

References

1. *Baklanov I.A.* SDH→NGSDH: practical look on the progress of transport net. — M.: Metrotek, 2006. — 56 p.
2. *Baklanov I.A.* NGN: principle of building and organizations. — M: Eko-Trendz, 2008. — 107 p.
3. *Kashin M.V.* Messenger of communication. — 2006.
4. *Gol'dshtein B.S.* Signalization in the communication of link. — M.: Radio and Communications, 2007. — 150 p.

УДК 53:004

Исследование влияния речевых кодеков на качество передачи цифрового сигнала

Reserch of voice codecs influence on the quality of digital signal transmission

Ищанова Ж.К., Амочаева Г.П.

Карагандинский государственный университет им.Е.А.Букетова (Zhan7688@mail.ru)

Мақалада дыбыстық кодектерді 4 КАМ сигналдарына әсер етуі қарастырылды. Бағалау жасанды модельдің көмегімен жүргізілді. Модель Bilder Borland C++ бағдарламасының негізінде құрастырылды. Алынған нәтижелерді сараптай отырып, бөгетке қарсы тұру қабілеттілік КАМ номеріне тәуелді екені анықталды. Берілген бағдарлама телекоммуникациялық қондырғыларды құрастыру кезінде және оқу үдерісінің барысында қолданылуы мүмкін.

In this article is reviewed the influence of voice codices to CAM signals. Estimation is done by using the imitation mode. The model is built by Borland C++Builder 6. Taken results show that drawback protection depends on the CAM number. This programmer can be used in development of new telecommunication devices and education process.

Актуальность этой темы заключается в том, что на данный момент передача данных по существующим телефонным каналам с помощью модема остается самым приемлемым и доступным видом связи, потому что для внедрения высокоскоростных технологий, таких как xDSL, Ethernet, передача данных в сетях мобильной связи 2-го и 3-го поколений, требуется модернизация сети связи и установка дорогостоящего оборудования. В телефонии используется передача данных по аналоговым каналам с помощью модема — технология dial-up. Это объясняется широким распространением и доступностью таких каналов, изначальное назначение которых — передача речи. Если в распоряжении абонента находится только аналоговый канал, то только модем может решить его задачи по передаче данных. Особенно востребованным модемный доступ остается на ведомственных сетях связи (например, на сетях энергетиков, нефтяников), а также в удаленных и малонаселенных районах Казахстана.

Передача данных по аналоговым каналам может осуществляться с использованием как одномерных сигналов амплитудно-импульсной модуляции (РАМ-технология), так и двумерных сигналов квадратурной амплитудной модуляции (КАМ-технология). Сейчас внедряются также цифровые участки, так как цифровой информацией легче управлять, она менее подвержена влиянию помех, ее легче выделять на фоне шумов и других искажений. Казахская телефонная сеть общего пользования содержит как аналоговые, так и цифровые участки.

В данной статье рассматривается влияние речевых кодеков на качество передачи цифровых сигналов по телефонным каналам, а именно влияние аналого-цифрового преобразователя на передачу КАМ-сигналов, так как эти сигналы подвергаются воздействию специфических искажений, которые невозможно смоделировать аддитивным гауссовским шумом, что связано с нелинейностью используемых квантователей. В связи с этим дальние от центра точки созвездий КАМ-сигналов подвержены более сильному воздействию искажений, чем ближние. Ряд проблем, касающихся влияния речевых кодеков, в частности, логарифмических, на качество передачи КАМ-сигналов, в научной литературе освещен недостаточно.

Оценка степени влияния речевых кодеков на качество передачи цифровых сигналов осуществляется путем компьютерного моделирования.

Для того чтобы произвести оценку степени влияния, нужно решить следующие задачи:

- произвести сравнительный анализ существующих методов аналого-цифрового преобразования речевых сигналов;
- проанализировать свойства сигналов квадратурной амплитудной модуляции (КАМ-сигналы);
- осуществить теоретический анализ влияния кодеков ИКМ (импульсно-кодовая модуляция) на качество передачи КАМ-сигналов;
- создать имитационную модель воздействия аналого-цифрового преобразования на КАМ-сигнал;
- исследовать полученную модель.

При выполнении поставленных задач были использованы методы теории цифровой обработки сигналов, теории цепей и сигналов, теории электрической связи, теории информации и случайных процессов, методы математической статистики и машинного моделирования.

Выбор пути решения поставленной проблемы заключается в том, что с помощью компьютерного моделирования создается имитационная модель воздействия квантователя речевого кодека на КАМ-сигналы, по которой можно оценить влияние как собственного шума системы — аддитивного шума, так и других шумов.

Для преобразования аналогового сигнала в цифровую форму могут использоваться различные методы кодирования — временные, частотные, параметрические. Методы частотного кодирования информации заключаются в модуляции информационным сигналом на так называемых несущих частотах. Методы временного кодирования заключаются в точном описании и воспроизведении формы колебаний во времени, т.е. мы кодируем непосредственно форму сигнала. К ним относятся: импульсно-кодовая модуляция (ИКМ) с равномерной и неравномерной шкалой квантования, дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (ДИКМ), дельта-модуляция, адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (АДИКМ), кодирование с разбиением на поддиапазоны. Параметрическое кодирование основывается на использовании вокодеров, которые используют анализ для преобразования и представления в сжатой форме и синтез для восстановления исходного речевого сигнала на основе его сжатого представления. Наилучшими принято считать методы временного кодирования, потому что с их помощью можно достичь лучшего уровня помехозащищенности сигнала. Из всех методов кодирования во временной области наибольшее распространение в цифровой телефонии получили методы ИКМ и АДИКМ, так как их реализация является простой, и в то же время полезный сигнал легче выделить на фоне помех, искажений и шумов преобразователей. ИКМ заключается в представлении непрерывного аналогового сигнала в форме последовательности равноотстоящих друг от друга импульсов (дискретизация по времени), амплитуда которых представлена двоичным кодом (квантование по уровню), а также кодированием. Подобное преобразование позволяет существенно повысить надежность передачи и хранения сигнала. АДИКМ является модернизированной версией ДИКМ, которая заключается в следующем: предсказывание текущего значения отсчета на основе предыдущих M -отсчетов. Ее модернизация заключается в том, что здесь квантователь и предсказатель адаптируются к меняющейся среде входного сигнала. Существует разновидность ДИКМ, называемая дельта-модуляция. Дельта-модуляция (DM) — это метод кодирования разностного сигнала. В DM-кодере подвергается кодированию ошибка кодирования, т.е. разница между исходным кодируемым сигналом и результатом кодирования. В результате создается поток данных, кодированных разностью. Этот поток данных (представляющий собой сигнал ошибки вычислений) является сигналом с низким битрейтом, который можно декодировать соответствующим декодером на приемной стороне, — таким образом достигается сжатие данных и низкая скорость передачи данных [1].

Международный стандарт электросвязи рекомендует использовать для передачи данных по телефонным каналам только двумерные сигналы КАМ-технологии, потому что они имеют два параметра преобразования — амплитуду и фазу, что является залогом наименьшего влияния помех и шумов. Одной из разновидностей двумерных сигналов являются КАМ-сигналы, которые получаем путем одновременного изменения амплитуды синфазной (I) и квадратурной (Q) компонент несущего гармонического колебания и сдвинутых по фазе друг относительно друга на $\pi/2$. Результирующий сигнал Z формируется в результате суммирования этих колебаний. Таким образом, КАМ-модулированный дискретный сигнал может быть представлен соотношением

$$Z_m(t) = I_m \times \cos(2\pi f_c t) + Q_m \times \sin(2\pi f_c t), \quad (1)$$

где t изменяем в диапазоне $\{(m-1)\Delta t \dots m\Delta t\}$; m — порядковый номер дискрета времени; Δt — шаг квантования входного сигнала по времени; p — шаг квантования входного сигнала по амплитуде; α_m и β_m — модуляционные коэффициенты ($I_m = \alpha_m \times p$, $Q_m = \beta_m \times p$) [2].

КАМ-модуляция получается путем одновременного кодирования амплитуды и фазы несущего колебания. Для данной модуляции характерно то, что при модулировании синфазной и квадратурной составляющих несущего колебания используется одно и то же значение шага изменения амплитуды, поэтому окончания векторов модулированного колебания образуют прямоугольную сетку на фазовой плоскости действительной — $\text{Re}\{Z\}$ и мнимой — $\text{Im}\{Z\}$ составляющих вектора модулированного сигнала. Число узлов этой сетки определяется типом используемого алгоритма КАМ. Схему расположения узлов на фазовой плоскости модулированного КАМ-колебания принято называть созвездием (constellation).

Для указания типа алгоритма КАМ принята следующая схема обозначения:

КАМ- \langle число \rangle .

Достоинствами алгоритма квадратурной амплитудной модуляции являются: относительно простая реализация, достаточно эффективное кодирование xDSL-сигналов, обеспечение высоких показателей спектральной эффективности, возможность построения на основе этой технологии высокоскоростных ADSL и VDSL-систем передачи данных по двухпроводной линии с частотным разделением принимаемого и передаваемого информационных потоков.

К недостаткам алгоритма можно отнести относительно невысокий уровень полезного сигнала в спектре модулированного колебания. Этот недостаток является общим для алгоритмов гармонической амплитудной модуляции и выражается в том, что максимальную амплитуду в спектре модулированного колебания имеет гармоника с частотой несущего колебания. Поэтому данный алгоритм в чистом виде достаточно редко используется на практике [3].

Так как сейчас внедряются цифровые участки, то оборудование ИКМ, отвечающее за преобразование аналоговой информации в цифровую, имеет большое влияние на качество передачи КАМ-сигналов. Речевой кодек представляет собой устройство в телефонной сети, состоящее из кодера/декодера, которое обладает определенной нелинейностью, обеспечивающей повышение эффективности квантователя для речевых сигналов. Эта нелинейность снижает производительность модемов. Такое снижение производительности прямо пропорционально увеличению скорости передачи данных [4].

В статье акцентируется внимание на влиянии логарифмического квантователя на качество передачи КАМ-сигналов.

Принципиальная модель исследуемой системы представлена на рисунке 1.

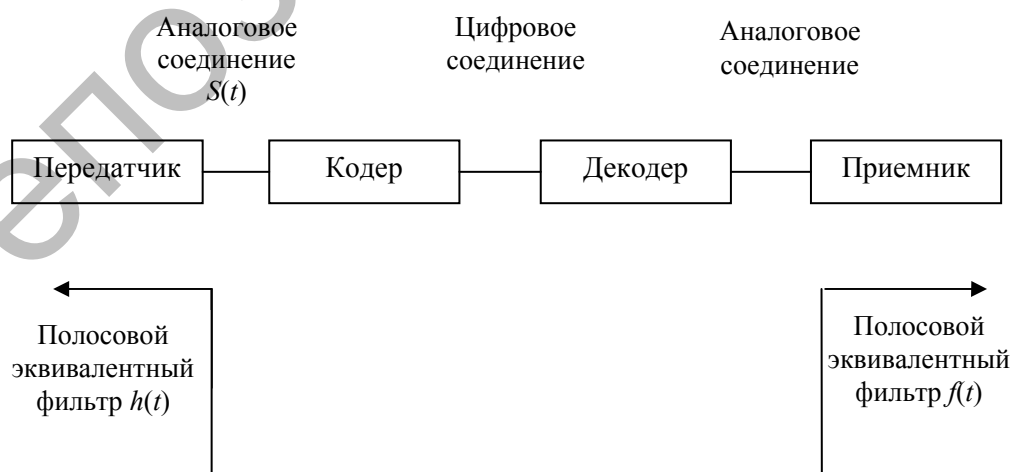


Рис. 1. Модель исследуемой системы

В ходе проведения анализа влияния речевого кодека на КАМ-сигнал были сделаны следующие выводы:

1. Кодек включает в себя логарифмический или нелинейный компандер, следовательно, ошибка каждого отсчета — равномерно распределенная случайная величина, пропорциональная величине отсчета.
2. Передаваемый сигнал порождается двумя видами шумов — мультипликативным и аддитивным, причем первый оказывает больше влияния на значение вероятности ошибки.
3. С ростом амплитуды отсчета растет и величина шума.
4. Шум имеет форму эллипса, однако ось эллипса не совпадает с радиальной осью точки созвездия.
5. Размер созвездия оказывает меньшее влияние на шум квантования, чем его форма.

Чтобы оценить влияние аддитивных и мультипликативных шумов на точки созвездия КАМ-сигналов, была создана имитационная модель влияния ИКМ-кодека на цифровой сигнал, передаваемый по телефонным каналам, потому что теоретическая оценка влияния шумов очень трудоемка и не дает наглядной картины сигнальных созвездий КАМ-сигналов. Программа имеет два модуля: первый используется для построения точек созвездия и составления графиков распределения шумов вокруг точек созвездия, второй — для расчета помехозащищенности сигнала и построения графика зависимости коэффициента ошибок от помехозащищенности по аддитивному и мультипликативному шумам.

Модель реализована в виде программы на языке высокого уровня C++ в среде Borland C++Builder 6. Она имеет ряд преимуществ, потому что выдает результаты для всех типов КАМ-сигналов. Достаточно ввести переменные исследуемого типа сигнала, и в зависимости от них будут выдаваться соответствующие результаты.

Первый модуль выводит количество ошибок, коэффициент ошибок и величину СКО шумов. Этот модуль доказывает, что передаваемый сигнал порождается двумя видами шумов — мультипликативным и аддитивным и с ростом амплитуды отсчета растет и величина шума.

На рисунке 2 приведено окно созданной программы первого модуля, в которой запрашиваются исходные данные для расчета количества ошибок, коэффициента ошибок и величин СКО шумов. Вводится число итераций, максимальное напряжение точки созвездия по одномерной оси и помехозащищенность по аддитивному и мультипликативному шуму соответственно.

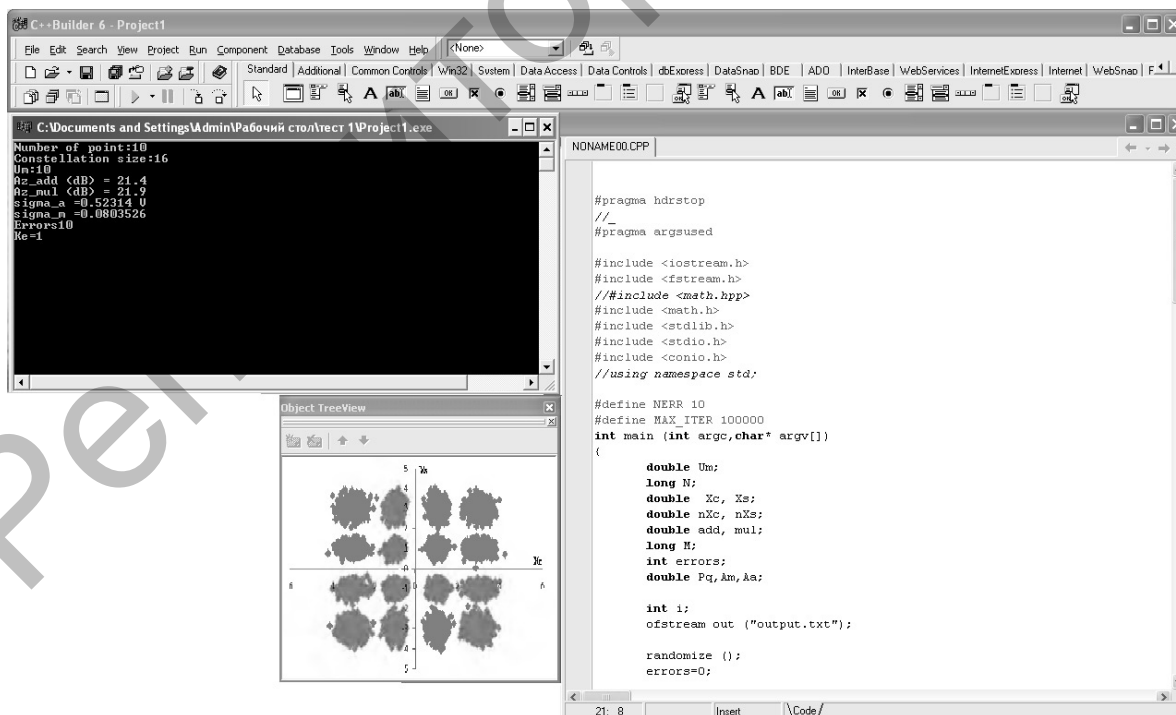


Рис. 2. Окно ввода-вывода расчетов первого модуля

Дальше строится сигнальное созвездие в зависимости от числа КАМ. Программа выдает наглядную картину распределения шума на векторограмме, где учитываются соотношения между мультипликативным и аддитивным шумами и вероятность ошибки. По полученным векторограммам видно, что шум имеет форму эллипса, причем ось эллипса не совпадает с радиальной осью точки созвездия.

Для примера в статье приведены результаты расчета программы для трех созвездий: КАМ-16, КАМ-64, КАМ-268. Вид сигнального созвездия зависит от соотношения между сигналом и шумом.

Для КАМ-16 сигнальные созвездия на входе решающего устройства при соотношении между сигналом и шумом, равном 17,5 дБ и 20 дБ, для вероятности ошибки 10^{-3} выглядят так (рис. 3):

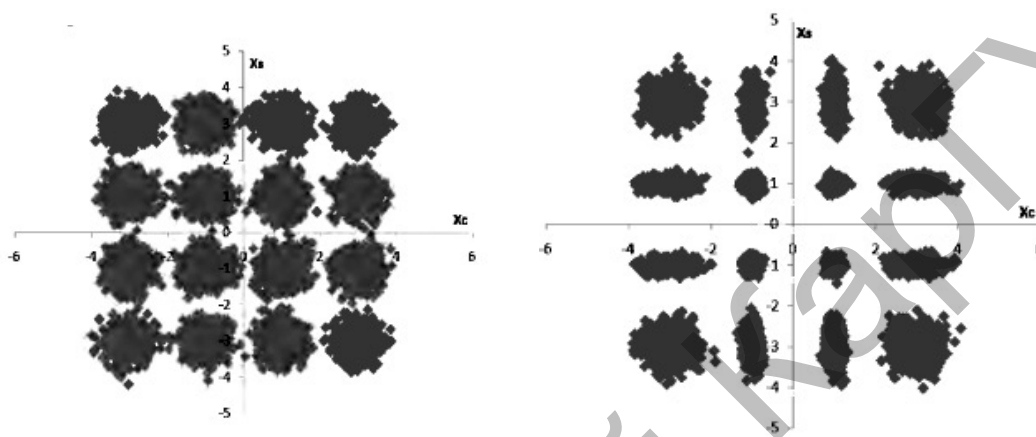


Рис. 3. Сигнальные созвездия КАМ-16 при $A_{3u} = 17,5$ дБ; $A_{3u} = 20$ дБ

Проанализировав полученные изображения, можно сделать вывод, что с ростом соотношения между сигналом и шумами точки созвездия теряют свою эллиптическую форму.

По результатам для КАМ-64 и КАМ-268: сигнальные созвездия на входе решающего устройства при соотношениях между сигналом и шумами, равных 23 дБ и 30 дБ соответственно, для вероятности ошибки 10^{-3} имеют вид (рис. 4):

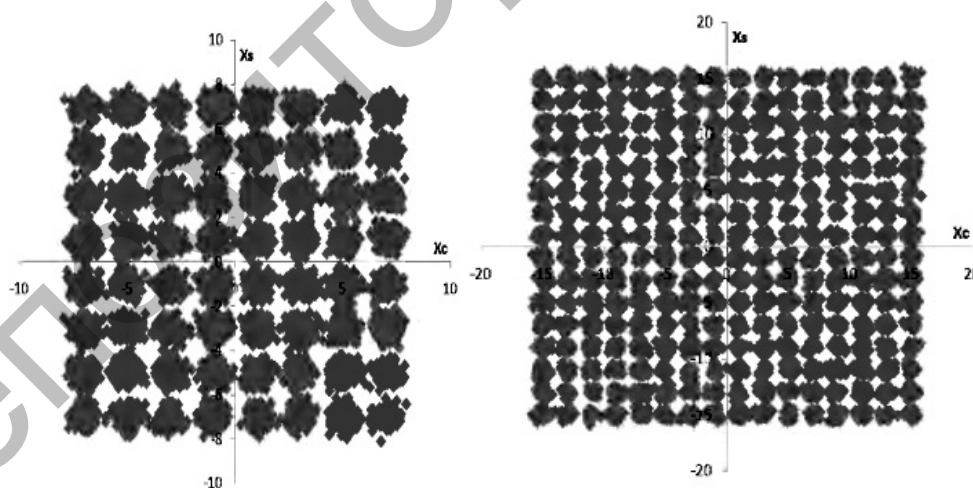


Рис. 4. Сигнальные созвездия КАМ-64 при $A_{3u} = 23$ дБ и КАМ-268 при $A_{3u} = 30$ дБ

Отличие их — в количестве точек созвездия.

Второй модуль программы предназначен для расчета помехозащищенности сигнала и построения графика зависимости коэффициента ошибок от помехозащищенности по аддитивному и мультипликативному шумам.

На рисунке 5 представлено расчетное окно второго модуля. Запрашиваются такие исходные данные сигнала, как вид КАМ, максимальное напряжение точки созвездия по одномерной оси и область, на которой нужно исследовать помехозащищенность, т.е. максимальное и минимальное значения, а также нужно выбрать вид исследования по аддитивному либо по мультипликативному шуму.

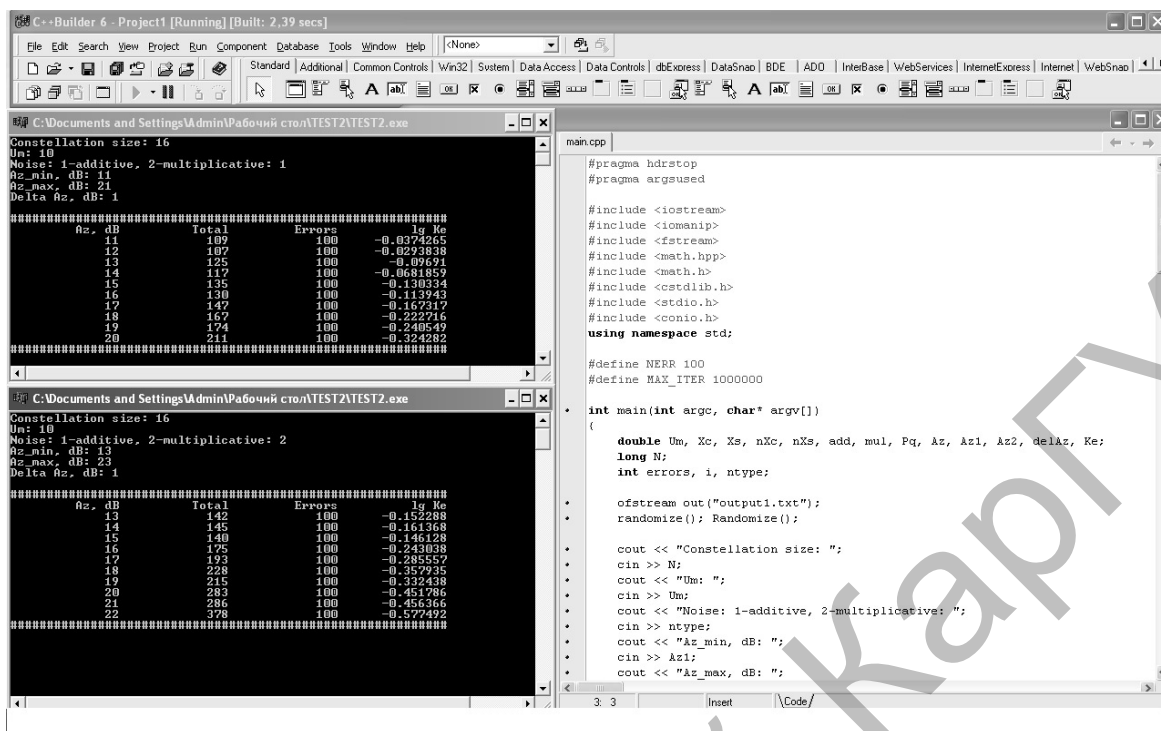


Рис 5. Окно ввода-вывода второго модуля для КАМ-16

Характеристики ошибок (рис. 6) получены с помощью программы Curves.

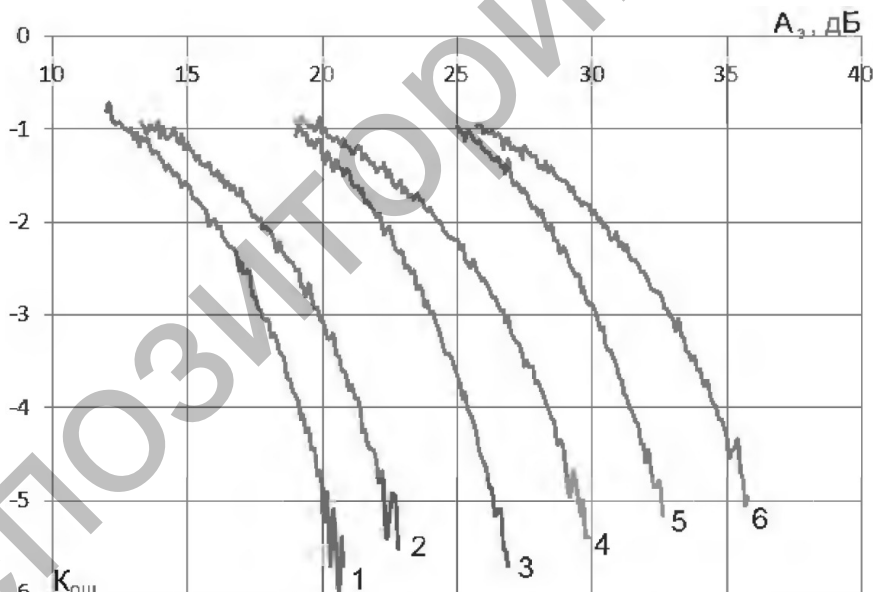


Рис 6. Характеристики ошибок

Кривые 1 и 2 соответствуют созвездию КАМ-16, кривая 1 описывает зависимость коэффициента ошибок от помехозащищенности по аддитивному шуму, кривая 2 — от помехозащищенности по мультипликативному шуму.

Кривые 3 и 4 соответствуют созвездию КАМ-64 и также описывают зависимость коэффициента ошибок от помехозащищенности по аддитивному и мультипликативному шумам.

Кривые 5 и 6 соответствуют созвездию КАМ-256.

Поскольку при передаче КАМ-сигнала по телефонному каналу в системе присутствует как аддитивная, так и мультипликативная составляющие шума, реальная кривая будет лежать между кривыми, построенными для случаев чисто аддитивного и чисто мультипликативного шумов.

В ходе проведения компьютерного исследования влияния речевых кодеков на качество передачи цифровых сигналов с помощью компьютерного моделирования были сформулированы выводы.

1. Разработана программа, которая дает оценку степени влияния речевых кодеков на качество передачи КАМ-сигналов путем компьютерного моделирования.

2. Из полученных результатов имитационной модели первого модуля видно, что с ростом соотношения между сигналом и шумом точки созвездия теряют свою эллиптическую форму, что подтверждает теоретические выкладки.

3. Второй модуль программы показывает, что с ростом номера КАМ-сигнала растет его помехозащищенность, мультипликативный шум оказывает более существенное влияние на значение вероятности ошибки и, соответственно, требует большей помехозащищенности.

4. Данную программу можно рекомендовать для специалистов в области разработки телекоммуникационной аппаратуры и в учебном процессе при подготовке бакалавров радиотехники, электроники и телекоммуникаций. Как видно из приведенных графиков, мультипликативный шум оказывает более существенное влияние на значение вероятности ошибки и соответственно требует большей помехозащищенности (на 2–3 дБ) для обеспечения требуемой вероятности ошибки.

References

1. *Bellami Dj.* Digital telephony. — М.: Eko-Trendz, 2004. — 640 p.
2. *Kuricyn S.A.* Base of construction telecommunication system of transmission. — SPb.: Information centre of choice, 2004.
3. *Rabiner L.R., Shafer R.V.* Digital processing of speech signal. — М.: Radio and connection, 1981. — 463 p.
4. *Kruhmalev V.V., Gordienko V.N., Mochenov A.D.* Digital system of transmission // Hot line. — Telecom, 2007. — 350 p.