

УДК 621.391.82.016.35

**ДАРАЕВ А.М.** – к.т.н., доцент (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)

**ДОМРАЧЕВ В.Н.** – магистр (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)

**АКАНОВА Ж.Ж.** – к.т.н., доцент (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)

**ТЛЕПБЕРГЕНОВА Г.Т.** – ст. преподаватель (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)

## МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

### **Аннотация**

*В современном мире происходит бурный скачок в развитии цифровой связи. Сотовая и радиорелейная связь, передача данных по компьютерным сетям, цифровое радиовещание и телевидение, представленные в различных и многообразных форматах, охватили все страны мира.*

*Значительное повышение скорости передачи цифровой информации по линиям связи требует разработки новых путей повышения качества передачи информационных потоков по каналам передачи информации, что в свою очередь нуждается в создании программно-аппаратных средств для решения такой проблемы.*

*В статье рассмотрены причины искажений цифровых сигналов. Приведены методы борьбы с искажениями: разнесенный прием, разделение отдельных сигналов в точке приема с помощью использования широкополосных сигналов, прием с применением выравнивания частотных характеристик канала, использование OFDM.*

**Ключевые слова:** межсимвольная интерференция, искажения сигналов, многолучевая интерференция, компенсация межсимвольных искажений, OFDM.

**Введение.** В современном мире происходит бурный скачок в развитии цифровой связи. Сотовая и радиорелейная связь, передача данных по компьютерным сетям, цифровое радиовещание и телевидение, представленные в различных и многообразных форматах, охватили все страны мира. Высокое качество связи, сравнительно низкие затраты на ее организацию и, поэтому, доступность для широких слоев населения всех стран, обеспечило этот успех.

Число пользователей непрерывно увеличивается, поэтому необходимо совершенствовать системы цифровой связи, повышая их качество и снижая требования к ресурсам, обеспечивающим качественную передачу информации. Современные системы цифровой связи используют все освоенные диапазоны частот, разные виды модуляции и способы обработки сигналов. Реальный канал беспроводной связи обладает частотно-временным рассеянием, что приводит к межсимвольной (МСИ) и межканальной (МКИ) интерференциям. Само по себе это явление не ведет к большим проблемам, так как существуют достаточно много эффективных методов борьбы [1, 2].

### **Основная часть.**

В процессе распространения электромагнитной волны в свободном пространстве неизбежен эффект снижения энергии за счёт уменьшения амплитуды распространяющегося радиосигнала. При точных расчётах моделей затухания сигнала учитывается множество параметров, например, коэффициент затухания, зависящий от среды распространения и погодных условий, однако для поверхностной оценки можно воспользоваться следующим выражением:

$$L_{FS} = 92.5 + 20 \lg (F \cdot D)$$

где  $D$  – расстояние между передатчиком и приёмником в км,  
 $F$  – частота в ГГц,  
 $L_{FS}$  – величина затухания в дБ.

Ключевым выводом из данной формулы является прямая зависимость между величиной затухания и частотой сигнала, т.е. чем выше частота электромагнитной волны, тем она быстрее затухает при распространении в свободном пространстве. Таким образом, при прочих равных, эксплуатация системы связи на низких частотах позволит достигнуть большей дальности, чем на высоких частотах, либо лучших энергетических показателей, при одинаковых дистанциях. Однако использование низких частот потребует применения антенн больших габаритов.

При наличии на пути распространения радиосигнала преграды, которая по размерам превышает длину волны, наблюдается эффект отражения волны. Данный эффект может быть использован при организации связи в условиях отсутствия прямой видимости.

Частным случаем отражения является рассеяние, которое по своей физической сути обратно поглощению: в случае, если преграда на пути распространения радиосигнала меньше длины волны, то электромагнитная волна отражается от этого объекта во все стороны.

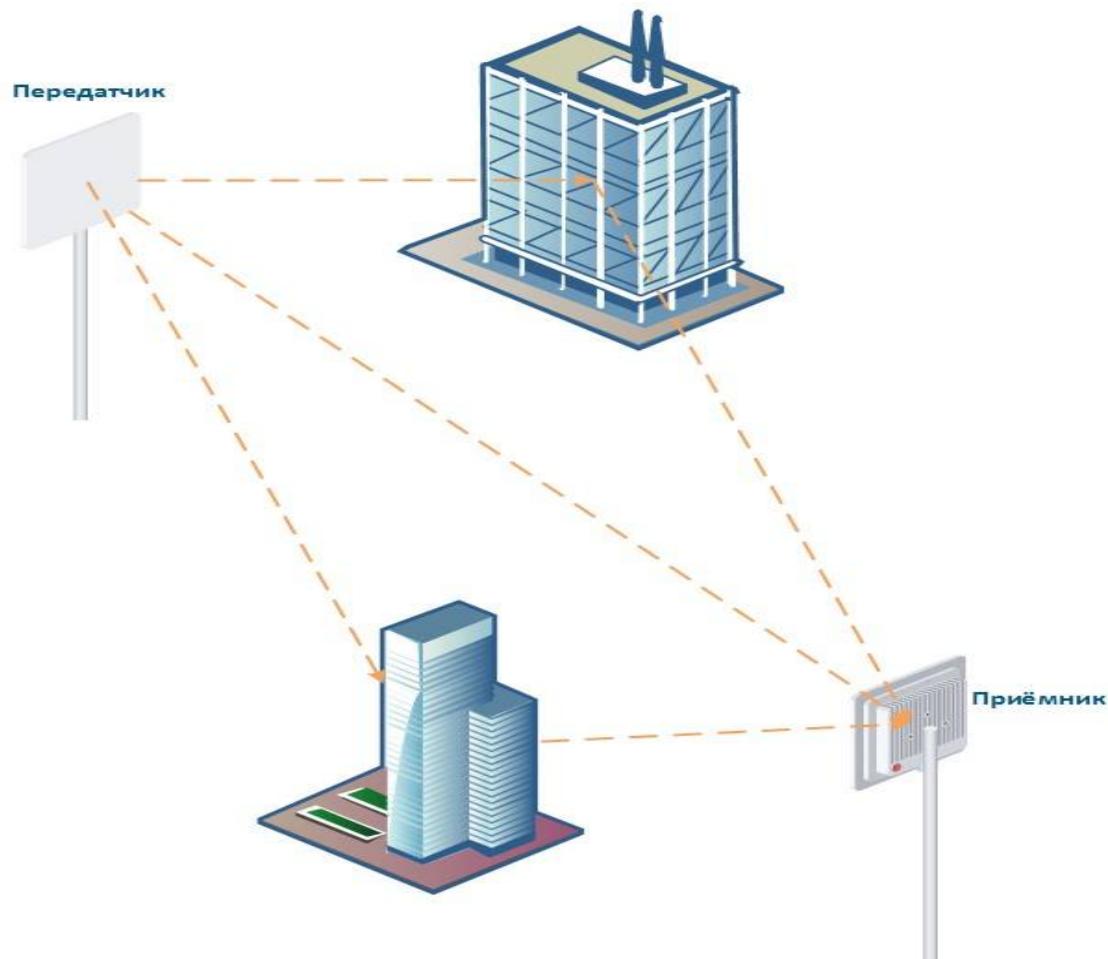
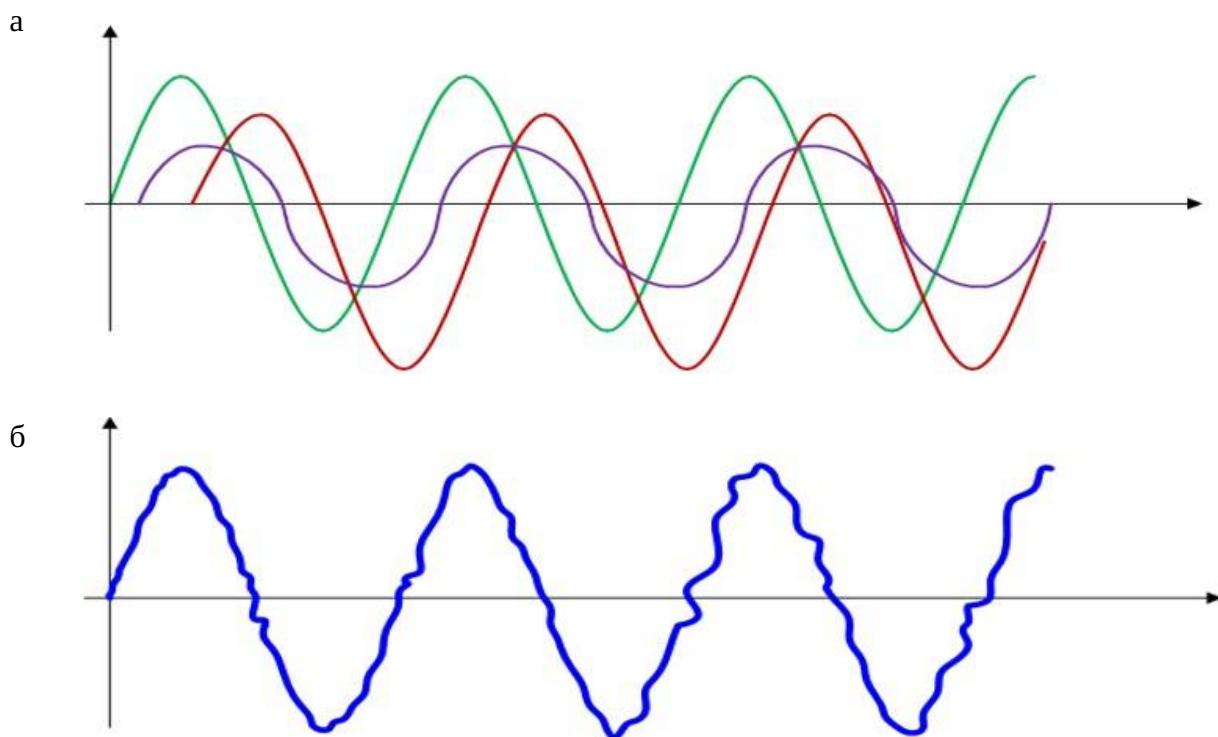


Рисунок 1 – Эффект многолучевого распространения радиоволны

В условиях плотной городской застройки эффект отражения при распространении радиосигнала проявляется неоднократно, что приводит к тому, что на приёмной стороне наблюдается несколько копий сигнала, пришедших по различным путям, как на рисунке 1. Данный эффект получил название многолучёвости.

Важно понимать, что отражённый сигнал может отличаться от исходного, своими параметрами: амплитуда, частота, фаза и поляризация. Кроме того, каждая из копий сигнала, полученная на приёмной стороне, прошла разный путь, затратив разное время, что отрицательно влияет на задержку сигнала.

На рисунке 2 представлен результирующий сигнал при многолучевом распространении, когда на приёмной стороне присутствуют две копии сигнала. В условиях плотной застройки, чаще на приёмной стороне присутствует большее число копий сигнала, что приводит к искажениям результирующего сигнала [3-5].



а – сигналы на выходе приёмника, б – результирующий сигнал

Рисунок 2 – Пример осциллограмм результирующего сигнала при многолучевом распространении

На приёмной стороне, антенна, помимо полезного сигнала, принимает шумы различной природы. Наибольший вклад в шум вносит тепловой шум, излучение которого связано с теплообменом в среде около приёмной антенны [6]. Отношение мощностей сигнала к суммарной мощности шума на приёмной стороне выделяют как один из оцениваемых параметров и рассчитывают по формуле:

$$SNR = \frac{P_{\text{сигнала}}}{P_{\text{шума}}}$$

Помимо шумов окружающей среды, приёмник может улавливать сигналы других беспроводных систем связи, либо другие источники сигналов, которые будут являться

помехой по отношению к полезному сигналу. Параметр SNR не учитывает влияние помех, однако, на практике, часто оперируют параметром SINR, который учитывает влияние помех в полосе частот беспроводной системы:

$$SINR = \frac{P_{\text{сигнала}}}{P_{\text{шума}} + P_{\text{интерференции}}}$$

Разница между SNR и SINR наглядно показана на рисунке 3

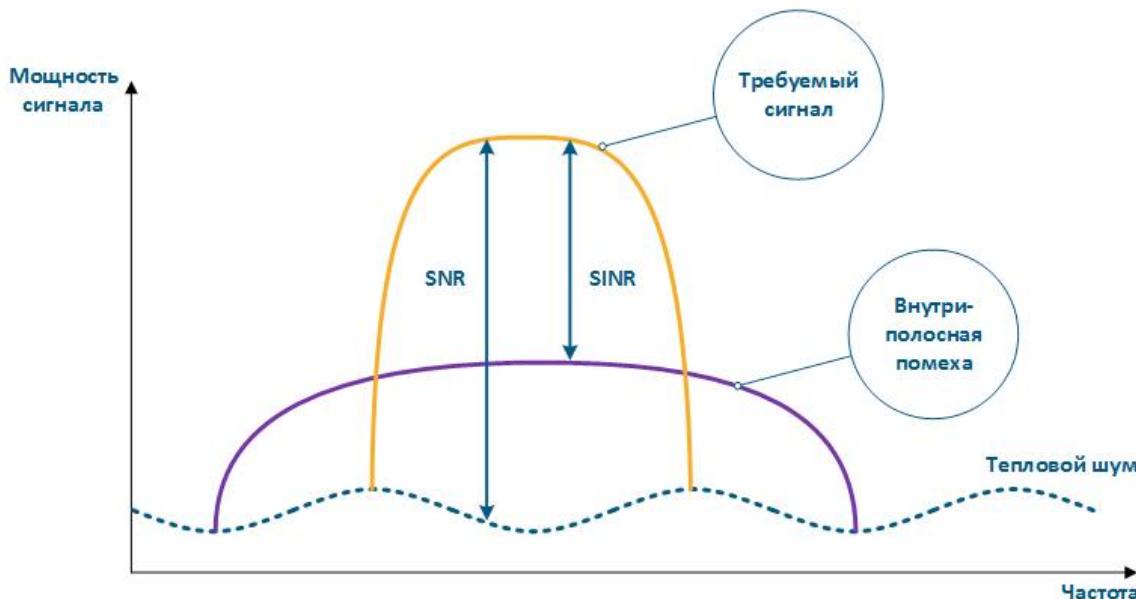


Рисунок 3 – Пояснение параметров SNR и SINR

В случае, если энергетика канала связи находится на низком уровне, неизбежно появление ошибок при передаче данных, часть из которых может быть исправлено за счёт использования корректирующих кодов. Причинами ухудшения радиопараметров канала передачи данных могут быть погодные условия, появление источника помех и др. [7, 8].

Существует несколько диагностических параметров, учитывающих данную проблему, например, уровень ошибок, уровень переповторов и т.д., однако абсолютное значение ошибок не всегда является показательным, поэтому чаще используют частоту появления ошибок:

$$BER = \frac{\text{число ошибочных бит за единицу времени}}{\text{число переданных бит за единицу времени}}$$

$$BER = \frac{\text{число ошибочных пакетов за единицу времени}}{\text{число переданных пакетов за единицу времени}}$$

Важнейшей характеристикой канала является расчёт бюджета (энергетического запаса) канала связи, отражающий энергетику радиосигнала при распространении от передатчика к приёмнику [3, 4]. Данная операция позволит оценить потенциальные параметры канала связи и подобрать необходимое оборудование и его конфигурацию. При распространении сигнала в условиях прямой видимости принято выделять семь

участков, на которых происходит изменение энергии сигнала, данные участки представлены на рисунке 4.

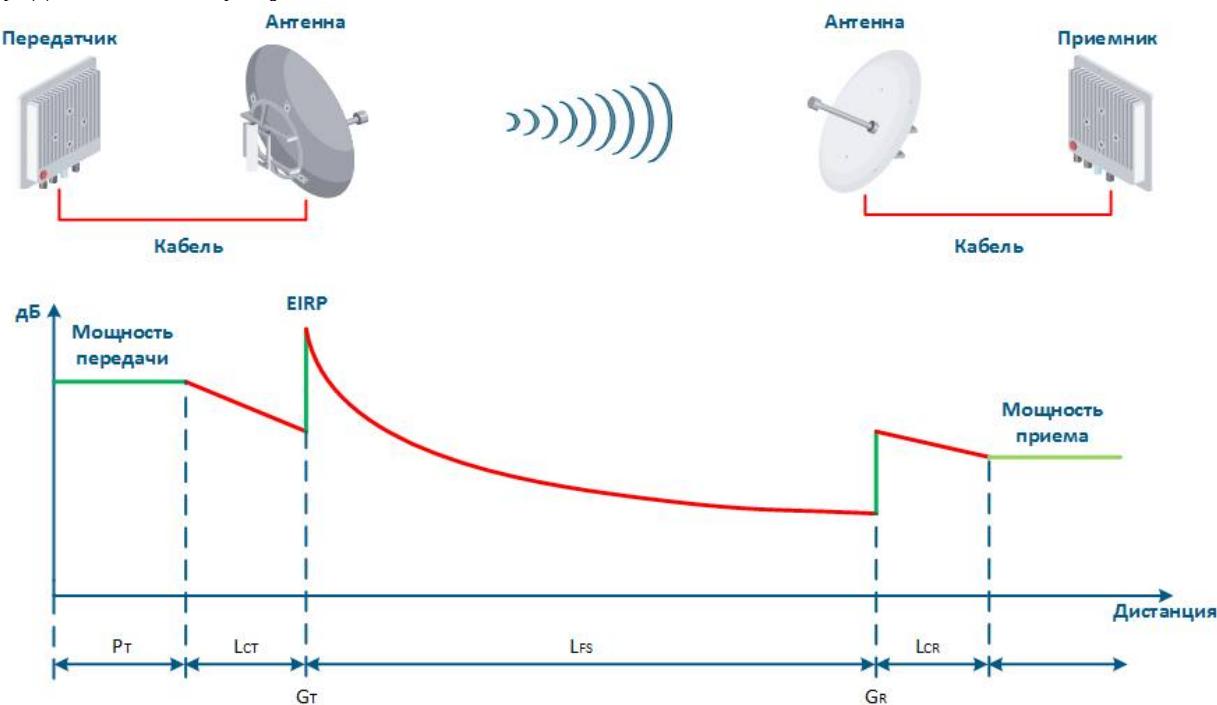


Рисунок 4 – Схема энергетического преобразования радиосигнала при распространении

Как известно радиоволны определенных диапазонов не редко распространяются не прямой, а отражаясь от окружающих среды (стены зданий, мостов, деревьев, от метеорных осадков и т.п.). В результате на входе приемника будет несколько вариантов исходного сигнала с переменными амплитудами фазами и азимутами направлений. Результирующий входной сигнал меняется как по амплитуде, фазе, так и по частоте (в случаях мобильного приема) за счет доплеровского сдвига частоты. Их действие на приемник ведет к межсимвольной (МСИ) и межканальной (МКИ) интерференциям. Таким образом, можно констатировать, что реальный канал беспроводной связи обладает частотно-временным рассеянием. Само по себе это явление не ведет к большим проблемам, так как существуют достаточно много эффективных методов борьбы [9-11].

Хорошо известен метод обработки сигналов в многолучевых каналах с использованием нескольких копий сигнала на приемной стороне – разнесенный прием. Разнесение может быть, как по времени (повторение фрагментов сообщения), так и по частоте (дублирование сообщения на другой частоте). Применяют и пространственное разнесение (прием на несколько антенн), причем антенны могут разнесены как по горизонтали, так и по вертикали.

На тех же принципах построен метод разделения отдельных сигналов в точке приема с помощью использования широкополосных сигналов. Разделение возможно, как в временной плоскости, так и в частотной, применяют комбинированные методы [9, 11, 12].

На современном этапе для каналов с частотно-временным рассеянием лучшей считается мультиплексирование (уплотнение) с ортогональным частотным разделением (OFDM – Orthogonal Frequency Devision Multiplexing).

Особенностью OFDM является уникальная методика мультиплексирования, которая разделяет полосу канала на множество поднесущих частот. Сообщение, подлежащее

переносу, разделяется на части, которые переносятся каждой на своей поднесущей как параллельно, так и последовательно, затем мультиплексируются (объединяются) в полное сообщение. Это позволяет подавить межсимвольную интерференцию и осуществлять защищенную передачу. Ортогональные поднесущие хороши тем, что их взаимная энергия равна нулю, поскольку поднесущие располагаются вплотную друг к другу, и спектральная эффективность сигнала получается высокой. На рисунке 5 показано формирование OFDM сигнала.

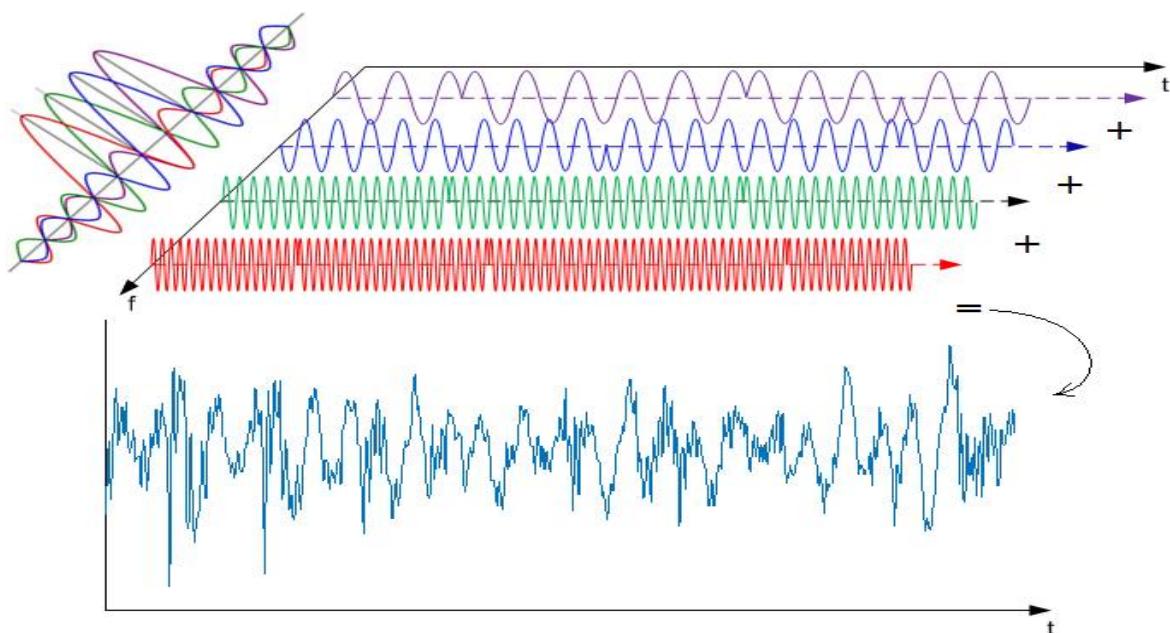


Рисунок 5 – Формирование OFDM сигнала

Параметры поднесущих сигналов подбираются с помощью вычислительных устройств, используют алгоритм обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ). То есть значения сигнала перед блоком ОБПФ относятся к частотной области. Тогда на выходе блока ОБПФ получаем значения сигнала на временной оси. Объединяя все значения, получаем сложный составной OFDM сигнал. В виду того, что ОБПФ работает эффективно с массивами размерности  $2^k$ , количество поднесущих выбирается аналогичной кратности. На приемном конце сигналы инвертируются (вместо ЦАП ставится АЦП, вместо обратного БПФ – прямое БПФ) и ставятся в обратном порядке.

Как известно, свойства любого цифрового сигнала однозначно определяются ее конечномерным базисом, из которого он формируется, как некоторая линейная комбинация базисных функций. В соответствии с теоремой Найквиста базис выбирается ортогональным, чтобы в случае гауссовского канала обеспечить отсутствие межсимвольной интерференции. Но в каналах с частотно времененным рассеянием, кроме аддитивного белого шума действует сложная мультиплексивная помеха. Именно под воздействием данной помехи базис меняется (плывет), что приводит к потере ортогональности базисных функций. Прием становится не оптимальным, с каждого подканала \*просачивается\* помеха на соседние каналы. Так возникает межсимвольная (МСИ) и межканальная (МКИ) интерференции [13-15].

Основная причина потери ортогональности базовых функций – сбои синхронизации за счет мультиплексивных помех в канале. Для уменьшения МСИ и МКИ вводятся защитные интервалы (циклические префиксы) для каждого пакета. В результате подавление МСИ очень высокое, но МКИ не так все просто. Дело в том, что разработка стандартов беспроводного доступа опережала разработку оборудования производителями.

На практике оказалось, что оборудование прекрасно работает в условиях стационарности или небольшой скорости передвижения абонентов, но стоит увеличить мобильность идут сплошные отказы (за счет допплеровского эффекта) и некоторые положения стандартов трудновыполнимы. Производители начали немного \*подправлять\* стандарты.

Одним из таких поправок является введение дополнительных (нулевых) поднесущих, как бы дополнительный защитный интервал. Также пытаются уменьшить длительность передаваемых базисных функций [4, 7]. Обе эти поправки приводят к ухудшению спектральной эффективности и возрастанию энергетических характеристик сигнала (пик-фактора). В последнее время начались исследования в области подбора базисных функций не обязательно ортогональных, но с помощью оконных преобразований Фурье [12, 13], вейвлет-преобразований [13-15], приводящих к хорошей локализации в частотной области [12-14].

Высокая скорость передачи в системах OFDM достигается посредством паралельной передачи данных по большому количеству ортогональных поднесущих.

Применение OFDM позволяет обеспечивать скорость передачи цифровых данных в сетях IEEE 802.11a и IEEE 802.11g до 54 Мбит/с. Использование совмещенной технологии ортогонального частотного и пространственного разделения (MIMO OFDM – multipleinput, multipleoutput OFDM), применяемое, например, в стандартах 802.11n, 802.11ac при MIMO 2x2 в технологии 802.11n и до 1,3 Гбит/с при использовании технологии 802.11ac при MIMO 3x3 [3, 16, 17].

Стандарт 802.11n в основном отличается от предыдущих стандартов появлением в приемном и передающем устройстве нескольких антенных каналов. Всего их количество у оборудования точек доступа (AP) и у терминальной станции может достигать четырех.

Поскольку стандарт 802.11n предусматривает использование технологии MIMO (Multiple Input Multiple Output), структура аппаратуры приемника и передатчика меняется.

Применение технологии MIMO преследует две цели: повышение надежности приема/передачи и обеспечение передачи данных по пространственно-разделенным каналам (SDM – Spatial Division Multiplexing).

Для повышения надежности применяется пространственно-временной блоковый код (STBC – Space Time Block Code) [17-21]. Повышение скорости передачи осуществляется посредством сокращения проверочных последовательностей и уменьшения защитных интервалов.

Еще одним способом повышения скорости передачи информации является выбор оптимальной схемы вставки пилот-сигналов. Например, при проектировании специализированных систем связи может возникнуть возможность проредить опорные сигналы. Освобожденные частотные позиции могут применяться для передачи цифровых данных. При этом необходима передача компенсирующего сигнала, реализованная на смешенных позициях, так как нужно исключить возникновение ложных корреляционных пиков при использовании некоторых алгоритмов синхронизации. При этом суммарная пропускная способность системы остается неизменной.

В системах OFDM перспективным является метод быстрой адаптации к текущей реализации частотно-селективного канала [22, 23]. Например, предложенный в работе [22] алгоритм адаптивного распределения бит и мощности по поднесущим позволяет значительно увеличить скорость передачи данных при заданной вероятности битовой ошибки.

Но есть существенный недостаток данного метода: необходимо передавать по обратной линии «приемник-передатчик» довольно большой объём служебной информации. Скорость передачи информации и коэффициент битовых ошибок на приемнике можно регулировать не только за счет выбора схемы кодирования и модуляции, но и отключением поднесущих, мощность передачи на которых относительно мала. Например, сокращение числа активных поднесущих [24] влечет за собой увеличение

мощности, передаваемой на каждой из них, а также к снижению вероятности битовых ошибок. Данный метод позволяет подобрать более эффективные с точки зрения скорости и модуляции.

**Выводы.** Задача борьбы с МСИ МКМ в беспроводных OFDM системах является очень актуальной, и во многих случаях пока не находит приемлемого решения.

Произведен обзор технологий построения энергоэффективных систем связи на базе технологии ортогонального частотного мультиплексирования.

Показано, системы повышения энергоэффективности на основе поворота сигнального созвездия требует изменений структуры формирования сигналов и значительных изменений в схемотехнике устройств связи. Следовательно, необходимо разработка метода повышения энергетической эффективности, позволяющего минимизировать схемотехнические изменения существующих систем.

Предложены методы повышения энергоэффективности систем связи с ортогональным частотным мультиплексированием на основе использования дифференциальной обработки канальных сигналов синфазного и квадратурного канала с экстраполяцией по методу Винера – Хопфа и Калмана.

Сформулированы требования к энергоэффективной системе связи, использующей дифференциальное преобразование сигналов.

В основу современных систем беспроводного доступа положены алгоритмы формирования и обработки сигналов с технологией OFDM (ортогонального частотного мультиплексирования). Поскольку принятый стандарт изменить нельзя, у разработчиков остался только один выход – соревноваться между собой в совершенствовании приемной аппаратуры, применяя более сложные методы обработки сигналов и оптимизируя вычислительные и аппаратные затраты на их реализацию.

Основной задачей было рассмотреть принципы повышения помехоустойчивости цифровых каналов путем уменьшения МСИ.

Реальный канал беспроводной связи обладает частотно-временным рассеянием, что приводит к межсимвольной и межканальной интерференциям.

Анализ большого количества источников и публикаций привел к основному выводу: само по себе это явление не ведет к большим проблемам, так как существуют достаточно много эффективных методов борьбы.

Широко стал применяться метод обработки сигналов в многолучевых каналах с использованием нескольких копий сигнала на приемной стороне – разнесенный прием.

Разнесение может быть, как по времени (повторение фрагментов сообщения), так и по частоте (дублирование сообщения на другой частоте). Применяют и пространственное разнесение (прием на несколько антенн), причем антенны могут разнесены как по горизонтали, так и по вертикали. На тех же принципах построен метод разделение отдельных сигналов в точке приема с помощью использования широкополосных сигналов. Разделение возможно, как в временной плоскости, так и в частотной, применяют комбинированные методы.

В дальнейшем, для усовершенствования имеющейся модели можно добавить возможность использования технологии МИМО, для чего надо разработать адекватную математическую модель.

### Литература

1. Золотарев В.В., Овчинин Г.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы. Справочник. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2004. – 126 с.
2. Берлекэмп Э.Р. Техника кодирования с исправлением ошибок // ТИИЭР. – 1980, Т. 68. – №5. – С. 24-58.
3. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь. – 1985.

4. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.
5. Борисов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев и др. – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.
6. Борисов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью. / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев и др. – М.: Радио и связь, 2003. – 640 с.
7. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов. – М.: Сов. радио, 1970. – 376 с.
8. Злотник Б.М. Помехоустойчивые коды в системах связи. – М.: Радио и связь, 1989. – 232 с.
9. Прокис Дж. Цифровая связь [Текст]: пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000.
10. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам [Текст]: пер. с англ. / Под ред. А.П. Петухова. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
11. Кравченко В.Ф. Цифровая обработка сигналов и изображений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
12. Волчков В.П., Петров Д.А. Обобщенная теорема Найквиста для OFTDM сигналов. // Сборник докладов Всероссийского научно-технического семинара «Системы синхронизации формирования и обработки сигналов для связи и вещания». – Воронеж, 2009. – С. 28-32.
13. Волчков В.П., Казаков Д.Ю. Синтез оптимальных сигнальных базисов Вейля-Гейзенберга для OFDM систем. // Научные ведомости БелГУ. Серия «Информатика и прикладная математика», №1(21), Вып. 2. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2006. – С.107-118.
14. Волчков В.П. Сигнальные базисы с хорошей частотно-временной локализацией. // Электросвязь. – 2007. – №2. – С. 21-25.
15. Волчков В.П., Петров Д.А. Оптимизация ортогонального базиса Вейля-Гейзенберга для цифровых систем связи, использующих принцип OFDM/OQAM передачи. // Научные ведомости БелГУ. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика», №1(56), Вып. 9/1. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2009. – С. 102-110.
16. Volchkov V.P., Petrov D.A. Orthogonal Well-Localized Weyl-Heisenberg Basis Construction and Optimization for Multicarrier Digital Communication Systems [Электронный ресурс] // International Conference on Ultra Modern Telecommunications (ICUMT 2009), St. Pittsburgh, Russia, Oct 12-14, 2009, ISBN: 978-1-4244-3941-6, IEEE Catalog Number: CFP0963G-CDR (<http://ieeexplore.ieee.org>)
17. Трахтман А.М., Трахтман В.А. Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах. – М.: Сов. радио, 1975. – 208 с.
18. Isam S. Simple DSP-IDFT techniques for generating spectrally efficient FDM signals / S. Isam, I. Darwazeh// IEEE IET Int. Symp. Commun. Syst., Netw., Digital Signal Process. – 2010. – pp 20-24.
19. Prasad R. OFDM for wireless communications systems / Ramjee Prasad. - Artech House, Inc. Всесоюзное научно-исследовательское общество по проблемам радиотехники и радиоэлектроники. – 291 р.
20. Darwazeh // IEEE IET Int. Symp. Commun. Syst., Netw., Digital Signal Process. – 2010. – pp 20-24.
21. Xu T. FPGA implementations of real-time detectors for a spectrally efficient FDM system/ T. Xu, R.C. Grammenos, I. Darwazeh // 20th Int. Conf. on Telecommunications (ICT). – 2013. – pp 1-5.
22. Гельгор А.Л. Преодоление «барьера» Найквиста при использовании одночастотных неортогональных многокомпонентных сигналов / А.Л. Гельгор, А.И. Горлов, Е.А. Попов // Радиотехника. – 2015. – №1. – С. 32-48.

23. Farhang-Boroujeny B. OFDM Versus Filter Bank Multicarrier // IEEE Signal Processing Magazine. – 2011. – Vol. 28, № 3. – pp. 92-112.
24. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: [пер. с англ.]. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский дом Вильямс, 2003. – 1104 с.

### References

1. Zolotarev V.V., Ovechkin G.V. Noise-resistant coding. Methods and algorithms. Directory. – M.: Hotline. – Telecom, 2004. – 126 p.
2. Berlekamp E.R. Coding technique with error correction // TIIER. – 1980, Vol. 68. – No. 5. – pp. 24-58.
3. Varakin L.E. Communication systems with noise-like signals. – Moscow: Radio and communications. – 1985.
4. Feer K. Wireless digital communication. Methods of modulation and spectrum expansion. – M.: Radio and Communications, 2000. – 520 p.
5. Borisov V.I. Noise immunity of radio communication systems with the expansion of the signal spectrum by the method of pseudo-random adjustment of the operating frequency. / V.I. Borisov, V.M. Zinchuk, A.E. Limarev et al. – M.: Radio and Communications, 2000. – 384 p.
6. Borisov V.I. Noise immunity of radio communication systems with signal spectrum expansion by carrier pseudorandom sequence modulation. / V.I. Borisov, V.M. Zinchuk, A.E. Limarev et al. – M.: Radio and Communications, 2003. – 640 p.
7. Varakin L.E. Theory of complex signals. – M.: Sov. radio, 1970. – 376 p.
8. Zlotnik B.M. Error-correcting codes in communication systems. – M.: Radio and communication, 1989. – 232 p.
9. Soured George. Digital communication [Text]: per. s angl. / Under the editorship of D.D. Klovsky. – M.: Radio and communications, 2000.
10. Daubechies I. Ten lectures on wavelets [Text]: per. s angl. Ed. by A.P. Petukhov. – Izhevsk: SIC "Regular and chaotic dynamics", 2001.
11. Kravchenko V.F. Digital signal and image processing. – Moscow: FIZMATLIT, 2007.
12. Volchkov V.P., Petrov D.A. Generalized Nyquist theorem for OFTDM signals. // Collection of reports of the All-Russian scientific and technical seminar "Signal generation and processing synchronization systems for communication and broadcasting". – Voronezh, 2009. – pp. 28-32.
13. Volchkov V.P., Kazakov D.Yu. Synthesis of optimal Weyl – Heisenberg signal bases for OFDM systems. // Scientific bulletin of BelsU. Series "Informatics and Applied Mathematics", No. 1(21), Issue 2. – Belgorod: Publishing House of BelsU, 2006. – pp. 107-118.
14. Volchkov V.P. Signal bases with good time-frequency localization. // Telecommunications. – 2007. – No. 2. – pp. 21-25.
15. Volchkov V.P., Petrov D.A. Optimization of the orthogonal Weyl-Heisenberg basis for digital communication systems using the OFDM/OQAM transmission principle. // Scientific bulletin of BelsU. The series " History. Political science. Economy. Informatics", No. 1(56), Issue 9/1. – Belgorod: Publishing House of BelsU, 2009. – pp. 102-110.
16. Volchkov V.P., Petrov D.A. Orthogonal Well-Localized Weyl-Heisenberg Basis Construction and Optimization for Multicarrier Digital Communication Systems [Electronic resource] // International Conference on Ultra Modern Telecommunications (ICUMT 2009), St. Petersburg, Russia, Oct 12-14, 2009, ISBN: 978-1-4244-3941-6, IEEE Catalog Number: CFP0963G-CDR (<http://ieeexplore.ieee.org>)
17. Trakhtman A.M., Trakhtman V.A. Fundamentals of the theory of discrete signals at finite intervals. – Moscow: Sov. radio, 1975. – 208 p.
18. Isam S. Simple DSP-IDFT techniques for generating spectrally efficient FDM signals / S. Isam, I. Darwazeh // IEEE IET Int. Symp. Commun. Syst., Netw., Digital Signal Process. – 2010. – pp. 20-24.

19. Prasad R. OFDM for wireless communications systems / Ramjee Prasad. – Artech House, Inc. VSPVP. – 291 p.
20. Darwazeh // IEEE IET Int. Symp. Commun. Syst., Netw., Digital Signal Process. – 2010. – pp. 20-24.
21. Xu T. FPGA implementations of real-time detectors for a spectrally efficient FDM system / T. Xu, R.C. Grammenos, I. Darwazeh // 20th Int. Conf. on Telecommunications (ICT). – 2013. – pp. 1-5.
22. Gelgor A.L. Overcoming the Nyquist "barrier" when using single-frequency non-orthogonal multicomponent signals / A.L. Gelgor, A.I. Gorlov, E.A. Popov // Radio Engineering. – 2015. – No. 1. – pp. 32-48.
23. Farhang-Boroujeny B. OFDM Versus Filter Bank Multicarrier // IEEE Signal Processing Magazine. – 2011. – Vol. 28, No. 3. – pp. 92-112.
24. Sklyar B. Digital communication. Theoretical foundations and practical application: [trans. from English]. – 2nd ed., ispr. – Moscow: Williams Publishing House, 2003. – 1104 p.

**ДАРАЕВ А.М. – т.ғ.к., доцент (Алматы қ., Қазақ қатынас жолдары университеті)**

**ДОМРАЧЕВ В.Н. – магистр (Алматы қ., Қазақ қатынас жолдары университеті)**

**АКАНОВА Ж.Ж. – т.ғ.к., доцент (Алматы қ., Қазақ қатынас жолдары университеті)**

**ТЛЕПБЕРГЕНОВА Г.Т. – аға оқытушы (Алматы қ., Қазақ қатынас жолдары университеті)**

## **СЫМСЫЗ ЖЕЛІЛЕРДЕ САНДЫҚ СИГНАЛДАРДЫ ӨНДЕУ ӘДІСТЕРІ**

### **Аңдатпа**

Қазіргі әлемде цифрлық байланыстың дамуында қарқынды серпіліс бар. Ұялы және радиорелелік байланыс, деректерді компьютерлік желілер арқылы беру, сандық радиохабар және теледидар түрлі және алуан түрлі форматтарда ұсынылған, әлемнің барлық елдерін қамтыйды.

Байланыс желілері арқылы сандық ақпаратты беру жылдамдығының едәуір артуы ақпарат беру арналары арқылы ақпараттық ағындарды беру сапасын жақсартудың жаңа жолдарын өзірлеуді талап етеді, бұл өз кезегінде мұндағы мәселені шешу үшін бағдарламалық және аппараттық құралдарды құруды қажет етеді.

Мақалада сандық сигналдардың бүрмалану себептері қарастырылады. Бүрмаланулармен құресу әдістері келтірілген: кеңейтілген қабылдау, кең жолақты сигналдарды қолдану арқылы қабылдау нүктесінде жеке сигналдарды бөлу, арнаның жүйлік сипаттамаларын теңестіру арқылы қабылдау, OFDM қолдану.

**Түйінді сөздер:** символдар арасындағы кедергі, сигналдардың бүрмалануы, көп жолды кедергі, символдар арасындағы бүрмаланулардың орнын толтыру, OFDM.

**DARAEV A.M. – c.t.s., assoc. professor (Almaty, Kazakh university ways of communications)**

**DOMRACHEV V.N. – master's degree (Almaty, Kazakh university ways of communications)**

**AKANOVA Zh.Zh. – c.t.s., assoc. professor (Almaty, Kazakh university ways of communications)**

**TLEPBERGENOVA G.T. – senior lecturer (Almaty, Kazakh university ways of communications)**

## **METHODS OF DIGITAL SIGNAL PROCESSING IN WIRELESS NETWORKS**

### **Abstract**

*In the modern world, there is a rapid leap in the development of digital communications. Cellular and radio relay communications, data transmission over computer networks, digital radio broadcasting and television, presented in various and diverse formats, covered all countries of the world.*

*A significant increase in the speed of digital information transmission over communication lines requires the development of new ways to improve the quality of information flows through information transmission channels, which in turn requires the creation of software and hardware to solve this problem.*

*The article discusses the causes of digital signal distortion. The methods of dealing with distortion are given: spaced reception, separation of individual signals at the receiving point using broadband signals, reception using channel frequency characteristics equalization, use OFDM.*

**Keywords:** intersymbol interference, signal distortion, multipath interference, compensation of intersymbol distortion, OFDM.

УДК 629.735

**АСИЛЬБЕКОВА И.Ж. – к.т.н., ассоц. профессор (г. Алматы, Академия гражданской авиации)**

**КОНАКБАЙ З.Е. – к.т.н., ассоц. профессор (г. Алматы, Академия гражданской авиации)**

**МАМАНҚЫЗЫ Ф. – магистр, старший преподаватель (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)**

**МУРАТҚАЛИ Ж. – магистр, преподаватель (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)**

## **АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ЛИЦ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНЫХ ОБЕСПЕЧЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОТРУДНИКАМИ СЛУЖБЫ АВИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

### **Аннотация**

Анализ произведенных актов незаконного вмешательства и их попыток на объектах гражданской авиации соответствующими отраслевыми ведомствами показал необходимость использования специализированных технологий для выявления потенциально опасных лиц, в основном ориентированных на обнаружение характерных изменений в поведении пассажиров и посетителей при намерении совершить акты незаконного вмешательства.

**Ключевые слова:** профайлинг, потенциально опасные лица, гражданская авиация, акты незаконного вмешательства.

**Введение.** Высокий уровень криминально-террористической активности в нашей стране и мире обуславливает особое значение проблемам обеспечения общественной