

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Диссертационный совет Д.05.11.030

На правах рукописи

УДК: 621.395.44.(575.2)(043.3)

ДЖЫЛЫШБАЕВ МАКСАТ НУРБЕКОВИЧ

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
СОВМЕСТИМОСТИ СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ И УПРАВЛЕНИЕ
РАДИОСПЕКТРОМ**

Специальность:

05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации
(по отраслям)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек – 2013

**Работа выполнена на кафедре «Радиоэлектроника» Кыргызского
Государственного Технического Университета им. И.Раззакова**

- Научный руководитель:** - доктор технических наук
Исмаилов Бактыбек Искакович
- Официальные оппоненты**
- доктор технических наук, доцент
Миркин Евгений Леонидович
 - кандидат технических наук
Жайлобаев Нурмат Жайлобаевич

Ведущая (оппонирующая) организации: Кыргызско-Турецкий
Университет «Манас», г. Бишкек, Проспект Мира, 56

Защита состоится «20» сентября 2013 г. В «14.00» на заседании диссертационного совета Д.05.11.030 при Институте автоматике и информационных технологий Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек, просп. Чуй, 265, ауд. 118.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института автоматике и информационных технологий национальной академии наук Кыргызской Республики.

Автореферат разослан

Ученый секретарь
Диссертационного совета
Д.05.11.030, к.т.н

И.В. Брякин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Актуальность темы диссертации. Как во многих странах мира и в Кыргызстане широко внедряются и развиваются телекоммуникационные системы, в особенности сети сотовой связи и передача данных. В связи ограниченностью радиочастотного спектра некоторые системы радиосвязи могут использовать перекрывающиеся полосы частот и для функционирования данных систем производятся расчеты электромагнитной совместимости (ЭМС), т.е. наложение ограничений на системы для беспомехового сосуществования. Решение этой проблемы может быть достигнуто с развитием новых эффективных сценариев использования радиочастотным спектром.

Эффективное управление радиочастотным спектром – это максимальное использование радиочастотного спектра при соблюдении условий электромагнитной совместимости. Как показывает опыт, в реальных случаях, учесть все условия для обеспечения ЭМС невозможно. Телекоммуникационные системы развиваются очень быстро, так например, в некоторых развивающихся странах только начинают внедрять сети сотовой связи третьего поколения, а в других странах уже внедрены технологии четвертого поколения. В этой связи перед регулирующим органом радиочастотного спектра возникает множество путей развития телекоммуникационных систем и это большая ответственность. Так как при выборе и развитии той или иной технологии, регулирующий орган должен учитывать требования операторов связи, цели правительства и потребности населения. С учетом всего вышесказанного также требуется учитывать условия ЭМС.

Важные теоретические и прикладные результаты в сфере управления радиочастотным спектром и анализ электромагнитной совместимости представлены в работах Н.А. Малкова, А.П. Пудовкина, Д. Уайта, О.Н. Маслова, Ю.Б. Зубарева, М.И. Кривошеева, И.Н. Красносельского, С.Н. Смоловича, В.И. Носова и ряда других авторов.

В Кыргызстане существуют сотовые компании, работающие на стандартах DAMPS, CDMA, GSM.

Как показывает опыт совместного использования полос частот сотовых стандартов DAMPS, CDMA, GSM, существует наложение сигналов от передающей базовой станции стандарта CDMA, использующей полосу частот 869-889 МГц на сигналы приема базовой станции стандарта GSM, использующей полосу частот 890-915 МГц. Стандарты CDMA и GSM имеют различные несущие частоты с различной шириной полосы канала - 1,23 МГц в CDMA и 200 кГц в GSM. Уровень мощности сигнала и интермодуляционные помехи от передатчика базовой станции стандарта CDMA должны быть в пределах допустимого уровня, чтобы не стать причиной ухудшения чувствительности или блокирования сигнала приемника базовой станции стандарта GSM.

Один из путей решения обозначенной проблемы является разработка алгоритмов анализа, методов межсистемной оптимизации сетей и совершенствования управления радиочастотным спектром с целью повышения эффективности использования радиочастотного спектра.

Решение указанной проблемы позволит более объективно оценивать эффективность использования радиочастотного спектра и проводить оценку электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

Связь темы диссертации с крупными научными программами (проектами) и основными научно-исследовательскими работами.

Диссертация выполнена в соответствии с планом задач Государственного агентства связи при Правительстве Кыргызской Республики «Автоматизация управления использованием радиочастотного спектра в Кыргызской Республики» (2011-2012 гг.), а также в рамках программы Министерства транспорта и коммуникаций Кыргызской Республики «О переходе на цифровое телерадиовещание в Кыргызской Республике».

Цель и задачи исследования. Основной целью данной работы является максимально снизить помеховую ситуацию в диапазоне 800-900 МГц и обеспечить электромагнитную совместимость стандартов CDMA, GSM, DAMPS на основе предложенных методов использования радиочастотного спектра для беспомеховой совместной работы вышеупомянутых стандартов и разработанных регуляторных и технических мер для улучшения электромагнитной обстановки.

Основными задачами являются:

- совершенствование метода расчета напряженности поля интермодуляционных помех между базовыми станциями разных стандартов (расчеты между базовыми станциями стандартов DAMPS и CDMA, CDMA, DAMPS и GSM, CDMA и GSM);
- системный анализ обеспечения электромагнитной совместимости при близко расположенных радиоэлектронных средствах;
- исследование регуляторных технических мер для улучшения электромагнитной совместимости;
- разработка методов использования радиочастотного спектра для беспомеховой совместной работы стандартов CDMA, DAMPS и GSM;
- анализ перспективы использования полосы частот 790-862 МГц.

Научная новизна работы. В работе представлены усовершенствованные методы расчетов для обеспечения условий ЭМС и предложены сценарии использования радиочастотного спектра для беспомеховой совместной работы.

В диссертационной работе получены следующие научные результаты:

- разработан метод расчета для обеспечения условий электромагнитной совместимости;
- предложены технические мероприятия для снижения напряженности поля интермодуляционных помех;

- предложены сценарии управления радиочастотным спектром путем межсистемной оптимизации сетей сотовой связи стандартов GSM, CDMA, DAMPS для беспомеховой совместной работы;
- выявлена совокупность регуляторных мер для более эффективного использования радиочастотного спектра;
- определены перспективы использования полосы частот 800-900 МГц при внедрении цифрового наземного телевизионного радиовещания и технологии LTE.

Практическая значимость полученных расчетов. Разработанный метод расчета, регуляторные и технические меры могут быть использованы в дальнейшем для расчетов электромагнитной совместимости в полосах частот до 2 ГГц.

Методы межсистемной оптимизации могут быть использованы для обеспечения условий электромагнитной совместимости между сотовыми сетями в Кыргызской Республике и в странах с аналогичным распределением полос частот.

Экономическая значимость полученных результатов. Полученные результаты могут быть использованы для автоматизации расчетов электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств для эффективного использования радиочастотного спектра в Кыргызской Республике.

С помощью предложенных сценариев управления радиочастотным спектром возможно не только значительное повышение эффективности деятельности государственных органов и частных компаний в сфере телекоммуникации, но и заметное сокращение времени принятия управленческих решений.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. В данной работе предлагаются методы использования полосы частот 800-900 МГц:

- перенос несущих частот стандарта CDMA в более нижний диапазон для уменьшения напряженности поля помехи на полосах частот стандарта GSM (представлен расчет напряженности поля помехи на основе двух методик расчетов);
- использование полосы частот 880-890 МГц для стандарта E-GSM на территории Кыргызской Республики для более эффективного использования радиочастотного спектра и обеспечения электромагнитной совместимости между существующими сетями сотовой связи;
- создание и внедрение регуляторных и технических мер, таких как изменение угла наклона антенны и использование фильтров для уменьшения напряженности поля помехи на базовую станцию стандарта GSM (представлен расчет показывающий эффективность данного метода);
- методы расчетов для обеспечения условий ЭМС ;
- перспектива использования полосы частот 790-862 МГц в Кыргызской Республике при внедрении технология LTE и её электромагнитная совместимость с стандартом цифрового наземного телевизионного радиовещания DVB-T.

Личный вклад соискателя. Постановка задач, поиск путей их решения и анализ ранее известных научных результатов исследований, а также формирование итоговых выводов осуществлены автором под руководством научного руководителя.

В работе Исмаилову Б.И. принадлежит постановка задачи системного анализа электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и сетей сотовой связи в полосе частот 800-900 МГц.

В совместных работах соавторам Жумабаеву М. принадлежат выявление проблемы и формулировки постановок задач, основной объем работы выполнен лично автором.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались на следующих научных конференциях:

- международная конференция «Телекоммуникационные и информационные технологии. Состояние и перспективы развития», г. Бишкек, Кыргызстан 2008 г.;
- международная конференция «Проблемы управления и информационных технологий», г. Бишкек, Кыргызстан. 2010 г.
- международная научно-техническая конференция «Техника и технологии связи» (г. Ташкент, Узбекистан 2008 г.);
- международная научно-техническая конференция «Техника и технологии связи» (г. Алма-Ата, Казахстан 2009 г.);
- семинар Международного союза электросвязи «Тенденции развития радиосвязи по результатам ВКР-12. Регуляторные и технические аспекты» (Санкт-Петербург, Российская Федерация, 2012 г.).

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По материалам диссертации опубликовано 11 научных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает в себя:

- введение;
- четыре главы;
- заключение;
- приложение.

Диссертант выражает благодарность научному руководителю д.т.н. Б.И. Исмаилову за внимание и поддержку при подготовке и завершении диссертации. И выражает глубокую признательность к.т.н. М. Жумабаеву за оказанное содействие при получении результатов диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель и задачи, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

Глава 1. В данной главе проведен анализ существующей практики использования полосы частот 800-900 МГц между сетями сотовой связи.

В 1994 г. Кыргызско-Американская компания Кател начала внедрение сотовой связи в Кыргызской Республике на основе стандарта TDMA в полосе частот 800 МГц. Основную часть доходов Кател составляла голосовые услуги, в этой связи качественные показатели улучшались в части увеличения зоны обслуживания.

В настоящее время, на рынке телекоммуникации Кыргызской Республики существуют шесть крупных компаний в диапазоне 800-900 МГц, такие как Кател, Скай Мобайл, Актел, Альфа Телеком, Сотел и Нур Телеком. Из выше перечисленных компаний Кател работает на основе стандарта D-AMPS, а услуги компаний Скай Мобайл, Нур Телеком и Альфа Телеком в стандарте GSM 900/1800, а услуги у Сотел и Актел осуществляются в стандарте CDMA 800.

Государственным органом исполнительной власти, осуществляющим регулирование в области электрической и почтовой связи, включая использование радиочастотного спектра является Государственное агентство связи при Правительстве Кыргызской Республики (ГАС ПКР). По вопросу использования частотного спектра 800-900 МГц несколькими стандартами сотовых сетей подвижной службы (GSM, CDMA, DAMPS) создавалась рабочая группа при ГАС ПКР которая установила, что возникают помехи на приемнике мобильной станции сотовой сети стандарта GSM, в результате воздействия передатчиков сотовых сетей стандартов DAMPS и CDMA.

В данной главе автором выявлены причины данных помех:

- минимальный частотный разнос;
- использование больших мощностей базовыми станциями;
- использование направленных антенн на обоих концах;
- наличие в большинстве случаев прямой видимости между антеннами базовых станций различных стандартов в условиях одного города.

Все это приводит к блокированию приемников или возникновению интермодуляционных помех в мобильной станции, либо в базовой станции сотовой сети стандарта GSM.

Также автором приведен анализ рекомендаций и требований международных организаций для совместной работы сетей сотовой связи:

- фильтрация полосы частот передатчика базовой станции стандарта CDMA;
- фильтрация полосы частот приемника базовой станции стандарта GSM;
- защитная полоса частот между назначенными каналами стандартов CDMA и GSM;
- физическое разделение между базовыми станциями стандартов GSM и CDMA.

Глава 2. Представлены усовершенствованные методы расчета напряженности поля интермодуляционных помех и методы анализа обеспечения электромагнитной совместимости при близком расположении радиоэлектронных средств.



Рис. 1. Классификация радиопомех

Помехи за счет продуктов интермодуляции в приемнике имеют место, когда выполняются два следующих условия:

$$-\frac{B_{IF}}{2} < 2\Delta f_1 - \Delta f_2 < \frac{B_{IF}}{2}, \quad (1)$$

$$\text{и} \\ P_s - P_{ino} < A, \quad (2)$$

где: Δf_1 , Δf_2 – частотный разнос мешающих сигналов, B_{IF} - ширина полосы пропускания приемника по ПЧ (в тех же единицах, что и Δf_1 и Δf_2), P_{ino} - эквивалентная мощность помехи при точной настройке (дБмВт), P_s - мощность полезного сигнала (дБмВт), A - защитное отношение для помехи в канале приемника (дБ).

Суммарные помехи определяются по формуле:

$$I = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{\frac{I_i}{10}}, \quad (3)$$

где I – суммарная помеха, дБм, I_i – помеха от i -го передатчика, дБм.

С учетом вышеизложенного, автором усовершенствован метод расчета интермодуляционных помех. Ниже приведены основные формулы:

- расчет уровня интермодуляционных помех между двумя базовыми станциями стандартов CDMA и GSM:

Уровень сигнала на приемнике базовой станции GSM

$$P = P_{ЭИИМ\ T_x} - L_T + G - L - L_\Phi, \quad (4)$$

где P - уровень принимаемого сигнала, дБм; $P_{ЭИИМ\ T_x}$ - ЭИИМ передатчика, дБм; G - коэффициент усиления приемной антенны, дБ; L - потери на

фидере, дБ; L_{Φ} - ослабление фильтра приемника, дБ; L_T - ослабление трассы между передающими и приемными антеннами, дБ.

$$L_T = 32,45 + 20 \log F + 20 \log R, \quad (5)$$

где F – частота, для которой рассчитывается уровень помехи, МГц; R – расстояние между базовыми станциями, км.

- расчет электромагнитной совместимости между базовыми станциями стандартов CDMA и DAMPS:

Мощность радиопомехи на входе приемника базовой станции стандарта CDMA, дБВт

$$P = P_{\text{пер}} + G_{\text{пер}}(\varphi_{\text{пр}}) + G_{\text{пр}}(\varphi_{\text{пер}}) + U_{\text{пер}} + U_{\text{пр}} + N(\delta f) - L(R), \quad (6)$$

где $P_{\text{пер}}$ - мощность передатчика; $G_{\text{пер}}(\varphi_{\text{пр}})$ - коэффициент усиления антенны передатчика в направлении приемника; $G_{\text{пр}}(\varphi_{\text{пер}})$ - коэффициент усиления антенны приемника в направлении на передатчик; $U_{\text{пер}}$ - затухание в антенно-фидерном тракте передатчика; $U_{\text{пр}}$ - затухание в антенно-фидерном тракте приемника; $N(\delta f)$ - ослабление радиопомехи в линейном тракте приемника; $L(R)$ - потери на трассе распространения сигналов, дБ.

Так как путь распространения сигнала - город, далее приведена формула для потерь в городе:

$$L = 69,55 + 26,16 \lg f - 13,82 \lg(h_{\text{БС}}) - a(h_{\text{МБ}}) + k[44,9 - 6,55 \lg(h_{\text{БС}})] \lg R, \quad (7)$$

где $h_{\text{БС}}$ - высота базовой станции, $h_{\text{АС}}$ - высота антенны мобильной станции, R - расстояние.

Поправочный коэффициент на высоту абонентской станции по формуле:

$$a(h_{\text{АС}}) = (1,1 \lg f - 0,7) 1,5 - 1,56 \lg f + 0,8. \quad (8)$$

- расчет суммарного уровня интермодуляционных помех от базовых станций стандартов CDMA и DAMPS на базовую станцию стандарта GSM:

Напряженность поля, создаваемая базовой станцией может быть определена по формуле, дБ (мкВ/м):

$$E = 69,82 + 6,161 \lg f + 13,82 \lg h_1 + a(h_2)(44,9 + 6,551 \lg h_1)(\lg R), \quad (9)$$

где f — частота, МГц; h_1, h_2 — высота поднятия антенны соответственно базовой и мобильной станций, м.

Постоянное увеличение плотности размещения радиоэлектронных средств (РЭС) при ограниченном частотном ресурсе приводит к увеличению уровня взаимных помех, нарушающих нормальную работу этих средств. Число антенн на одном объекте может достигать нескольких десятков, а расстояния между ними могут составлять единицы метров и менее. Плотное

размещение антенн приводит к тому, что электромагнитные поля, излучаемые антеннами радиопередатчиков, могут создавать в антеннах радиоприемников высокочастотные ЭДС, достигающие десятков вольт, что может вызвать перегрузку входных каскадов и нарушение нормального функционирования приемника или даже выход их из строя. Не менее опасными являются одновременные воздействия нескольких сигналов, порождающих во входных каскадах приемника и в выходных каскадах передатчика интермодуляционные помехи, которые могут попадать в полосу рабочих частот приемников и ухудшать условия приема полезных сигналов.

Электромагнитную обстановку в объекте рассчитывают в следующем порядке:

- определение потенциально несовместимых пар РЭС;
- расчет энергетических характеристик непреднамеренных радиопомех;
- определение степени обеспечения ЭМС.

Показатель обеспечения ЭМС ПЭС объекта, при групповой оценке определяется по формуле

$$\Delta P_{\Sigma} = P_{\text{доп}} - P_{\Sigma}, \quad (10)$$

Где P_{Σ} - суммарная мощность радиопомех, приведенных ко входу i -го приемника от передатчика объекта;

$P_{\text{доп}}$ - допустимая мощность радиопомехи на входе i -го радиоприемника оцениваемого РЭС.

Глава 3. Данная глава описывает межсистемную оптимизацию и технические, регуляторные меры для обеспечения условий электромагнитной совместимости.

Эффективное управление радиочастотным спектром – это максимальное использование радиочастотного спектра при соблюдении условий электромагнитной совместимости (ЭМС). Как показывает опыт в реальных случаях учесть все условия для обеспечения ЭМС невозможно.

При внедрении новых технологий существуют различные методологии использования радиочастотного спектра. Множество независимых организаций предлагают различные методы и принципы соблюдения условий ЭМС с другими системами сотовой связи. Также учитывается опыт внедрения новых технологий в других странах. Но при этом, любое решение в будущем будет требовать оптимизации.

В связи вышеизложенным, в данной главе предлагается межсистемная оптимизация сотовых сетей связи для обеспечения условий ЭМС.

Требуется отметить, что из полосы частот, предназначенной для работы в стандарте CDMA и DAMPS 824-848 МГц для приема и 869-893 МГц для передачи, полоса частот 890-893 МГц используется стандартом сотовой связи GSM 900. В этой связи изначально полоса частот стандарта CDMA и DAMPS сокращается, т.е. для передачи остается полоса частот 869-890 МГц и соответственно для приема 824-845 МГц. Данное условие продемонстрировано в ниже приведенном графике.

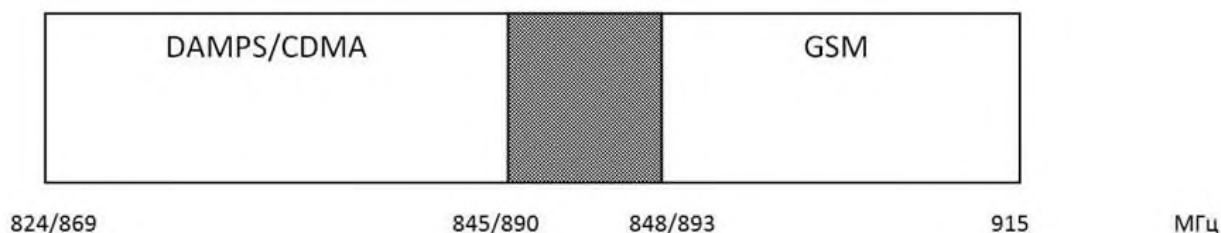


Рис. 2 Полоса частот стандартов CDMA (DAMPS) и GSM

- В данной работе предлагаются три метода обеспечения условий ЭМС
- перенос несущей частоты оператора CDMA в более нижний диапазон;
 - защитная полоса частот или запрет использования полосы частот;
 - использование полосы частот 880-890 МГц для стандарта EGSM.

Перенос несущей частоты оператора CDMA в более нижний диапазон. Данный метод применен на следующем примере использования полосы частот 824-845 МГц (приемная часть) и 869-890 МГц (передающая часть), используемой тремя операторами сотовой связи, работающих на основе стандартов CDMA и DAMPS. Для стандарта DAMPS используется полоса частот: 824-840,125/869-885,125 МГц и для стандарта CDMA используется две несущие частоты 840,750/885,750 МГц (840,125-841,375/885,125-886,375 МГц) и 842,970/887,970 МГц (842,345-843,595/887,345-888,595 МГц):



Рис. 3. Пример использования операторами полосы частот CDMA (DAMPS)

Полоса частот 824-845 МГц и 869-890 МГц была выделена оператором связи уже в начале развития сотовой связи, сначала для развития сети стандарта AMPS (DAMPS), затем для сети сотовой связи CDMA. Далее началось развитие сетей сотовой связи стандарта GSM 900. При покрытии операторами сотовой связью города возникли трудности, т.е. появились помехи на приемном тракте базовой станции стандарта GSM.

В этой связи, поскольку операторы стандарта GSM не могут перейти на другие полосы частот (GSM 05.05, version 4.23.1), предлагается перенести несущие стандарта CDMA в более нижний диапазон.

Результаты расчета уровня интермодуляционных помех, при работе стандарта CDMA в полосах частот 842,345-843,595/887,345-888,595 МГц показаны в таблице 1.

Таблица 1

P	$10lgP_{tx}$	G_{tx}	$L_{f tx}$	$const$	fn	$20lgfn$	R	$20lgR$	G_{rx}	L_f	L_{filt}	Pr
10	40	17,15	2,7	32,45	887,345	58,96185	0,01	-40	17,15	3	5	12,18815
10	40	17,15	2,7	32,45	887,97	58,96797	0,01	-40	17,15	3	5	12,18203
10	40	17,15	2,7	32,45	888,595	58,97408	0,01	-40	17,15	3	5	12,17592
10	40	17,15	2,7	32,45	887,345	58,96185	0,5	-6,0206	17,15	3	5	-21,7913
10	40	17,15	2,7	32,45	887,97	58,96797	0,5	-6,0206	17,15	3	5	-21,7974
10	40	17,15	2,7	32,45	888,595	58,97408	0,5	-6,0206	17,15	3	5	-21,8035
10	40	17,15	2,7	32,45	887,345	58,96185	2	6,0206	17,15	3	5	-33,8325
10	40	17,15	2,7	32,45	887,97	58,96797	2	6,0206	17,15	3	5	-33,8386
10	40	17,15	2,7	32,45	888,595	58,97408	2	6,0206	17,15	3	5	-33,8447

Где:

Pr - уровень принимаемого сигнала, дБм;

G_{tx} - коэффициент усиления антенны, дБ;

$L_{f tx}$ - потери в АФТ, дБ;

L_T - ослабление трассы между передающими и приемными антеннами, дБ;

G_{rx} - коэффициент усиления приемной антенны, дБ;

L - потери в АФТ, дБ;

L_{filt} - ослабление фильтра приемника, дБ;

$F_{п}$ - частота передачи, МГц;

R - расстояние между базовыми станциями.

В соответствии со стандартом GSM 05.05 (Сотовая система цифровой электросвязи (Стадия 2)) уровень чувствительности приемника базовой станции GSM к интермодуляционным помехам третьего порядка составляет - 43 дБм. Как видно из таблицы, при использовании несущей 887,970 МГц (887,345-888,595 МГц) стандартом CDMA уровень сигнала составляет - 33 дБм при максимальном расстоянии (2 км) между базовыми станциями.

При переносе несущей частоты CDMA в более нижний диапазон (886,415-887,665 МГц), уровень интермодуляционных помех уменьшается, как видно из таблицы 2:



Рис. 4 Сдвиг несущей частоты стандарта CDMA

Таблица 2

<i>P</i>	<i>10lgP_{tx}</i>	<i>G_{tx}</i>	<i>L_f_{tx}</i>	<i>const</i>	<i>f_n</i>	<i>20lgf_n</i>	<i>R</i>	<i>20lgR</i>	<i>Gr</i>	<i>L_f</i>	<i>L_{filt}</i>	<i>Pr</i>
10	40	17,15	2,7	32,45	886,415	58,95274	0,01	-40	17,15	3	43	-25,8027
10	40	17,15	2,7	32,45	887,04	58,95886	0,01	-40	17,15	3	42	-24,8089
10	40	17,15	2,7	32,45	887,665	58,96498	0,01	-40	17,15	3	15	2,185018
10	40	17,15	2,7	32,45	886,415	58,95274	0,5	-6,0206	17,15	3	43	-59,7821
10	40	17,15	2,7	32,45	887,04	58,95886	0,5	-6,0206	17,15	3	42	-58,7883
10	40	17,15	2,7	32,45	887,665	58,96498	0,5	-6,0206	17,15	3	15	-31,7944
10	40	17,15	2,7	32,45	886,415	58,95274	2	6,0206	17,15	3	43	-71,8233
10	40	17,15	2,7	32,45	887,04	58,95886	2	6,0206	17,15	3	42	-70,8295
10	40	17,15	2,7	32,45	887,665	58,96498	2	6,0206	17,15	3	15	-43,8356

Как видно из таблицы после переноса несущей частоты стандарта CDMA в нижний диапазон 886,415-887,665 МГц, условия ЭМС не соблюдаются при расстоянии между базовыми станциями 0,01 км.

Таким образом, необходимо отметить, что условия ЭМС соблюдаются при расстоянии между базовыми станциями 0,5 км.

Защитная полоса частот или запрет использования полосы частот. Для полного избавления от интермодуляционных помех третьего порядка требуется запретить использование стандартами CDMA и DAMPS и использовать полосу 880-890 МГц как защитное отношение. При этом требуется учитывать, что получить согласие операторов стандартов CDMA и DAMPS, будет очень сложно, в некоторых случаях невозможно.

Ниже приведена рекомендация компании Qualcomm относительно условий ЭМС. Рисунок иллюстрирует комбинацию сетевых элементов, которые нужно использовать, для проектирования и развертывания систем GSM и CDMA. Компания Qualcomm предлагает защитный интервал с шириной полосы 2 МГц между несущими частотами систем CDMA и GSM, т.е. между последним несущим системы CDMA и первым несущим системы GSM, для улучшения спецификации излучения. В итоге получается в 1.3 МГц защитного диапазона между этими двумя диапазонами.

Здесь требуется отметить что, согласно рекомендации Qualcomm допустимое расстояние между базовыми станциями не должно быть меньше чем 200 метров.

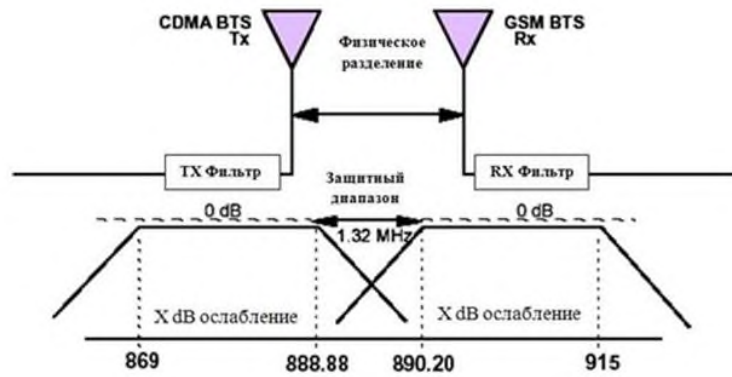


Рис. 5: Требования сосуществования CDMA и GSM

С учетом рекомендации Qualcomm у нас будет следующая ситуация:

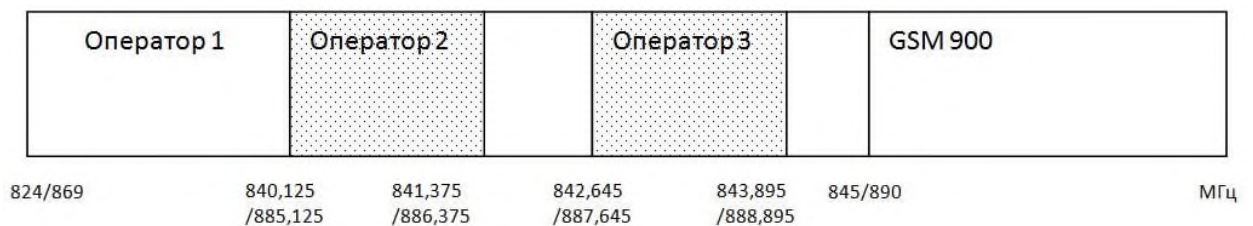


Рис. 6 Спектр частот с учетом рекомендации Qualcomm

Использование полосы частот 880-890 МГц для стандарта EGSM.
 Автор предлагает использовать стандарт EGSM (расширенный GSM), рабочая частота которого расширена на 10 МГц в сторону низких частот по сравнению с полосой 900 МГц. Таким образом, если оператор имеет доступ к этой полосе, он может увеличить емкость своей сети. Для получения доступа к увеличенной емкости сети мобильные телефоны пользователей также должны поддерживать работу в области частот расширенного диапазона. Также будет возможность для проектирования новой сети с достаточной емкостью сети. Тем более во всех последних мобильных телефонах после 1 квартала 2000 года, есть поддержка EGSM.

В результате, установив защитное отношение между базовыми станциями CDMA и EGSM можно обеспечить условия ЭМС и беспомеховое сосуществование сетей сотовой связи
 Таким образом, будет следующая картина:

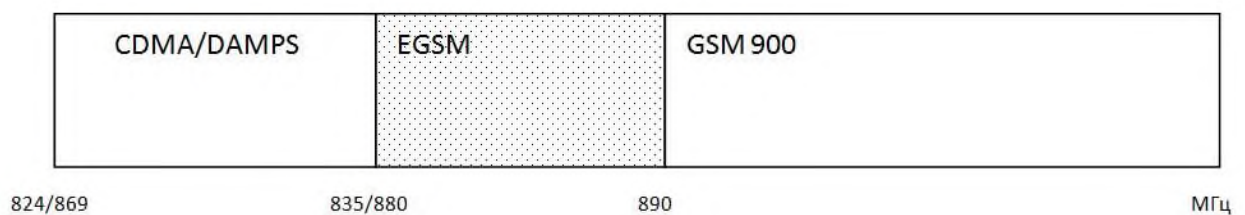


Рис.7. Использование полосы частот 880-890 для стандарта E-GSM

Эффективность изменения характеристик антенны и использования фильтров. Учитывая горизонтальный разнос, угол наклона антенн, вертикальный разнос антенн базовых станций построим график без использования фильтра и с использованием фильтра:

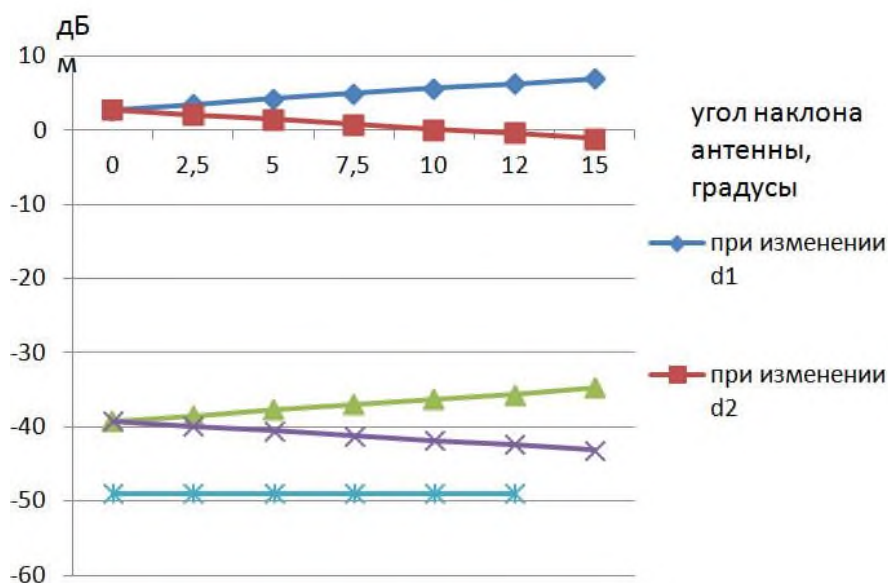


Рис. 8 Иллюстрация эффективности применения фильтров на приемнике базовой станции GSM 900

Таким образом, при данном расположении антенн, использовании частот, технических параметров антенн беспомеховая работа двух базовых станций невозможна. Следует отметить, что с помощью фильтра на приемнике базовой станции и изменением наклона антенн базовых станций можно максимально снизить уровень интермодуляционных помех.

В заключение, используя наиболее приемлемый вариант вышеупомянутых методов оптимизации сетей сотовой связи можно минимизировать помехи и обеспечить ЭМС при развертывании в одном городе сетей сотовой связи стандартов CDMA (DAMPS) GSM.

Глава 4. Данная глава посвящена прогнозированию перспективы использования полосы частот 800-900 МГц. Представлена информация о международном опыте использования данной полосы частот.

Технологическая эффективность использования частотного спектра стала, в настоящее время, важным научно-прикладным направлением. Поскольку она зависит от методов сжатия и параметров схемы модуляции при передаче сигнала, после перехода на цифровое вещание за счет более эффективного использования радиочастотного ресурса можно ожидать высвобождения некоторого количества спектра – так называемого «цифрового дивиденда», который может быть использован появившимися, в последнее время, наиболее перспективными, востребованными, социально значимыми и прибыльными применениями.

Полоса частот 790-862 МГц распределена для радиовещательной и подвижной служб на первичной основе. Принимая во внимание развитие подвижной службы в стране, как и во всем мире, следует отдать предпочтение подвижной службе. Тем более, что эта полоса является на данный момент одной из наиболее привлекательных кандидатур на внедрение ИМТ в Кыргызской Республике, поскольку в смежных полосах уже развернуты и успешно работают системы сотовой связи различных стандартов. Такое «соседство» могло бы оказать влияние на наиболее эффективное внедрение ИМТ. Принятие решения «в пользу» подвижной службы помогло бы не только внедрить систему сотовой связи четвертого поколения, но и принести государству гораздо больше доходов в виде налоговых отчислений, чем предоставление услуг цифрового телевидения.

ВЫВОДЫ

В данной диссертационной работе получены следующие результаты:

1. Усовершенствован расчет напряженности поля интермодуляционных помех между сотовыми стандартами DAMPS и CDMA; CDMA и GSM; DAMPS, CDMA и GSM. Представлены условия изменения технических характеристик помеховых базовых станций для обеспечения электромагнитной совместимости.
2. Рационализированы методы обеспечения электромагнитной совместимости близко расположенных радиоэлектронных средств. Усовершенствованы методы расчета параметров помех, уровней напряженности поля, внеполосных параметров антенн при расположении радиоэлектронных средств на одной мачте или крыше.
3. Представлены технические и регуляторные меры для улучшения электромагнитной обстановки и обеспечения электромагнитной совместимости. Обобщены существующие меры, обеспечивающие совместную беспомеховую работу радиоэлектронных средств (борьба с помехами с помощью экранирования, фильтров, защитного интервала, изменения направленности антенны).
4. Представлен метод межсистемной оптимизации как перенос несущей частот стандарта CDMA в более нижний диапазон для уменьшения напряженности поля помехи в каналах приема стандарта GSM. Произведенные расчеты на основе двух методов предоставят возможность разместить операторов сотовой связи в радиочастотном спектре на основе беспомеховой работы.
5. Представлен второй метод межсистемной оптимизации – использование полосы частот 880-890 МГц для стандарта EGSM. Перераспределение в полосе 800-900 МГц путем внедрения стандарта EGSM вместо существующих стандартов DAMPS и CDMA представит взаимовыгодные условия оператором сотовой связи для дальнейшего развития.
6. Предложена рекомендация физического разделения между базовыми станциями при частотно территориальном планировании. Данная рекомендация межсистемной оптимизации наиболее эффективна на начальном этапе внедрения сотовых стандартов.
7. Проведен анализ существующего состояния использования полосы частот 790-862 МГц в Кыргызской Республики. Продемонстрирована перспективность использования данной полосы частот для стандарта LTE.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. **Джылышбаев, М.Н.** Особенности сети сотовой связи стандарта CDMA/М.Н. Джылышбаев; КГТУ им. И Раззакова// Телекоммуникационные и информационные технологии: состояние и перспективы развития: материалы международной конференции – Бишкек, 2008. – с.96-101.
2. **Джылышбаев, М.Н.** Электромагнитная совместимость сетей сотовой связи стандартов CDMA, DAMPS, GSM в диапазоне 800-900 МГц/М.Н. Джылышбаев; КГТУ им. И Раззакова//Теоретический и прикладной научно-технический журнал, Известия, №20, материалы международной научно-технической конференции – Бишкек, 2010 – с. 113-116.
3. **Джылышбаев, М.Н** Использование диапазона 790-862 МГц системами IMT/ Болжобекова Н.Т., Джылышбаев М.Н.; КГТУ им. И Раззакова// Телекоммуникационные и информационные технологии: состояние и перспективы развития: материалы международной конференции – Бишкек, 2008. – с. 158-162.
4. **Джылышбаев, М.Н.** Рекомендации и требования совместного использования сотовых сетей стандартов CDMA и GSM/ Жумабаев М., Джылышбаев М.Н.//Институт автоматики и информационных технологий, НАН КР, проблемы управления и информационных технологий, №2 – Бишкек, 2010 – с.26-30.
5. **Джылышбаев, М.Н.** Методика анализа электромагнитной совместимости РЭС сухопутной подвижной службы/М.Н. Джылышбаев; КГТУ им. И Раззакова// Теоретический и прикладной научно-технический журнал, Известия, №20, материалы международной научно-технической конференции – Бишкек, 2010 – с.117-119.
6. **Джылышбаев, М.Н.** Решение проблем перераспределения радиочастотного спектра в Кыргызской Республике при внедрении новых технологий/ Тиленбаев А., Джылышбаев М; Ташкентский университет информационных технологий//Международная научно-техническая конференции (РСС): техника и технологии связи – Ташкент,2008 – с.150-152.
7. **Джылышбаев, М.Н.** Электромагнитная совместимость базовых станций сетей сотовой связи на основе стандартов CDMA и DAMPS/Жумабаев М., Джылышбаев М.Н., Мукашев Е.О.; КГТУ им. И Раззакова // Теоретический и прикладной научно-технический журнал, Известия, №20, материалы международной научно-технической конференции – Бишкек, 2010 – 151-154.
8. **Джылышбаев, М.Н.** Расчет эффективности применения фильтров для защиты от помех в сотовых сетях связи /Мамбеталиев З., Жумабаев М., Джылышбаев М.; КГТУ им. И Раззакова// Теоретический и прикладной научно-технический журнал, Известия, №24, материалы

- международной научно-технической конференции – Бишкек, 2011 – 252-255.
9. **Джылышбаев, М.Н.** Защиты существующих и планируемых станций различных служб радиосвязи от помех устройств малого радиуса действия//М.Н. Джылышбаев; КГТУ им. И. Раззакова// Теоретический и прикладной научно-технический журнал, Известия, №16, материалы международной научно-технической конференции – Бишкек, 2009 – 63-66.
 10. **Джылышбаев, М.Н.** Межсистемная оптимизация сетей сотовой связи для обеспечения условий ЭМС//Исмаилов Б., Жумабаев М., Джылышбаев М.; Научно-техническое общество «Кахак»//Известия, №4(38) – Алматы, 2012 – 59-63.
 11. **Джылышбаев, М.Н.** Рекомендации электромагнитной совместимости систем LTE и DVB-T// Джылышбаев М.; Научно-техническое общество «Кахак»//Известия, №4(38) – Алматы, 2012 – 55-59.

РЕЗЮМЕ

диссертации Джылышбаева Максата Нурбековича на тему «Системный анализ электромагнитной совместимости сетей сотовой связи и управление радиоспектром» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности - 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)

электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств, управления радиочастотным спектром, полоса частот, сотовые сети, интермодуляционные помехи, напряженность поля, межсистемная оптимизация, регуляторные и технические меры, защитное отношение.

Основная цель заключается в совершенствовании управления радиочастотным спектром путем межсистемной оптимизации сетей сотовой связи стандартов GSM, CDMA, DAMPS для беспомеховой совместной работы. Разработка регуляторных и технических мер для более эффективного использования радиочастотного спектра.

Разработанный метод расчета, регуляторные и технические меры могут быть использованы в дальнейшем для расчетов электромагнитной совместимости в полосах частот 800-900 МГц. Методы межсистемной оптимизации могут быть использованы для обеспечения условий электромагнитной совместимости между сотовыми сетями в Кыргызской Республике и в странах с аналогичным распределением полос частот.

«Уюлдук байланыш тармактарынын электромагниттик шайкештигин тутумдук талдоо жана радиоспектринин башкаруусу» темасындагы Джылышбаев Максаттын илимий даража алуу үчүн диссертациясынын РЕЗЮМЕси

радиоэлектрондук каражаттарынын электромагниттик шайкештиги, радиоспектринин башкаруусу, жыштык, уюлдук тармак, интермодуляциондук тоскоол, электромагниттик талаанын кубаттуулугу, тармак аралык оптималдаштыруу, регулятордук жана техникалык чаралар.

Негизги иштин максаты уюлдук байланыш стандарттарынын тармак аралык оптималдаштыруу жолу менен радиоспектрин башкаруусун жакшыртуу болуп эсептелет. Радиоспектрин натыйжалуу колдонуу максатында регулятордук жана техникалык чараларды иштеп чыгуу.

Иштелип чыккан регулятордук жана техникалык чаралар электромагниттик шайкештигин 800-900 МГц жыштыгында эсептоо максатында колдонууга болот. Тармак аралык оптималдаштыруу методдорун Кыргыз Республикасындагы жана башка мамлекеттерде уюлдук байланыш

стандарттарынын электромагниттик шайкештигин камсыз кылуу максатында колдонууга болот.

RESUME

of Maksat Dzhylyshbaev's thesis on the theme «Systems analysis of electromagnetic compatibility of mobile networks and radio spectrum management» for the degree of candidate of technical sciences of specialty 05.13.01 System analysis, management and information processing (by industries)

electromagnetic compatibility of radio electronic devices, radio frequency management, bandwidth, mobile networks, interference field strength, inter-system optimization, regulatory and technical measures, protective attitude.

The main objective is to improve the management of the radio frequency spectrum by interconnection optimization of mobile networks GSM, CDMA, DAMPS to reduce interference. Development of regulatory and technical measures for more efficient using of the radio spectrum.

The developed method of calculation, regulatory and technical measures can be used later for the calculation of electromagnetic compatibility in the frequency bands 800-900 MHz. Intersystem optimization techniques can be used to ensure electromagnetic compatibility between mobile networks in the Kyrgyz Republic and in countries with a similar distribution of frequency bands.