коэффициента передачи канала, обусловленном действием мультипликативной помехи, эллипс меняет свои размеры без изменения формы. При воздействии одной аддитивной помехи размеры эллипса остаются без изменения, но меняется случайным образом длина векторов выходных сигналов и края эллипса, образованные этими сигналами, описываются как бы ломаной линией. А при комплексном воздействии мультипликативной и аддитивной помех эллипс меняет размеры и края эллипса также описываются ломаной линией.

При изменении формы импульсной реакции исследовалось четыре случая:

1. Симметричная импульсная реакция.
2. Несимметричная импульсная реакция.
3. Ярко выраженная несимметричная импульсная реакция.
4. Симметричная, но с меньшей амплитудой отсчетов, чем в первом случае.

Рассматривалось поведение векторов  $\Delta \bar{S} = \bar{S}_{\text{вых}} - \bar{S}_{\text{вх}}$ . Первому случаю соответствует набор практически параллельных векторов  $\Delta \bar{S}$ . Второму – слабо закрученный относительно точки (0, 0). Третьему случаю соответствует

наибольшая закрученность относительно точки (0, 0). В четвертом случае вектора  $\Delta \bar{S}$  остаются практически параллельными, как и в первом случае, но уменьшаются геометрические размеры эллипса без изменения формы.

Для качественного анализа автором использован инвариант, который можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{S_{\text{вх}i}(k\omega)}{S_{\text{вх}(i-1)}(k\omega)} = \frac{S_{\text{вых}i}(k\omega)}{S_{\text{вых}(i-1)}(k\omega)} \\ \phi_i(k\omega) - \phi_{(i-1)}(k\omega) = \psi_i(k\omega) - \psi_{(i-1)}(k\omega) \end{cases} \quad (1)$$

где  $S_{\text{вх}}$  и  $S_{\text{вых}}$  – амплитудные спектры входного и выходного сигналов на  $i$ -ом и  $(i-1)$ -ом блоках обработки;

$\phi$  и  $\psi$  – фазовые спектры входного и выходного сигналов на  $i$ -ом и  $(i-1)$ -ом блоках обработки.

Первое равенство из выражения (1) представляет собой по сути принцип относительной амплитудной модуляции. Если перевести (1) во временную область с использованием опорного сигнала  $S_{\text{оп}}$ , то тогда мы приходим к относительной амплитудной модуляции с опорным сигналом.

Во втором разделе рассмотрено применение метода относительной амплитудной модуляции (ОАМ) для построения инвариантной системы передачи информации по каналам с переменными параметрами.

Для упрощения исследования и возможности использования ОАМ был принят частный случай вычисления инварианта, вытекающий из первого раздела: это отношение суммы амплитуд отсчетов сигнала передачи к сумме амплитуд отсчетов сигнала опорной посылки на входе тракта передачи и отношение суммы амплитуд отсчетов сигнала передачи, обработанного расширенным синхронным детектором, к сумме амплитуд отсчетов сигнала опорной посылки, обработанного расширенным синхронным детектором, на выходе тракта передачи.

Проведен анализ существующих методов передачи сообщений по каналам с переменными параметрами.

Показано, что каждый способ имеет как недостатки, так и достоинства. К недостаткам, как правило, относятся сложность аппаратной реализации и алгоритмов функционирования. Достоинством является повышение помехоустойчивости системы передачи информации.



Показано, что системы передачи, основанные на методе ОАМ, отличаются простотой реализации. При использовании ОАМ с инвариантностью возможно получать не бинарные системы, а использующие многоуровневую амплитудную модуляцию. В работе число уровней выбрано равным десяти.

Проведен сравнительный анализ систем передачи, использующих различные способы обработки сигналов, применительно к ОАМ.

Были рассмотрены: метод дискретного преобразования Фурье, отношение модулей сигналов, метод, использующий расширенный синхронный детектор, интегральный прием, прием по квадратурным составляющим.

Показано, что все используемые способы обработки сигналов обладают устойчивостью к мультипликативной помехе (без влияния аддитивной) при реализации метода ОАМ.

Из рассмотренных способов выбран способ, при котором используется расширенное синхронное детектирование поднесущей, потому что он позволяет найти плотность вероятности оценки инварианта и оценить вероятность ошибки при передаче информации.

Следует указать, что в работе помимо синхронного детектирования поднесущей исследован и интегральный метод приема. Однако полученные результаты накладывают существенные ограничения на практическую реализацию.

Плотность вероятности оценки инварианта находится методом преобразования случайных величин в выражениях оценки инварианта. Случайными величинами являются независимые мгновенные значения гауссовой помехи, влияющей на опорный и информационный сигналы.

Выражение оценки инварианта, в котором присутствует помеховая составляющая в числителе и знаменателе соответствует реальному случаю. Если помеховая составляющая присутствует только в числителе, то это идеальный случай. Он обладает большей помехоустойчивостью, и с ним происходит сравнение реального случая в дальнейшем. Первое выражение оценки инварианта соответствует реальному случаю. В нем используется метод накопления с усреднением опорных посылок, обработанных расширенным синхронным детектором, для повышения помехоустойчивости

$$\begin{aligned}
\widehat{\text{INV}} &= \frac{\sum_{i=1}^N (k \text{INV} \cdot S(i) + \xi(i)) \cdot S(i)}{\sum_{j=1}^N \left( \sum_{m=1}^L \frac{k S_{\text{он}} S(j)}{L} + \sum_{m=1}^L \frac{\eta(m, j)}{L} \right) S(j)} \cdot S_{\text{он}} = \\
&= \frac{\sum_{i=1}^N (k \text{INV} \cdot S(i) + \xi(i)) \cdot S(i)}{S_{\text{он}} \sum_{j=1}^N \left( k S(j) + \frac{1}{S_{\text{он}}} \sum_{m=1}^L \frac{\eta(m, j)}{L} \right) S(j)} \cdot S_{\text{он}} = \\
&= \frac{\sum_{i=1}^N (k \text{INV} \cdot S^2(i) + \xi(i) \cdot S(i))}{\sum_{j=1}^N \left( k S^2(j) + \frac{S(j)}{S_{\text{он}}} \sum_{m=1}^L \frac{\eta(m, j)}{L} \right)}. \tag{2}
\end{aligned}$$

Второе выражение соответствует идеальному случаю, когда в знаменателе выражения нет помехи и выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned}
\widehat{\text{INV}} &= \frac{\sum_{i=1}^N (k \text{INV} \cdot S(i) + \xi(i)) \cdot S(i)}{\sum_{j=1}^N (k \cdot S_{\text{он}} S(j)) S(j)} \cdot S_{\text{он}} = \\
&= \frac{\sum_{i=1}^N (k \text{INV} \cdot S(i) + \xi(i)) \cdot S(i)}{S_{\text{он}} \sum_{j=1}^N (k \cdot S^2(j))} \cdot S_{\text{он}} = \\
&= \frac{\sum_{i=1}^N (k \text{INV} \cdot S(i) + \xi(i)) \cdot S(i)}{\sum_{j=1}^N (k \cdot S^2(j))}, \tag{3}
\end{aligned}$$

где  $k$  – коэффициент передачи канала;

$\text{INV}$  – заданный инвариант;

$S_{\text{он}}$  – значение опорного сигнала;

$\xi$  – помеховая составляющая в числителе;

$\eta$  – помеховая составляющая в знаменателе

$$S(i) = A \sin(2\pi \cdot f_{\text{п}} \cdot \Delta t \cdot i), \quad i=1, N; \tag{4}$$

$f_{\text{п}}$  – частота поднесущей;

$A$  – амплитуда;

$\Delta t$  – интервал дискретизации.

Анализ выражения (2) показывает, что в числителе образуется сумма  $N$  независимых нормальных случайных величин с матожиданиями, равными  $k \text{INV} \cdot S^2(i)$ ,  $i=1, N$  и дисперсиями, равными  $S^2(i)\sigma^2$ ,  $i=1, N$ .

Эта сумма дает одну нормальную случайную величину с матожиданием, равным сумме матожиданий

$$m = \sum_{i=1}^N k \cdot \text{INV} \cdot S^2(i) = k \cdot \text{INV} \sum_{i=1}^N S^2(i) = k \cdot \text{INV} \cdot a, \quad (5)$$

где

$$\sum_{i=1}^N S^2(i) = a. \quad (6)$$

Дисперсия такой случайной величины равна сумме дисперсий

$$D = \sum_{i=1}^N S^2(i)\sigma^2 = \sigma^2 \sum_{i=1}^N S^2(i) = a \cdot \sigma^2. \quad (7)$$

Анализируя знаменатель (2) видим, что при усреднении образуется  $N$  случайных независимых нормальных величин с матожиданиями, равными  $k \cdot S_{\text{оп}} S^2(j)$  и дисперсиями, равными

$$D = D \left\{ \sum_{m=1}^L \frac{1}{L} \sigma^2 \right\} = \frac{1}{L^2} D \left\{ \sum_{m=1}^L \sigma^2 \right\} = \frac{1}{L^2} L \sigma^2 = \frac{\sigma^2}{L} = \sigma^{2'}. \quad (8)$$

Дисперсия одной случайной величины, образованной сложением  $N$  случайных величин с матожиданиями  $k \cdot S_{\text{оп}} S^2(j)$  и дисперсиями  $D = \sigma^{2'}$  после сокращения  $S_{\text{оп}}$  равна:

$$D = D \left\{ \sum_{j=1}^N \frac{S^2(j)}{S_{\text{оп}}} \sigma^{2'} \right\} = \frac{1}{S_{\text{оп}}^2} \sum_{j=1}^N S^2(j) \sigma^{2'} = \frac{a}{S_{\text{оп}}^2 L} \sigma^{2'}. \quad (9)$$

Матожидание этой случайной величины равно:

$$m = \sum_{j=1}^N k \cdot S^2(j) = k \sum_{j=1}^N S^2(j) = k \cdot a. \quad (10)$$

В идеальном случае, после аналогичных преобразований имеем в числителе одну случайную величину с матожиданием и дисперсией

$$m = k \cdot \text{INV} \cdot a / k \cdot a = \text{INV}, \quad (11)$$

$$D = \frac{1}{k^2 a^2} a \cdot \sigma^2 = \frac{\sigma^2}{k^2 a}. \quad (12)$$

На основании формулы случайной величины частного двух независимых нормальных случайных величин и величине накоплений с усреднениями равной сорока, получим выражение плотности вероятности оценки инварианта в реальном случае:

$$\begin{aligned} W(z) &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S_{\text{оп}} \sqrt{40}}{2\pi\sigma^2 a} e^{-\frac{(zx - k \text{INV } a)^2}{2\sigma^2 a}} e^{-\frac{40S_{\text{оп}}^2(x-k-a)^2}{2\sigma^2 a}} |x| dx = \\ &= \int_0^{\infty} \frac{S_{\text{оп}} \sqrt{40}}{2\pi\sigma^2 a} e^{-\frac{(zx - k \text{INV } a)^2}{2\sigma^2 a}} e^{-\frac{40S_{\text{оп}}^2(x-k-a)^2}{2\sigma^2 a}} x dx - \\ &\quad - \int_{-\infty}^0 \frac{S_{\text{оп}} \sqrt{40}}{2\pi\sigma^2 a} e^{-\frac{(zx - k \text{INV } a)^2}{2\sigma^2 a}} e^{-\frac{40S_{\text{оп}}^2(x-k-a)^2}{2\sigma^2 a}} x dx. \end{aligned} \quad (13)$$

В идеальном случае с учетом (11), (12) получим:

$$W(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{k\sqrt{a}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{k^2 a (z - \text{INV})^2}{2\sigma^2}} dz. \quad (14)$$

Заменим интеграл в (13) суммой по  $x$ . Зададим пределы суммирования по  $x$ . Введем сумму по  $z$  и зададим пределы суммирования по  $z$ . Получим следующее выражение:

$$\begin{aligned} \sum_{a_z}^{b_z} h_z W(z) &= \sum_{a_z}^{b_z} h_z \sum_{a_x}^{b_x} W(zx) W(x) \cdot x - \\ &\quad - \sum_{a_z}^{b_z} h_z \sum_{a_x}^{b_x} W(zx) W(x) \cdot (-x) \approx 1, \end{aligned} \quad (15)$$

где пределы по  $x$  равны:

$$a_x = ka - 3 \frac{\sigma\sqrt{a}}{S_{\text{оп}}\sqrt{40}}; \quad (16)$$

$$b_x = ka + 3 \frac{\sigma\sqrt{a}}{S_{\text{оп}}\sqrt{40}}. \quad (17)$$

Пределы по  $y = zx$  равны:

$$a_{zx} = k \text{INV } a - 3\sigma\sqrt{a}; \quad (18)$$

$$b_{zx} = k \text{INV } a + 3\sigma\sqrt{a}. \quad (19)$$

Пределы по  $z$  равны:

$$a_z = a_{zx}/b_x; \quad (20)$$

$$b_z = b_{zx}/a_x, \quad (21)$$

Шаг изменения по переменной  $z$  равен

$$h_z = (b_z - a_z)/N_z. \quad (22)$$

Аналогично в (14) вводим сумму по  $z$  вместо интеграла и задаем пределы суммирования по  $z$

$$a_z = (k \text{INV } a - 3\sigma\sqrt{a})/(ka), \quad (23)$$

$$b_z = (k \text{INV } a + 3\sigma\sqrt{a})/(ka). \quad (24)$$

Получаем следующее выражение

$$\sum_{a_z}^{b_z} h_z W(z) \approx 1. \quad (25)$$

Выражениям (13) и (14) соответствуют следующие кривые плотностей вероятностей для реального и идеального случаев приведенные на рис. 1 и 2.

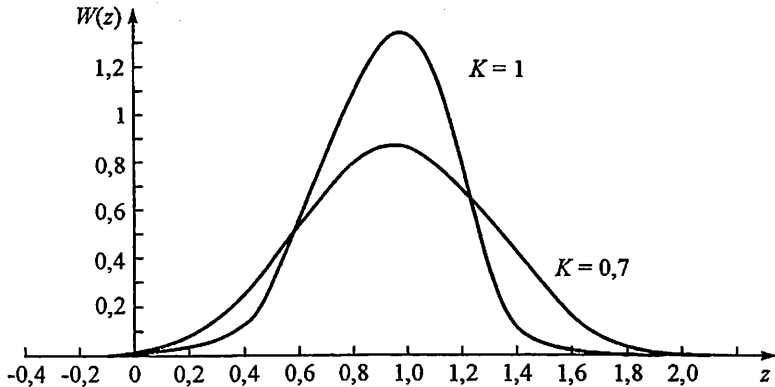


Рис. 1 Реальный случай при  $\text{INV} = 1$

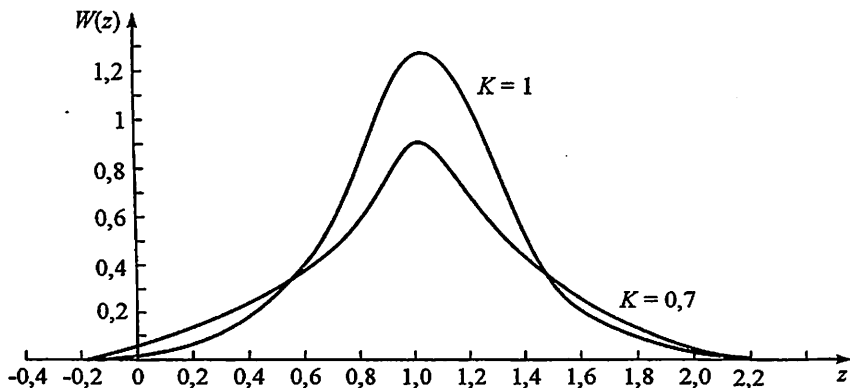


Рис. 2 Идеальный случай при INV = 1

Для оценки количественных характеристик предложенного метода использован известный подход оценки вероятности ошибки:

$$P_{\text{пер}} = P_1 \int_0^{z_p} W_2(z) dz + P_2 \int_{z_p}^{\infty} W_1(z) dz, \quad (26)$$

где  $P_{\text{пер}}$  – попарная вероятность перехода символа, заданного инвариантом первым (INV1) в символ, заданный инвариантом вторым (INV2) и наоборот;

$P_1$  – вероятность появления символа, заданного INV1;

$P_2$  – вероятность появления символа, заданного INV2;

первый интеграл – вероятность появления символа, заданного INV2, в то время, когда послан символ, заданный INV1;

второй интеграл – вероятность появления символа, заданного INV1, в то время, когда послан символ, заданный INV2.

На основе оценки вероятности попарного перехода одного информационного элемента в другой и обратно оценена помехоустойчивость инвариантной системы передачи информации (ИСПИ). При этом сравнивались реальный и идеальный случай при прочих равных условиях.

На основе сделанного анализа помехоустойчивости ИСПИ показано, что система передачи обладает достаточной помехоустойчивостью и возможно перейти к вопросам технической реализации ИСПИ.

В третьем разделе рассмотрены общие вопросы организации эксперимен-

та: используемый датчик случайных чисел, точность и количество испытаний. Разработана имитационная модель ИСПИ и на ее основе после статистического моделирования получены данные о помехоустойчивости ИСПИ. Промоделировано поведение ИСПИ при различных длительностях информационной посылки.

Для проверки результатов моделирования попарная вероятность перехода одного символа в другой и обратно вычислялась методом Монте-Карло. Результаты, полученные обоими методами, сведены, в таблицы 1 и 2.

**Расчет вероятности попарного перехода сигнала, образованного инвариантом INV1 в сигналы, образованные INV*i*  $i \in \{2,5\}$  и обработанного при  $K=1$ .**

Таблица 1

N п/п	INV1-INV <i>i</i> $i \in \{2,5\}$ Получ. Результаты	INV1-	INV1-	INV1-	INV1-
		INV2	INV3	INV4	INV5
1	h отношение сигнал/шум	1,414	2,121	2,828	3,535
2	$P_{\text{перехода}}$ идеализированный случай теоретическая оценка	$6,265 \times 10^{-2}$	$1,729 \times 10^{-3}$	$2,753 \times 10^{-6}$	$3,148 \times 10^{-10}$
3	$P_{\text{перехода}}$ идеализированный случай экспериментальная оценка	$5,880 \times 10^{-2}$	$0,600 \times 10^{-3}$	0	0
4	$P_{\text{перехода}}$ реальный случай теоретическая оценка	$8,571 \times 10^{-2}$	$1,703 \times 10^{-3}$	$1,656 \times 10^{-5}$	$9,097 \times 10^{-9}$
5	$P_{\text{перехода}}$ реальный случай экспериментальная оценка	$6,010 \times 10^{-2}$	$0,5999 \times 10^{-3}$	0	0

Примечание: h INV1=0,707

**Расчет вероятности попарного перехода сигнала, образованного инвариантом INV1 в сигналы, образованные INV*i*  $i \in \{2,5\}$  и обработанного при  $K=0,7$ .**

Таблица 2

N п/п	INV1-INV <i>i</i> $i \in \{2,5\}$ Полученные результаты	INV1-	INV1-	INV1-	INV1-
		INV2	INV3	INV4	INV5
1	h отношение сигнал/шум	0,989	1,484	1,979	2,474

2	Р перехода идеализированный случай теоретическая оценка	$1,764 \times 10^{-1}$	$1,588 \times 10^{-2}$	$7,670 \times 10^{-4}$	$1,489 \times 10^{-5}$
3	Р перехода идеализированный случай экспериментальная оценка	$1,362 \times 10^{-1}$	$1,350 \times 10^{-2}$	$4,0 \times 10^{-4}$	0
4	Р перехода реальный случай теоретическая оценка	$1,936 \times 10^{-1}$	$3,118 \times 10^{-2}$	$2,380 \times 10^{-3}$	$9,263 \times 10^{-5}$
5	Р перехода реальный случай экспериментальная оценка	$1,365 \times 10^{-1}$	$1,390 \times 10^{-2}$	$3,000 \times 10^{-4}$	0

Примечание:  $h \text{ INV1} = 0,494$

Результаты моделирования поведения ИСПИ свидетельствуют о следующем: моделирование показало приемлемое значение вероятности попарного перехода символов при заданных отношениях сигнал/шум.

Проверка моделирования методом Монте-Карло подтверждает полученные результаты в наихудшем случае с точностью до порядка, в наилучшем – 6%.

Необходимо сравнить помехоустойчивость ИСПИ с помехоустойчивостью бинарной системы при когерентном приеме с амплитудной модуляцией (АМ). Напрямую вероятность попарного перехода символов в ИСПИ и вероятность ошибки в бинарной системе с АМ не сравниваются.

Однако, если принять во внимание, что бинарная система дает вероятность попарного перехода «0» в «1» и «1» в «0» при разных значениях  $h$  (отношения сигнал/шум), то можно рассмотреть специальный случай функционирования ИСПИ, когда  $\text{INV1} = 0$ , а  $\text{INV2}$  может изменяться.

Этот случай в общем соответствует функционированию бинарной системы, когда «0» – нет сигнала, «1» – есть сигнал. Значение «1» может изменяться в сторону увеличения: 1, 2, 3 и т.д.

Для сравнения помехоустойчивости ИСПИ и бинарной системы с АМ при когерентном приеме необходимо рассмотреть для ИСПИ попарную вероятность перехода информационных элементов, заданных  $\text{INV1} = 0$  и  $\text{INV2} = \text{INV}_i$ , где  $i = 1, 2, 3$  и т.д. и определить  $h$  – отношение сигнал/шум для  $\text{INV2}$ .

Для бинарной системы с АМ при когерентном приеме определить  $P_{\text{ош}}$  (вероятность ошибки) для  $h$ , равного  $h$  сигнала, образованного  $\text{INV2}$  в ИСПИ.

Результаты расчета помехоустойчивости ИСПС в режиме, аналогичном функционированию бинарной системы для реального и идеального случаев с проверкой методом Монте-Карло сведены в таблицы 3 и 4.



**Сравнение помехоустойчивости инвариантной системы и бинарной системы с амплитудной модуляцией при  $K=1$**

Таблица 3

N п/п	Получ. результаты	$INV1-INV_i \ i \in \{1,4\}$	$INV0-INV1$	$INV0-INV2$	$INV0-INV3$	$INV0-INV4$
		1	$h$ отношение сигнал/шум	0,707	1,414	2,121
2	$P_{ош}$ вероятность ошибки (когерентный прием с АМ модуляцией)	$3,085 \times 10^{-1}$	$1,580 \times 10^{-1}$	$6,400 \times 10^{-2}$	$2,250 \times 10^{-2}$	
3	$P_{перехода}$ идеализированный случай теоретическая оценка	$7,592 \times 10^{-2}$	$1,202 \times 10^{-3}$	$1,547 \times 10^{-6}$	$8,235 \times 10^{-10}$	
4	$P_{перехода}$ идеализированный случай экспериментальная оценка	$5,820 \times 10^{-2}$	$0,600 \times 10^{-3}$	0	0	
5	$P_{перехода}$ реальный случай теоретическая оценка	$8,124 \times 10^{-2}$	$1,688 \times 10^{-3}$	$4,521 \times 10^{-6}$	$1,855 \times 10^{-9}$	
6	$P_{перехода}$ реальный случай экспериментальная оценка	$5,860 \times 10^{-2}$	$0,700 \times 10^{-3}$	0	0	

Примечание:  $h \ INV0=0$

**Сравнение помехоустойчивости инвариантной системы и бинарной системы с амплитудной модуляцией при  $K=0,7$**

Таблица 4

N п/п	Получ. результаты	$INV1-INV_i \ i \in \{1,4\}$	$INV0-INV1$	$INV0-INV2$	$INV0-INV3$	$INV0-INV4$
		1	$h$ отношение сигнал/шум	0,494	0,989	1,484
2	$P_{ош}$ вероятность ошибки (когерентный прием с АМ модуляцией)	$3,25 \times 10^{-1}$	$2,42 \times 10^{-1}$	$1,460 \times 10^{-1}$	$8,05 \times 10^{-2}$	
3	$P_{перехода}$ идеализированный случай теоретическая оценка	$1,356 \times 10^{-1}$	$1,934 \times 10^{-2}$	$1,054 \times 10^{-3}$	$7,212 \times 10^{-6}$	
4	$P_{перехода}$ идеализированный случай экспериментальная оценка	$1,227 \times 10^{-1}$	$1,350 \times 10^{-2}$	$4,00 \times 10^{-4}$	0	

5	$P_{\text{перехода}}$ реальный случай теоретическая оценка	$4,457 \times 10^{-1}$	$2,567 \times 10^{-2}$	$9,940 \times 10^{-4}$	$4,132 \times 10^{-5}$
6	$P_{\text{перехода}}$ реальный случай экспериментальная оценка	$1,233 \times 10^{-1}$	$1,370 \times 10^{-2}$	$4,00 \times 10^{-4}$	0

Примечание:  $h \text{INV}0=0$

Помехоустойчивость ИСПИ, оцененная вероятностью попарного перехода в специальном случае функционирования ИСПИ, аналогичном функционированию бинарной системы с АМ при когерентном приеме превышает помехоустойчивость такой бинарной системы в худшем случае на порядок.

В четвертом разделе рассматриваются вопросы технической реализации ИСПИ.

Особенностью построения структуры передачи является следующее: одновременная подстройка на частоту несущей и поднесущей.

Это дает возможность на приемной стороне выделить когерентное колебание поднесущей и минимизировать вероятность ошибки.

Тракт приема включает в себя аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и спецвычислитель (СВ).

В спецвычислителе производится вычисление инвариантов на основе обработки АЦП результирующей работы расширенного синхронного детектора для опорных посылок и информационных элементов.

Для повышения верности в КВ каналах с глубокими замираниями используется решающая обратная связь, позволяющая передавать команды управления, которые приводят либо к повтору предыдущего блока передачи, либо к уменьшению объема информационной посылки.

Укрупненно тракт приема показан на рис. 3, состоящий из блоков

ВУ – входное устройство;

СД – синхронный детектор;

ФНЧ – фильтр низкой частоты;

ГОС – генератор опорного сигнала синхронного детектора;

АЦП – аналого-цифровой преобразователь;

СВ – спецвычислитель;

ОЗУ – оперативное запоминающее устройство.

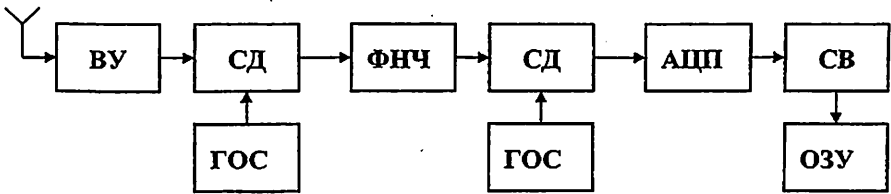


Рис. 3 Укрупненный тракт приема

В приложении приведены описания и листинги моделирующих программ, акт использования результатов диссертационной работы.

### Основные результаты и выводы

Теоретические и экспериментальные исследования, выполненные в диссертационной работе, позволяют сформулировать следующие основные результаты:

1. Исследована геометрическая модель канала передачи информации с переменными параметрами.
2. Предложено использовать метод относительной амплитудной модуляции в сочетании с заданием инвариантов при формировании сигналов передачи.
3. Предложена методика оценки помехоустойчивости инвариантной системы передачи информации.
4. Методом статистического моделирования подтверждена правильность основных теоретических выкладок.
5. Разработаны алгоритмы работы передающей и принимающей частей инвариантной системы передачи информации.

### Публикации по теме диссертации

1. Алгазин Е.И. Пути повышения скорости передачи и обработки информации в высокоскоростных СПД. // Российская научно-техническая конференция «Информатика и проблемы телекоммуникаций», г. Новосибирск, 1996, с. 58.
2. Алгазин Е.И. Обработка сигналов на базе отказоустойчивых транспьютерных систем. // Российская научно-техническая конференция «Информатика и проблемы телекоммуникаций», г. Новосибирск, 1996, с. 59.
3. Алгазин Е.И. Оценка эффективности оптимизации сигналов для кабельных линий связи. // Международная научно-техническая конференция «Информатика и проблемы телекоммуникаций», г. Новосибирск, 1997, с. 154.
4. Алгазин Е.И. Каноническая модель канала связи с переменными параметрами. // Международная научно-техническая конференция «Информатика и проблемы телекоммуникаций», г. Новосибирск, 1998, с. 28.
5. Алгазин Е.И. Оптимизация спектра группового сигнала инвариантной системы передачи сообщений. // III Международная конференция «Современные информационные технологии СИГ-98», г. Новосибирск, 1998 г., с.153.
6. Алгазин Е.И. Анализ помехоустойчивости инвариантного метода передачи сообщений методами статистического моделирования. // Российская научно-техническая конференция «Информатика и проблемы телекоммуникаций», г. Новосибирск, 2004 г., с.43.
7. Алгазин Е.И. Оценка помехоустойчивости инвариантной системы передачи сообщений. // Российская научно-техническая конференция «Информатика и проблемы телекоммуникаций», г. Новосибирск, 2005г., с.32.
8. Yu.I. Algazin. Geometrical Model of Communication Channels with Variable Parameters. // Microwave Electronics: Measurements, Identification, Applications / MEMIA, 2005. – Novosibirsk, Russia, 2005. – p.119-121.
9. Yu.I. Algazin, Malinkin V.B. Estimation of Noise Immunity of Invariant Message Transfer System. // Microwave Electronics: Measurements, Identification, Applications / MEMIA, 2005. – Novosibirsk, Russia, 2005. – p.138-141.

10. Алгазин Е.И. Геометрическая модель канала связи с переменными параметрами. // Вестник университетского комплекса. Выпуск 6 (20), г. Красноярск, НИИ СУВПТ, 2005.
11. Алгазин Е.И., Малинкин В.Б. Оценка помехоустойчивости инвариантной системы обработки информации. // Вестник университетского комплекса. Выпуск 6 (20), г. Красноярск, НИИ СУВПТ, 2005.

Подписано в печать 28.03.2006,  
формат бумаги 60x84/16, отпечатано на ризографе, шрифт №10,  
Усл. печ. л. 2,0, заказ № 43, тираж 100. СИБГУТИ  
630102, Новосибирск, ул. Кирова 86