

УДК 621.396.43

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВИЗИРОВАННЫХ АНАЛОГОВЫХ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СТАНЦИЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВОГО ПОТОКА КОМБИНИРОВАННОЙ МОДУЛЯЦИИ

НАРЫТНИК Т.Н.

Национальный технический университет Украины “КПИ”

ANALYSIS OF EFFICIENCY DIGITIZED ANALOGUE RADIO-RELAY LINK STATIONS ON TECHNOLOGY OF THE USE OF THE COMBINED MODULATION FOR DIGITAL STREAM TRANSMISSION

THEODOR N. NARYTNYK

National technical university of Ukraine “KPI”

***Аннотация** Увеличение объема передаваемой по магистральным направлениям цифровой информации, высокая стоимость развертывания линий передачи цифровой информации на базе современных цифровых технологий – SDH, PDH, линий ВОЛС сделало актуальным использование для передачи цифровых потоков развернутые аналоговые радиорелейные линии (РРЛ). В статье приводится анализ эффективности РРЛ, использующих модуляцию потока символов 64-QAM и использующих аппаратуру, мачты, антенны радиорелейных станций и линий, развернутых ранее для передачи информации в аналоговом формате.*

***Abstract** Increase of volume of transferrable digital information on main directions, high cost developments of opening out of digital information on the base of modern digital technologies – SDH, PDH, lines of FOL did actual the use for the transmission of digital streams the unfolded analog lines. In the article an analysis over of efficiency of line is brought using modulation of stream of symbols 64-QAM and using an apparatus, masts, aerials of the stations and lines, unfolded before for an information transfer in an analog format.*

ВВЕДЕНИЕ

Возникшая настоятельная необходимость передачи большого числа дополнительных телевизионных программ и цифровых потоков данных, в том числе по радиорелейным линиям (РРЛ), определила необходимость жесткой экономии частотного ресурса при необходимости освобождения полосы радиочастот 3400–3600 МГц от использования ее радиорелейными линиями.

Стоимость разворачивания РРЛ современных технологий (SDH, PDH) часто оказывается слишком высокой. Использование технологий ВОЛС эффективно и целесообразно сегодня на магистральных направлениях. На местных и оконечных (особенно в сельских и пригородных районах) оказывается слишком дорогой и, следовательно, экономически неэффективной.

Поэтому сегодня встала проблема использования имеющейся сети аналоговых РРЛ для передачи информации в цифровом формате. Вопросам цифровизации линий на основе аналоговых радиорелейных станций (РРС) посвящено ряд публикаций и технических решений [1–6], в частности, патентами [5, 6] предлагаются технические решения, позволяющие использовать практически все оборудование аналоговой РРС, к которому добавляется формирователь промодулированного цифрового потока с последующей частотной модуляцией (ЧМ) в передающем тракте и частотной демодуляцией в приемном тракте средствами аналоговой РРС.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В работе исследовалась техническая эффективность системы с комбинированной (двойной модуляцией) согласно [5, 6], обеспечивающая максимум экономической эффективности.

Экономическая эффективность максимальна, если использовать существующие мачты, аппаратуру РРЛ. Технические решения, предлагающие пути решения такой задачи представлены в [5, 6]. Повышение эффективности (спектральной, в первую очередь) повысит и экономическую эффективность.

Для повышения спектральной эффективности канала связи целесообразно использовать многопозиционную, например, амплитудно-фазовую (QAM) модуляцию. Ее использование решает задачу повышения спектральной эффективности за счет снижения символьной скорости при равных битовых скоростях. Это позволяет использовать штатное оборудование радиорелейных станций для реализации частотной модуляции символов. Таким образом, по каналу передается ЧМ сигнал, который использует ограничение уровня для подавления паразитной амплитудной модуляции, как у обычной аналоговой радиорелейной линии при передаче ЧМ сигнала.

В работе проводилось исследование эффективности применения комбинированной (двойной) модуляции в условиях реального применения радиорелейных линий (РРЛ).

Анализ проводился на основе алгоритмической модели, передающая часть канала связи которой показана на рис. 1. Стрелка 8 показывает точку результирующего влияния искажения сигнала за счет характеристик передающего тракта ЧМ.

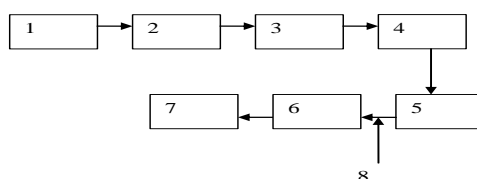


Рисунок 1 – Алгоритмическая схема передающего тракта

1 – источник информации (контента);

2 – аппаратура оцифровки контента и формирования потока SDI, аппаратура сжатия мультиплексирование и формирование общего транспортного потока (например, ASI);

3 – модулятор в стандарте DVB – C;

4 – преобразователь частоты сигнала;

5 – частотный модулятор;

6 – выходной линейный тракт;

7 – антенна;

8 – искажение сигнала при ЧМ.

На рис. 2 показана алгоритмическая схема приемной стороны канала связи

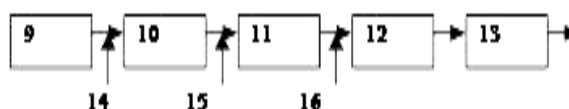


Рисунок 2 – Алгоритмическая схема приемного тракта

9 – антенна;

10 – приёмный линейный тракт;

11 – демодулятор ЧМ;

12 – цифровой демодулятор;

13 – декодер;

14 – искажающие факторы на входе линейного тракта приемопередатчика;

15 – искажающие факторы на входе демодулятора ЧМ, которые определяют отношение сигнал/шум (реальное в канале и требуемое для качественного приема);

16 – искажающие факторы на входе цифрового демодулятора, которые определяют отношение сигнал/шум (реальное в канале и необходимое для качественного приема).

Задачей исследования являлось определение помехоустойчивости оцифрованного канала связи, реализованного на РРЛ с использованием существующего мачтового оборудования. При этом длина пролетов должна быть не меньше длины в аналоговой РРЛ, базирующейся на станциях типа «Курс». Требовалось также определить параметры формирователя цифрового потока, обеспечивающие приемлемое качество передачи экономической эффективности.

Анализ проводился по приведенной выше алгоритмической модели.

Здесь считалось, что формирователь потока (узлы 2 и 3 алгоритмической модели) выполнены в соответствии со стандартом [7] и искажения, вносимые формирователем, не превышают требования стандарта. Параметры узлов линейного тракта (узел 4) соответствуют вносимым искажениям на нулевом уровне энергетических потерь [8]. Таким образом, в передающем тракте ожидаемыми источниками мешающих воздействий являются частотный модулятор и тракт б, соответствующий требованиям, предъявляемым к передаче аналогового частотно модулированного сигнала.

На приемной стороне источником искажений также могут быть штатные узлы линейного тракта и демодулятор ЧМ (ЧМД).

Известно, что повышение индекса модуляции ЧМ приводит к расширению полосы частот, занимаемой частотно модулированным сигналом, и к снижению отношения сигнал/шум на выходе ЧМД.

Для приближенной оценки ширины полосы пропускания ВЧ тракта при передаче по радиорелейной системе передачи (РРС) используют формулу Карсона [9]:

$$DF = 2 Df_{\text{пик}(0,1\%)} + F_{\text{вгр}} = 2F_{\text{вгр}} (1 + m_{\text{пик}(0,1\%)})$$

где $F_{\text{вгр}}$ – верхняя частота группового сигнала (приблизённо может определяться как $F_{\text{вгр}} = 4 \text{ кГц} \cdot N$).

$$m_{\text{пик}(0,1\%)} = Df_{\text{пик}(0,1\%)} / F_{\text{вгр}}$$

$m_{\text{пик}(0,1\%)}$ – квазипиковый индекс модуляции, зависящий от квазипиковой мощности $P_{\text{пик}(0,1\%)}$, превышаемой в течение 0,1 % времени.

В нашем случае полоса пропускания тракта промежуточной частоты $\Delta F_{\text{чм}}$ определится следующим соотношением:

$$\Delta F_{\text{чм}} \gg 1,1(2 D f_D + 2 F_{\text{max}}) \approx 27 \text{ МГц}$$

где Δf_D – предельно допустимая девиация промежуточной частоты, $F_{\text{max}} \approx 8,5 \text{ МГц}$ – максимальное значение частоты группового сигнала ТВ ствола.

Отношение сигнал/шум на выходе ЧМД будет зависеть общеизвестным образом от отношения сигнал/шум на его входе и от индекса модуляции.

Так, для ЧМ телевизионных сигналов отношение сигнал/шум (S/N) на выходе демодулятора может быть вычислено следующим образом:

$$S/N = C/N + 10 \log \left[3 f_{\text{p-p}} / f_v^2 \right] + 10 \log b / 2 f_v + k_w, \text{ дБ}$$

где S/N – размах сигнала яркости по отношению к эффективному значению взвешенного шума, дБ;

C/N – отношение несущая /шум, дБ;

$f_{\text{p-p}}$ – размах девиации видеосигнала с учетом синхроимпульсов, Гц;

f_v – верхняя частота модуляции видеосигнала, Гц (конкретные параметры используемых аналоговых систем цветного телевидения, включающие коэффициент взвешивающего фильтра шумов (шумы треугольной формы) приведены в таблице ниже);

b – полоса частот радиоканала (обычно принимаемая равной $F_{\text{p-p}} + 2 f_v$), Гц;

k_w – коэффициент, обусловленный линейными предискажениями и взвешивающим фильтром в системах ЧМ, дБ.

Передающий и приемный тракты, указанные в алгоритмической модели соединяются эфирным радиоканалом при распространении, по которому радиосигнал подвергается воздействию ряда факторов: увеличение потерь на трассе распространения на величину в зависимости от длины трассы, ситуации на трассе, в сигнал добавляется тепловой шум различного происхождения, чем уменьшается отношение сигнал/шум на входе приемника; подвергается воздействию фиксированной сигналоробной помехи и прочим.

Сигнал на входе цифрового демодулятора будет подвержен искажениям, вызванным всеми мешающими факторами – МФ, действующими в канале связи. Степень искажения сигнала определяет помехоустойчивость и помехозащищенность канала связи. Оценка влияния искажения различными факторами при различных видах цифровой модуляции в канале связи по критерию потерь энергии приведена, в частности в [8]. При этом следует учесть, что в канале связи цифровой сигнал подвергается частотной модуляции, которая, с одной стороны, сглаживает влияние МФ, а, с другой – ее наличие само является источником МФ.

Так наличие ЧМ, ограничения уровня на входе приводят к уменьшению искажений за счет влияния фиксированной помехи, фазового джиттера и некоторых других. Но ряд факторов не нормируется в канале с ЧМ (или степень нормирования не соответствует требованиям к каналу с определенным видом модуляции).

Целью анализа было определение величины отношения сигнал/шум на входе цифрового демодулятора 12. Было получено выражение, позволяющее оценить величину отношения сигнал/помеха на входе цифрового демодулятора при воздействии в канале передачи гармонического сигнала и узкополосного Гауссова шума на частотный детектор:

$$C/P_{\text{вых}} = 3 \cdot w_D / W_{\text{max}}^2 \cdot C/P_{\text{вх}},$$

где $w_D / W_{\text{max}} = m$ – индекс угловой модуляции; $C/P_{\text{вых}}$ и $C/P_{\text{вх}}$ – отношение сигнал/помеха на входе и выходе соответственно.

При индексе угловой модуляции, используемом в РРС (в частности “Курс”), при ожидаемом воздействии в канале связи Гауссова шума и гармонической помехи отношение сигнал/помеха на выходе демодулятора ЧМ (или на входе демодулятора цифрового потока) будет превышать значение такого отношения на входе демодулятора ЧМ на величину около 5дБ.

То есть, в идеальных условиях в канале связи помехоустойчивость канала с двойной модуляцией будет (в качестве внутренней модуляции используется 64-QAM и стандарт DVB-C) практически равна каналу передачи информации в аналоговом формате с ЧМ и даже иметь некоторый выигрыш. Это позволяет использовать существующие мачты, антенные системы, созданную инфраструктуру, обеспечивая резервирование, контроль качества и т.п. средствами наличных аналоговых линий связи.

Этим максимально удешевляется прокладка цифровых каналов связи.

Использование алгоритма, базирующегося на такой модели, позволил получить следующие результаты.

Показано, что при использовании комбинированной модуляции в канале связи действуют как помехи, влияние которых достаточно точно предсказуемо, так и факторы, нерегламентированные в аппаратуре передачи информации в аналоговом формате. Так, например, фазовый джиттер не регламентируется при передаче контента в аналоговом формате. Некоторые параметры не удовлетворяют требованиям при передаче цифрового потока. Например, нестабильность частоты при передаче аналогового телевидения нормируется на уровне 10^{-5} , а при передаче потока КАМ-64 требуется 10^{-6} .

Уровень нерегламентированных факторов, во-первых, не известен точно, а во-вторых, он может изменяться в процессе эксплуатации, в том числе за счет износа оборудования, поскольку не контролируется и не поддерживается в процессе технической эксплуатации.

В принципе, воздействие таких помех на частотно модулированный сигнал вносит в него искажения, которые не приводят к существенному (заметному) ухудшению качества аналогового телеви-

зионного контента. Однако, искажения в ЧМ сигнале могут приводить к искажениям символов, полученных в результате цифровой модуляции, которые могут привести к недопустимым ошибкам после цифровой демодуляции, требующих специальных процедур для восстановления качества.

Рассматривался вариант использования модуляции 16QAM и 64QAM.

Анализ влияния регламентированных факторов на канал связи в случае использования комбинированной модуляции (DVB-C-ЧМ) в условиях Гауссовой модели канала при выполнении комплекса процедур, связанных с обеспечением значений подавления фиксированных и прочих помех при использовании первичной модуляции 16QAM приводит к выигрышу в требуемом отношении мощности сигнала к мощности шума на входе приемного устройства и создает запас помехоустойчивости приблизительно на 8...9 дБ по сравнению с передачей аналогового сигнала. При этом снижается значение пик-фактора. Т. е., обеспечивается достаточная помехоустойчивость на пролете радиорелейной линии, которая практически равна помехоустойчивости аналогового канала связи при минимуме мешающих факторов. При использовании модуляции 64QAM величина запаса снижается до 2...3 дБ. Хотя использование данной модуляции в принципе позволяет организовать передачу по многопролетной РРЛ, однако, из-за малого запаса даже при условиях, близких к идеальным, воздействие ряда мешающих факторов может привести к условиям неприемлемым для качественной передачи.

В число таких факторов, влияние которых может ухудшить качество передачи, входят нерегламентированные факторы, могущие изменить картину, по крайней мере, на нескольких интервалах РРЛ и при воздействии ряда помех (рефракционного или интерференционного типа).

Как говорилось выше, степень влияния нерегламентированных помех существенно зависит от вида (позиционности) модуляции, реальной обстановки на трассе.

В процессе исследований рассмотрено сравнение характеристик передачи каналов DVB-C и DVB-T, поскольку по каналу DVB-T, использующего модуляцию COFDM, в принципе возможна передача телевизионного контента, транспортного потока. При этом возможна качественная передача в условиях воздействия отраженных (эхо) сигналов.

Рассматривалась зависимость скорости передачи информационного потока (bit rate) в полосе 8 МГц и модуляций поднесущих 64-QAM от скорости кодирования при разных значениях защитного интервала в стандарте DVB-T и в стандарте DVB-C (модуляция 64-QAM, код Рида Соломона 188, 204, 16).

СРАВНЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛОВ DVB-C И DVB-T

Результат показан на рис. 3. Здесь по оси ординат отложено значение пропускной способности в Мбит/с, по оси абсцисс – значения кодовой скорости, четыре кривых, приведённых для разных защитных интервалов в стандарте DVB-T. Сдвоенной прямой показана пропускная способность канала в стандарте DVB-C.

СРАВНЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КАНАЛОВ DVB-C И DVB-T

Зависимость помехозащищённости при модуляции поднесущих 64-QAM от скорости кодирования при разных значениях защитного интервала в стандарте DVB-T и в стандарте DVB-C (модуляция 64-QAM, код Рида Соломона 188, 204, 16) показана на рис. 4.

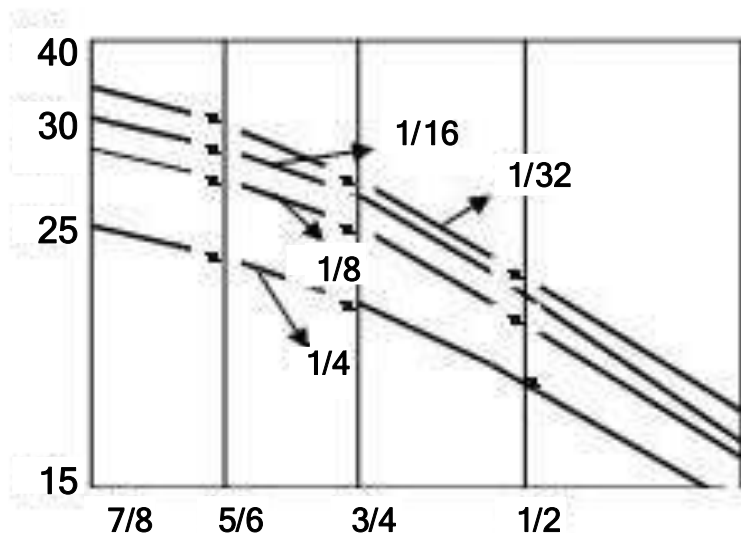


Рисунок 3 – Залежність пропускної здатності каналу зв'язу від конфігурації формувача цифрового потоку – стандарти DVB-C та DVB-T

По осі ординат відкладено відношення С/Ш в дБ, по осі абсцис - швидкість внутрішнього кодування для DVB-T; сдвоєна пряма - канал DVB-C. Графік показує відношення С/Ш на вході демодулятора: для каналу DVB-C, при якому на цифровому виході буде квазібезошибочна послідовність ($BER = 10^{-12}$); для каналу DVB-T на виході декодера Вітербі $BER = 2 \times 10^{-4}$.

Из приведенной информации видно:

- спектральна ефективність каналу DVB-T значно нижче спектральної ефективності каналу DVB-C в першу чергу за рахунок захисних інтервалів та надлишків кодування (різниця більше ніж на 10 дБ);
- енергетична ефективність каналу DVB-T трохи вище, ніж DVB-C за рахунок використання каскадного кодування. В частині, в конфігурації з мінімальною різницею спектральної ефективності (около 10 дБ) різниця в енергетичній ефективності становить около 1 дБ.

АНАЛІЗ І ОПРЕДЕЛЕННЯ СХЕМИ ФОРМУВАЧА ПОТОКА С КОМБІНОВАНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

Як показано, наприклад, в [7] мінімальне відстання між констеляційними символами в енергетичному просторі для QAM модуляції становить величину $A\sqrt{E}$, де значення А залежить від виду (позиційності) модуляції, Е - енергія на біт.

То є, зменшення відстання за рахунок впливу перешкоджаючих (искажаючих) факторів (МФ) може бути компенсовано підвищенням Е. Степень такого підвищення власне і є втраченими енергіями. Цей параметр залежить від рівня МФ, його виду, типу модуляції сигналу, аналізованої величини BER і пр.

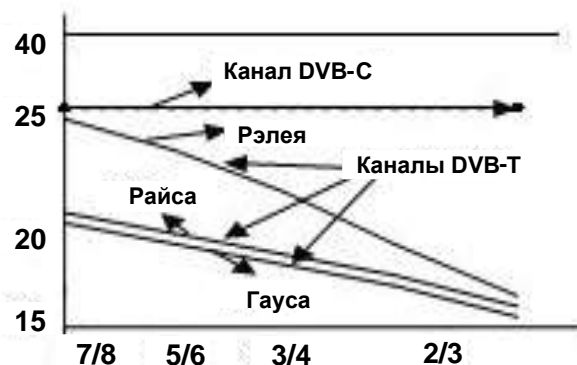


Рисунок 4 – Залежність помехостійкості в різних моделях каналу DVB-T і DVB-C

Как указывалось в [7], некоторые искажения не могут быть скомпенсированы увеличением энергетике, и они должны быть исключены на стадии проектирования, например, нелинейные искажения, или учтены как шумовые потери, уменьшая запас по энергетике, но должны учитываться при оценке помехостойкости канала связи и реализовываться, как показано, например, в [7].

На базе анализа исследований были получены зависимости потерь энергетике для факторов и вида модуляции разного типа. Оценка велась для уровня BER на входе декодера (выходе демодулятора), равного 10^{-3} , что позволяет использовать эти результаты для разных протоколов передачи.

Базируясь на приведенных выше результатах, делаем вывод, что помехозащищенность канала связи определяется уровнем помехи (отношением уровня сигнала к уровню помехи) на входе цифрового демодулятора.

Такой параметр определяется уровнем сигнала на входе приёмного тракта, т. е. энергопотенциалом канала связи (мощностью передатчика, коэффициентом усиления передающей и приемной антенн), затуханием сигнала на трассе распространения, уровнем помехи на входе демодулятора.

Уровень и характер помехи зависит от помеховой обстановки на трассе, потерь во входном приёмном тракте, искажением сигнала за счёт неидеальности параметров передаточного и приемного оборудования.

Параметры помеховой обстановки на трассе определяются при развертывании линии, потери во входных трактах приемопередатчика определяются качеством оборудования РРЛ. Характеристики модуляционного тракта определяются используемым стандартом.

Как видно из алгоритмической схемы, на качество передачи влияют как внешние, так и внутренне аппаратные помехи. При передаче цифровой информации с использованием трактов передачи аналоговой линии связи, ряд параметров такого тракта может отвечать требованиям цифровой передачи, не отвечать, или быть нерегламентированными.

На искажение сигнала влияют нерегламентированные характеристики РРС, о которых упоминалось выше.

Определение влияния нерегламентированных факторов оборудования РРЛ

Пусть в результате определения помеховой обстановки выяснено:

На входе приемного тракта действует сигналподобная помеха в полосе сигнала, подавленная на 30 дБ.

При коэффициенте модуляции, равном 0,11, отношение С/П на входе цифрового демодулятора составит величину на 15 дБ меньше, чем на входе аналогового демодулятора ЧМ.

При использовании модуляции 64-QAM на входе этого демодулятора следует иметь отношение С/П на уровне около 30дБ т. е. на входе демодулятора ЧМ не меньше 45–50 дБ.

Наличие сложной помеховой ситуации существенно может уменьшить запас помехозащищенности при построении ретрансляционных линий большой длины за счет накопления препятствий (гауссовых, фиксированных и других).

Влияние нерегламентированных, мешающих факторов и несоответствие их параметров требованиям цифровой передачи, также может значительно уменьшить применимость такой технологии.

Показанные в данном разделе главные требования к трактам передатчиков и приемопередатчиков цифрового ТВ контента (которые в данном случае базируются на оборудовании аналоговой передачи) часто или не отвечают требованиям, которые предъявляются к аппаратуре цифровой передачи, или не регламентированные в данном оборудовании, а, значит – негарантированные. Поэтому предыдущее планирование можно выполнить с использованием расчета запаса энергетика. Запас энергетика канала связи вычисляется как разница уровня сигнала на входе приемопередатчика в условиях отсутствия мешающих факторов и потерь энергетика из-за влияния МФ, как показано в [7].

Поскольку изменение уровня E не только изменяет евклидово расстояние между символами, но и отношение C/W , которое может быть реализовано на входе демодулятора, то появляется возможность вычислить соответствие помехоустойчивости канала связи требованиям.

Накапливание искажений по трассе рассчитываются по известным методикам, и это позволяет определить длину пролетов, число пролетов после которого следует выполнить возобновление (регенерацией) цифрового потока, какое обычно выполняется получением исходной последовательности с дальнейшей ее повторной модуляцией. Когда предусматривается использование имеющейся инфраструктуры, то выполняется проверка качества передачи на имеющихся мачтах и трактах.

Вклад оборудования РРЛ в искажение сигнала следует измерять на каждом интервале (например, по предложенной выше методике).

Предварительная оценка требований к нерегламентированным факторам может быть следующей:

- нестабильность частоты несущей.

Как показано выше, несоответствие составляет: для аналогового ТВ – 500 Гц, для цифрового – 100 Гц. Допустимая ошибка оценки фазы колебания ($64 - \text{QAM}$, вероятность ошибки – 10^{-6}) для реализации потерь энергетика 0,5 дБ не должна превышать 1° .

Определить величину искажений целесообразно экспериментальным методом.

- джиттер несущей.

В РРС не нормируется и для 64-QAM по критерию "отношения сигнал/эквивалентен гауссов шум" должен складываться на уровне энергетических потерь не меньше 40 дБ. Здесь под понятием "эквивалентный гауссов шум" имеется в виду аддитивное энергетическое влияние эквивалентное объединенному влиянию всех причин, которые вызывают джиттер несущей.

Значение джиттера и его влияние на величину искажения символов в канале РРЛ из ЧМ также целесообразно определять экспериментальным методом.

Следует иметь в виду, что некоторые параметры, регламентированные в аналоговой РРЛ, не соответствуют требуемым при передаче цифрового потока. Так, например, нестабильность частоты при передаче телевизионного сигнала в аналоговом формате нормировано по уровню 10^{-5} . Для потока QAM-64 требуется не более 10^{-6} .

Рассчитанное значение помехоустойчивости по стандартному способу, изложенному выше, допускало качественную передачу на расстоянии, равном 6 пролетам. Эксперимент, проведенный на 6 пролетах, показал удовлетворительный результат при наличии на одном из пролетов замираний не более 40 дБ. При увеличении замираний до 42 дБ качество передачи становилось неудовлетворительным. Для учета влияния нерегламентированных и не полностью соответствующих факторов следует определить их влияние на вносимые ими искажения передаваемого сигнала.

Была разработана методика измерения степени влияния указанных факторов на качество передачи по линии связи.

Для исключения влияния факторов на трассе распространения указанная методика основывалась на измерениях в условиях Гауссова канала в лабораторных условиях (трасса распространения имитируется волноводным трактом, в который включается аттенюатор для создания потерь, в соответствии с потерями на трассе). Качество передачи рассчитывается и измеряется по условию одинаковой

длины линии связи. Определяется разница между вычисленным и измеренным значениями помехоустойчивости $- \left[P_c / P_{ш} \right]_{\text{вычисл}} dB - \left[P_c / P_{ш} \right]_{\text{измер}} dB$. Полученная разница показывает эквивалентные шумовые потери за счет нерегламентированных и не соответствующих для передачи цифрового потока факторов.

Полученное значение используется для определения параметров передачи, необходимых для решения поставленной задачи.

ВЫВОДЫ

Цифровизация аналоговой РРС с использованием комбинированной модуляции (в качестве первичной - цифровая DVB-C, а в качестве вторичной – аналоговая частотная ЧМ) предоставляет следующие преимущества:

- передается большее число информации в одинаковом частотном ресурсе (повышается спектральная и информационная эффективность) по сравнению с каналом, использующим только ЧМ (канал передачи в аналоговом формате);
- используются аппаратура и наличные средства аналоговых РРС (управление, резервирование и пр.);
- используются имеющееся мачтовое оборудование;
- снижается пикфактор сигнала, а, значит, и стоимость передающих трактов;
- сохраняется существующая сеть РРЛ.

Вместе с тем, при цифровизации аналоговых РРЛ в соответствии с разработанной авторами методологией следует учитывать следующие особенности:

- характеристики трактов РРЛ не полностью соответствуют передаче цифрового потока, что порождает нерегламентированные и несоответствующие требованиям мешающие факторы, что может ограничить число пролетов с требуемым показателем готовности. Это может потребовать снижения порядка модуляции (например, QAM-16 вместо QAM-64);
- занимаемый частотный ресурс существенно превышает требуемый для передачи потока с однослойной (цифровой) модуляцией;
- оборудование РРС должно быть испытано на предмет оценки влияния внутростанционных факторов.

Использование комбинированной модуляции (в качестве первичной - цифровая модуляция COFDM) позволяет осуществлять передачу в условиях воздействия отраженных сигналов, но при этом теряется до четверти пропускной способности. При использовании стандарта DVB-T пропускная способность уменьшается еще сильнее за счет избыточности внутреннего кодирования.

Поэтому использование модуляции COFDM в качестве первичной (внутренней) целесообразно при необходимости передачи небольшого объема информации в условиях воздействия отраженных сигналов (например, при связи морское судно – береговая станция и т.п.). Число пролетов должно быть минимальным из соображения максимального использования частотного ресурса на всех пролетах.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ильченко М.Е. Система передачи многопрограммного телевизионного потока и цифрового потока данных по каналам аналоговых радиорелейных линий./ Ильченко М.Е. Нарытник Т.Н., Войтенко А.Г и др. – М: “Электросвязь”. – 2008, №3. – С.10–14.
- 2 Ильченко М.Е. Использование метода комбинированной модуляции в микроволновых телекоммуникационных системах передачи данных/ Ильченко М.Е., Нарытник Т.Н., Илюшко В.М. // - Харків: Радіоелектронні і комп'ютерні системи, Харків. – №2 (36). – С.71-77.
- 3 Нарытник Т.Н. Система передачи многопрограммного телевизионного потока и цифрового потока данных Еврика-VBV по каналам аналоговых радиорелейных линий./ Т.Н. Нарытник, А.Г.

Войтенко, В.В. Мироненко Севастополь: Матер. XVII Международной Крымской конференции КрыМиКо-2007 "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". – 2007, том 1, с.296–299.

4 Ильченко М.Е. Особенности модернизации радиорелейных линий в Украине./ Ильченко М.Е., Казимиренко В.Я., Нарытник Т.Н. -Севастополь: Матер. 19 Международной Крымской конференции КрыМиКо-2009 “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии”, 2009. – том 1.

5 Пат. 2187888 Российская Федерация, МПКНО4В1/38, НО413/00. Приемопередающее устройство / Чугаева И.В.; Заявитель и патентообладатель Воронеж. науч.-исслед. ин-т связи. – № 2000131736/09; заявл. 18.12.01; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23. – 3 с.: ил.

6 Пат. 26838 Україна, МПК HD4J 3/00. Система передачі даних по аналоговій радіорелейній лінії „Еврика-ВВВ”. Ильченко М.Ю. Нарытник Т.М., Казимиренко В.Я., Войтенко О.Г., Волков В.В., Юрченко В.В.; Заявник і патентовласник Національний технічний університет України “КПІ”.– №u200705423, заявл. 17.05.2007; опубл. 10.10.2007, Бюл.№16. – 6 с: іл.

7 Пат. 11635 Україна, МПК HD4J 3/00 A62B 17/00. Система передачі багатопрограмного транспортного потоку по каналах аналогової радіорелейної лінії Еврика-КАМ ЧМ. Нарытник Т.М., Казимиренко В.Я., Войтенко О.Г., Сватсьев В.І.; Заявник і патентовласник СП «Інститут електроніки та зв'язку Української академії наук.- №u200502645, заявл. 23.03.2005; опубл. 16.01.2006, Бюл.№1.- 6 с: іл.

8 European Standard EN 300 429 v.1.2.1 (1998-04). Digital Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems.

9 Бабак В.П. Обробка сигналів у радіоканалах цифрових систем передавання інформації. / Бабак В.П., Нарытник Т.М., Куц Ю.В., Казимиренко В.Я. // Навч. посібник – К: Книжкове вид-во НАУ, 2005. – С.476.

10 Скалин Ю.В. Цифровые системы передачи. / Скалин Ю.В., Бернштейн А.Г., Финкевич А.Д. – М.: Радио и связь, 1988. – 272 с.