ЭКОНОМИКА И КАЧЕСТВО СИСТЕМ СВЯЗИ ***№ 2(4) / 2017***

ISSN 2500-1833

Международный научно-практический электронный журнал
Основан в 2015 году, издается ежеквартально

Учредители:
Региональное отделение Российской академии естественных наук «Экономика и качество систем связи», ЗАО «Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий»

Издатель:
ЗАО «Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий»

Главный редактор
Е.Е. Володина, к.э.н., чл.- корр. РАЕН

Редакционная коллегия:
Л.К. Бабенко, д.т.н.
Г.О. Бокк, д.т.н.
Н.В. Борох, д.э.н.
В.Э. Гуревич, к.т.н.
С.В. Дворянкин, д.т.н.
Ю.Б. Зубарев, д.т.н., чл.-корр. РАН
Р.М. Качалов, д.э.н.
М.И. Косинов, к.т.н.
А.А. Кобылко, к.э.н.
А.В. Кудин, к.т.н.
В.Н. Лившиц, д.э.н.
С.А. Панов, д.т.н
Д.А. Петров, к.ф.-м.н., Финляндия
Т.Ю. Салютина, д.э.н
О.А. Шорин, д.т.н.
Эмиль Кине, Ph. D., Франция
Сю Гуан Хань, IEEE Fellow, Китай

Ведущий редактор *Н.С. Дуничева* ***Редактор*** *О.В. Федорова*

Журнал публикует статьи, отражающие результаты исследований в соответствии со следующими разделами ГРНТИ:
06.00.00 – Экономика и экономические науки
10.00.00 – Государство и право. Юридические науки
14.00.00 – Народное образование. Педагогика
19.00.00 – Массовая коммуникация. Журналистика. СМИ
20.00.00 – Информатика
47.00.00 – Электроника. Радиотехника
49.00.00 – Связь
73.00.00 – Транспорт
82.00.00 – Организация и управление
84.00.00 – Стандартизация
90.00.00 – Метрология

Адрес редакции: *111024, Москва, ул. Авиамоторная, дом 8А, стр. 5.*
ЗАО «НИРИТ»
Тел./факс: *(495)925-10-60*
e-mail: *ekss@nirit.org* ***сайт:*** *http://nirit.org/*

СОДЕРЖАНИЕ

ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ

А.Д. Кузовков, Т.Ю. Салютина
Управление инновационным развитием инфокоммуникаций на основе оценки эффективности применения ИКТ **3-8**

Д.В. Кузовков, Т.А. Кузовкова, О.И. Шаравова
Обоснование комплексной оценки эффективности инфраструктурных проектов развития спутниковой связи **8-14**

М.Ф. Ванина, А.Г. Ерохин, Е.А. Фролова
Использование математических моделей при проектировании и оценке эффективности функционирования интернет-сайтов **14-21**

ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Р.С. Аверьянов, А.О. Шорин
Снижение производительности радиоканала UMTS при уменьшении разноса частот соседних каналов **22-32**

Р.С. Аверьянов, А.О. Шорин
Особенности организации цифровой обработки сигналов в сети UMTS, препятствующие уменьшению разноса рабочих частот **32-42**

В.Н. Максименко, Е.В. Ясюк
Основные подходы к анализу и оценке рисков информационной безопасности **42-48**

МЕТРОЛОГИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Б.П. Хромой
Комплекс для измерения параметров приёмо-передающих средств связи **49-57**

СОБЫТИЯ

Итоги XXXIX конференции регионального отделения РАЕН «Мобильный бизнес: Перспективы развития и проблемы реализации систем радиосвязи в России и за рубежом» **58-59**

ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ

УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫМ РАЗВИТИЕМ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИКТ

Т.Ю. Салютина, *зав. кафедрой «Экономика связи», д.э.н., МТУСИ, salutina@list.ru;*
А.Д. Кузовков, *аспирант кафедры «Экономика связи» МТУСИ, alexkuzovkov@mail.ru*

УДК 330.34

Аннотация. Разработанный интегрально-экспертный метод оценки социально-экономической эффективности применения инфокоммуникационных технологий (ИКТ) в различных сферах социальной и экономической деятельности является инструментом конкретизации управленческих решений по инновационному развитию инфокоммуникаций и формированию гармоничного информационного общества. Раскрывается процедура и алгоритм регулирования развития инфокоммуникационной инфраструктуры информационного общества путем установления направлений и средств достижения прогнозных показателей эффективности ИКТ.

Ключевые слова: инфокоммуникационные технологии; социально-экономическая эффективность; интегрально-экспертный метод; механизм регулирования.

MANAGEMENT OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF INFOCOMMUNICATIONS BASED ON THE EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF ICT

Tatiana Salutina, *head of the "Communications economics" department, doctor of economics, MTUCI;*
Alexander Kuzovkov, *graduate student of the "Communications economics" department, MTUCI*

Annotation. The developed integrated expert method for assessing the socio-economic efficiency of the use of infocommunication technologies (ICTs) in various spheres of social and economic activity is a tool of management decisions on the innovative development of infocommunications and the formation of a harmonious information society. The procedure and algorithm for regulating the development of the infocommunication infrastructure of the information society is revealed by establishing the directions and means for achieving the predictive indicators of the effectiveness of ICT.

Keywords: infocommunication technologies; socio-economic efficiency; integral-expert method; control mechanism.

Для разработки успешной стратегии формирования гармоничного информационного общества по экономическим и социальным параметрам необходим специальный методический аппарат, позволяющий конкретизировать управленческие решения по достижению прогнозных уровней частных и обобщающих показателей эффективности развития инфокоммуникаций и применения ИКТ на основе результатов интегрально-экспертной оценки эффективности в соответствии с предлагаемым интегрально-экспертным методом [1-2].

Применение интегрально-экспертного метода исчисления комплексных показателей и технологии экспертного опроса эффективности применения ИКТ с учетом положительных и отрицательных эффектов последствий информатизации [3-5] дают основание для формирования информационно-аналитического инструментария управления инновационным развитием инфокоммуникаций и информационнного общества на основе оценки эффективности ИКТ по

различным кластерам их применения в экономической деятельности, жизнедеятельности населения и региональной экономике [1, 6].

Модель интегрального показателя социально-экономической эффективности применения ИКТ в форме относительного коэффициента эффективности как соотношения интегральных результативных и затратных показателей, состоящих из совокупности частных показателей, количественно измеренных экспертами (в баллах), служит основой разработки механизма выявления узких мест и резервов повышения эффективности применения ИКТ и регулирования процесса развития инфокоммуникационной инфраструктуры информационного общества [2, 7-9].

Сопоставление фактических и потенциальных уровней частных показателей результативной и затратной составляющих экономической и социальной эффективности применения ИКТ в исследуемых сферах бизнеса инфокоммуникационных компаний и высшего образования в 2016 и 2020 гг. демонстрирует наличие существенных резервов повышения эффективности применения ИКТ и необходимости сосредоточения управленческих решений на конкретных направлениях развития инфокоммуникаций и информатизации общества [10-13].

Приведенный в таблице фрагмент комплекса аналитико-регулирующих мер по результатам проведенного экспертного опроса дает четкую программу управления масштабами и глубиной применения ИКТ в сфере бизнеса инфокоммуникационных компаний.

В табл. 1 представлены резервы и направления деятельности по повышению эффективности применения ИКТ в сфере бизнеса инфокоммуникационных компаний на основе результатов экспертной оценки показателей (составлена авторами).

Процедура управления инновационным развитием инфокоммуникационной инфраструктуры информационного общества на основе результатов интегрально-экспертной оценки применения эффективности ИКТ по кластерам экономики и социума базируется на определенной последовательности информационно-аналитических работ и установлении направлений и средств достижения прогнозных показателей эффективности ИКТ, поэтому разработан соотвествующий алгоритм (рисунок). На рис. 1 показан алгоритм процедуры регулирования развития инфокоммуникационной инфраструктуры информационного общества на основе результатов интегрально-экспертной оценки эффективности ИКТ.

При разработке комплексной системы интегрально-экспертной оценки эффективности применения ИКТ и развития инфокоммуникаций в условиях формирования информационного общества был осуществлен выбор ключевых частных показателей эффективности, с одной стороны, отражающих социально-экономические последствия информатизации, с другой стороны – степень охвата сфер экономической деятельности, социальных групп и территорий потребления инфокоммуникационных технологий и услуг.

В то же время, обеспечение полной доступности гражданина к средствам связи и информационным ресурсам и полной информационной грамотности граждан Российской Федерации за счет реализации принятых программ развития инфокоммуникаций и построения информационного общества до 2020 г. обеспечивает достижение ряда затратных показателей, касающихся региональных диспропорций доступа в интернет, электронного неравенства, кибер терроризма, неспособности людей противостоять информационному мошенничеству.

Полная доступность к сети интернет и информационная грамотность практически сразу дают экономический эффект применения ИКТ в жизнедеятельности населения РФ.

Для снижения отрицательного эффекта затратной составляющей социальной эффективности применения ИКТ большое значение имеет фактор мировоззрения гармоничной личности информационного общества, требующий значительных затрат (трудовых и временных) на формирование теории и практической реализации такого мировоззрения.

Таблица 1.

№	Частный показатель обобщающей оценки эффективности	Эффективность ИКТ (балл) в году.		Наличие резервов (да, нет)	Укрупненные управленческие решения по повышению эффективности применения ИКТ
		2016	2020		
1	**Обобщающий результативный показатель экономической эффективности (положительный эффект)**				
1.1	Экономический рост за счет инновационного развития и внедрения ИКТ	2,82	3,88	да	Увеличение проникновения ИКТ в жизнедеятельность
1.2	Увеличение доли информационных ресурсов в структуре ресурсов производства	2,76	4,18	да	Увеличение доли информационных ресурсов в производстве на основе ИКТ
2	**Обобщающий результативный показатель социальной эффективности (положительный эффект)**				
2.1	Рост интеллектуальности труда	2,76	4,35	да	Преобладание информационных ресурсов в процессе труда на основе ИКТ
2.2	Возможность производства и покупки электронных услуг	2,65	4,18	да	Перевод производства услуг в электронную форму
2.3	Автоматизация и роботизация производства	2,24	4,18	да	Перевод производства на автоматизированные системы
2.4	Автоматизация и роботизация жилья	1,06	3,94	да	Электронизация и мобильность управления жизненными системами и средствами
3	**Обобщающий затратный показатель экономической эффективности (отрицательный эффект)**				
3.1	Затраты на развитие инфраструктуры инфокоммуникаций	4,06	2,5	нет	Обеспечение полной доступности гражданина к средствам связи и информационным ресурсам
3.2	Затраты на информационную безопасность	2,71	5,0	да	Рост затрат на обеспечение информационной безопасности на основе новых ИКТ
4	**Обобщающий затратный показатель социальной эффективности (отрицательный эффект)**				
4.1	Виртуализация ценностей, этики, морали	2,24	4,0	да	Рост затрат на формирование мировоззрения гармоничной личности информационного общества
4.2	Электронное неравенство	3,35	1,5	нет	Обеспечение полной доступности гражданина к средствам связи и информационным ресурсам
4.3	Неспособность людей противостоять информационному мошенничеству	3,76	2,7	нет	Обеспечение полной информационной грамотности
Интегральный коэффициент эффективности применения ИКТ		**0,66**	**1,53**	да	

Так достижение перспективных показателей эффективности ИКТ в сфере бизнеса инфокоммуникационных компаний по многим показателям экономической эффективности определяются ростом проникновения ИКТ в жизнедеятельность всех секторов экономики, способствующем увеличению доли информационных ресурсов в производстве на основе ИКТ. Реализация данных мероприятий возможна на основе использования суперкомпьютерных и грид технологий, облачных вычислений, оптимизации бизнес-процессов, ресурсосберегающих технологий, внедрения электронных систем управления производством и электронного государственного управления.

Рисунок 1.

Снижение частных показателей затратного показателя экономической эффективности в аспекте отрицательного эффекта базируется на обеспечении полной доступности граждан к средствам связи и информационным ресурсам, полной информационной грамотности и информационной безопасности на основе новых ИКТ с соответствующим ростом затрат на данные мероприятия. Для реализации данных мероприятий необходимо повышение скорости передачи информации до 100 и более Мбит/с в цифровых транспортных сетях, защищенности информации в инфокоммуникационных системах, создание многофункциональных общественных центров по развитию технологических и деловых навыков в электронной среде, сетей абонентского доступа с использованием различных средств передачи, интеграция телевещания и интернета.

Снижение частных показателей затратного показателя социальной эффективности в аспекте отрицательного эффекта связано с ростом затрат на формирование мировоззрения гармоничной личности информационного общества, обеспечение полной доступности граждан к средствам связи и информационным ресурсам, полной информационной грамотности. Формирование мировоззрения гармоничной личности информационного общества предусматривает изменение человеко-машинного интерфейса, технологий искусственного интеллекта, применения новых способов создания и распространения контента, эффективных средств управления компьютерными ресурсами, удаленным виртуальным режимом работы, а также разработки новых способов и технологий формирования гармоничной личности.

Полученный в результате выявления резервов повышения эффективности применения ИКТ по результатам проведенного экспертного опроса комплекс аналитико-регулирующих мероприятий дает четкую программу управления масштабами и глубиной применения ИКТ в различных сферах производства и социума. Развернутая картина данного процесса по всем кластерам экономической, социальной деятельности с учетом регионального распределения позволит конкретизировать программу формирования информационного общества по всем направлениям развития Российской Федерации.

Модель интегрального показателя социально-экономической эффективности применения ИКТ в форме относительного коэффициента эффективности как соотношения интегральных результативных и затратных показателей, состоящих из совокупности частных показателей, количественно измеренных экспертами (в баллах), служит основой разработки комплекса аналитико-регулирующих мер по управлению масштабами и глубиной применения ИКТ. Поэтому интегрально-экспертный метод оценки эффективности применения ИКТ позволяет получить всеохватывающую картину состояния и потенциала использования ИКТ по различным кластерам современного общества и проводить целенаправленную политику по развитию инфокоммуникаций и формированию гармоничного информационного общества с установлением конкретных объектов данного процесса и времени обеспечения целевых показателей.

Если привлечь имеющуюся информацию по перспективам развития ИКТ и систем связи в экономике и социуме, то можно сформировать матрицу, позволяющую еще более конкретизировать установленные на основе оценки социально-экономической эффективности ИКТ направления развития инфокоммуникаций и создания информационного общества.

Литература

1. Кузовков Д.В. Применение экспертно-квалиметрического подхода к оценке эффективности инноваций и выбору поставщика оборудования в сфере инфокоммуникаций // Век качества, – 2009. – № 1. – С. 30-33.

2. Кузовкова Т.А., Тимошенко Л.С. Анализ и прогнозирование развития инфокоммуникаций. – 2-е изд, перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 174 с.

3. Володина Е.Е., Девяткин Е.Е., Суходольская Т.А. Анализ обязательств Российской Федерации во Всемирной торговой организации по спутниковой связи // Экономика и качество систем связи, 2017. – №1 (3). – С. 46-53.

4. Бессилин А.В., Володина Е.Е., Девяткин Е.Е. Прогноз развития рынка услуг перспективных радиотехнологий в России // Век качества, – 2011. – № 1. – С. 16.

5. Салютина Т.Ю. Методический и экономический аппарат оценки рыночного потенциалы компаний связи // Монография. – М.: 2009.

6. Кузовкова Т. А., Кузовков Д.М., Кузовков А.Д. Экспертно-квалиметрический метод интегральной оценки эффективности инновационных проектов и применения новых технологий // Системы управления, связи и безопасности, – 2016. – № 3. – С. 1-54.

7. Салютина Т.Ю., Кузовков А.Д. Анализ методов и подходов к измерению процессов информатизации и движения к информационному обществу // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт, – 2016. – Т. 10. – № 6. – С. 52-57.
8. Салютина Т.Ю., Кузовков А.Д. Комплексная оценка развития инфокоммуникаций и формирования информационного общества на основе интегрального и экспертного методов // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – Ростов н/Д: ПЦ "Университет" СКФ МТУСИ. 2016. – С. 552-558.
9. Салютина Т.Ю., Кузовков А.Д. Совершенствование методики оценки развития ИКТ в условиях формирования информационного общества на основе интегрального и экспертного подходов // Труды Сборника материалов XXIX Конгресса «Безопасность и качество в сфере ИКТ». – М.: Издательский центр «Интерэкомс. – 2016. – С. 64-73.
10. Салютина Т.Ю., Платонова Н.С. Особенности и проблемы комплексного учёта рисков при оценке эффективности инвестиционных проектов инфокоммуникационных компаний // Экономика и качество систем связи, 2017. – №1 (3). – С. 9-16.
11. Володина Е.Е., Девяткин Е.Е., Суходольский А.М., Суходольская Т.А. Основные направления развития информационно-коммуникационных технологий в Европе // Труды Научно-исследовательского института радио, – 2012. – № 2. – С. 11-22.
12. Шаравова О.И. Обеспечение финансовой стабильности и устойчивости организаций в сфере ИКТ на основе перспективной оценки // в сборнике: Безопасность и качество в сфере информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Сборник материалов XXIX Конгресса «Безопасность и качество в сфере ИКТ». 2016. С. 82-86.
13. Веерпалу В.Э., Володина Е.Е., Девяткин Е.Е. Развитие широкополосных систем связи как условие создания информационного общества // Электросвязь, – 2010. – № 12. – С. 17-20.

ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТОВ РАЗВИТИЯ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Т.А. Кузовкова, *профессор кафедры «Экономика связи» МТУСИ, д.э.н., tkuzovkova@me.com;*
Д.В. Кузовков, *доцент кафедры «Экономика связи» МТУСИ, к.э.н., kuz_dim@mail.ru;*
О.И. Шаравова, *доцент кафедры «Экономика связи», к.э.н., МТУСИ, olgasharavova@yandex.ru*

УДК 621.391

Аннотация. Рассмотрены специфические факторы и причины необходимости комплексного подхода к оценке социально-экономической эффективности развития инфраструктуры спутниковой связи. Приведены основные аспекты оценки социально-экономической эффективности инфраструктурных проектов спутниковой связи. Определено в количественном и качественном выражении содержание эффекта для национальной экономики от общественно значимых инфраструктурных проектов спутниковой связи. Доказана целесообразность применения комплекса количественных и качественных оценок для обеспечения комплексности выводов по оценке социально-экономической эффективности развития инфраструктуры спутниковой связи.

Ключевые слова: спутниковая связь; инфраструктурные проекты; оценка социально-экономической эффективности; развитие инфраструктуры спутниковой связи.

JUSTIFICATION A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT PROJECTS IN SATELLITE COMMUNICATIONS

Tatyana Kuzovkova, *professor of the "Communications economics" department, doctor of economic sciences;*
Dmitry Kuzovkov, *associate professor of the "Communications economics" department, Ph. D. in economics;*
Olga Sharavova*, associate professor of the "Communications economics" department, Ph. D. in economics, MTUCI*

Annotation. Specific factors and reasons for the necessity of an integrated approach to assessing the socio-economic efficiency of satellite communications infrastructure development are considered. The main aspects of assessing the socio-economic efficiency of infrastructure projects for satellite communications are given. The content of the effect for the national economy from socially significant infrastructure projects of satellite communication is determined in quantitative and qualitative terms. The expediency of using a complex of quantitative and qualitative assessments to ensure the completeness of the conclusions on assessing the socio-economic efficiency of the development of the satellite communications infrastructure is proved.

Keywords: satellite communications; infrastructure projects; assessment of socio-economic efficiency; the development of satellite communications.

Роль спутниковой связи как компонента инфокоммуникаций в национальной экономике определяется ее принадлежностью к производственной и социальной инфраструктуре, что диктует необходимость рассмотрения эффективности ее инновационного развития в комплексе с разных сторон проявления эффектов и последствий – социальных и экономических, положительных и отрицательных [1].

Для оценки эффективности развития инфраструктуры спутниковой связи и применения ее возможностей в обществе необходимо иметь методику, учитывающую характер проявления синергетического (внутреннего и внешнего) социально-экономического эффекта и влияние множества факторов. Необходимость разработки соответствующей методики обусловлена также характером научно-технического прогресса и спецификой производства и потребления услуг спутниковой связи (рис. 1).

Динамика и масштабы развития инфраструктуры спутниковой связи, степень доступности сетей и информационных ресурсов демонстрируют экономические эффекты. Качественная сторона доступности средств спутниковой связи и информационных ресурсов выражается в росте эффективности государственного управления [2] и управления бизнесом, повышении производительности и качества труда, увеличении степени заполнения свободного времени инфокоммуникационными услугами и технологиями. Значительный эффект развития инфраструктуры спутниковой связи выражается не столько в экономических результатах, сколько в социальных последствиях экономии времени и интеллектуализации труда.

Анализ достижений экономически развитых стран показывает, что состояние и прогресс экономики страны напрямую зависят от уровня, тенденций и масштабов развития инфокоммуникаций и индустрии спутниковой связи. Наличие такой взаимосвязи предопределяет, во-первых, значительный внешний (внеотраслевой) эффект развития спутниковой связи, который превышает фактический вклад отрасли в создание валового внутреннего продукта (ВВП), во-вторых, необходимость учета при оценке эффективности инфраструктурных проектов спутниковой связи множественность проявлений экономического и социального эффекта [3-6].

На рис. 1 приведены специфические факторы и причины необходимости комплексного подхода к оценке социально-экономической эффективности развития инфраструктуры спутниковой связи.

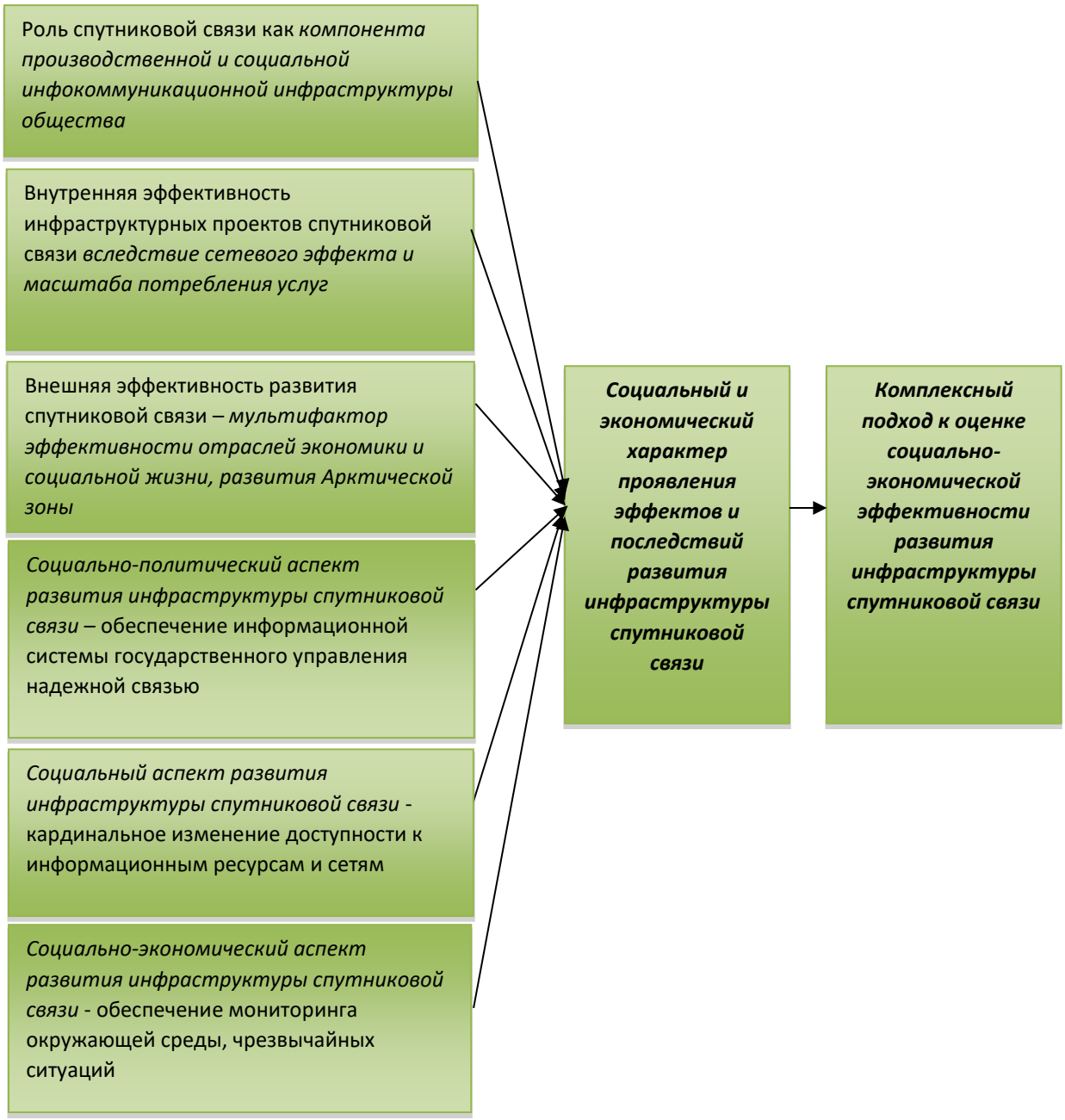


Рисунок 1.

Дальнейшее технологическое совершенствование производства посредством использования инфокоммуникационных средств и технологий будет обеспечивать длительный положительный вклад в мультифактор роста эффективности производственного сектора (multifactor productivity – MFP), как это происходит в странах с развитым инфокоммуникационным сектором [6].

Поскольку спутниковая связь является важнейшим компонентом отрасли связи и составляющей социально-производственной инфраструктуры общества, то оценка эффективности инфраструктурных проектов спутниковой связи имеет синергетический многофакторный характер и включает четыре компонента (рис. 2).

На рис. 2 приведены компоненты социально-экономической эффективности развития инфраструктуры спутниковой связи.

Рисунок 2.

Оценка социально-экономической эффективности инфраструктурных проектов спутниковой связи включает четыре аспекта:

- внутренний (отраслевой) экономический эффект производства и реализации услуг спутниковой связи государственным структурам, бизнесу и населению в соответствии с платежеспособным спросом;
- внешний инфраструктурный эффект (внеотраслевой, эффект экстерналий) обеспечения нормальных процессов экономической и социальной деятельности;
- социальный эффект воздействия возможности доступа к информационным ресурсам и сетям и предоставления инфокоммуникационных услуг и технологий на качество производственной и социальной жизни;
- разный характер проявления эффектов финансирования инфраструктурных проектов для операторов инфраструктуры (космический и земной сегменты производства и запуска космических аппаратов) и операторов оказания услуг спутниковой связи потребителям.

Операторы инфраструктуры спутниковой связи, как правило, государственные предприятия, имеют прямые затраты (в основном государственные инвестиции), операторы оказания услуг спутниковой связи потребителям, в том числе провайдеры услуг, несут косвенные затраты на пользование инфраструктурой спутниковой связи и прямые доходы от оказания услуг.

Сложный синергетический и многофакторный характер социально-экономической эффективности инфраструктурных проектов спутниковой связи обусловливает разные методические подходы к ее оценке. Оценка внутреннего экономического эффекта производства и реализации услуг спутниковой связи потребителям (государственным структурам, бизнесу и населению) производится на основе вышерассмотренной общепринятой методики оценки инвестиционных проектов [7-8].

Для оценки внешней эффективности общественно значимых инфраструктурных проектов спутниковой связи важно определить в количественном или качественном выражении содержание эффекта для национальной экономики:

- изменение условий доступа к информационным ресурсам и сетям, включая сеть интернет;

- снижение затрат населения и делового сектора на транспортные издержки вследствие доступа к навигационным системам, на предотвращение чрезвычайных ситуаций, природных и техногенных катастроф вследствие доступа к соответствующей мониторинговой информации;
- снижение затрат населения на образование, диагностику и лечение вследствие предоставления дистанционных инфокоммуникационных услуг;
- возможность создания новых производств, включая создание собственного производства продуктов и услуг в домашних хозяйствах;
- повышение благосостояния населения вследствие увеличения занятости людей в отдаленных и труднодоступных регионах Российской Федерации в виртуальном бизнесе;
- повышение информированности и культуры населения в отдаленных и труднодоступных регионах Российской Федерации.

В расчетах внешнего эффекта реализации инфраструктурных проектов спутниковой связи следует учитывать влияние развития инфокоммуникационной инфраструктуры на:

- снижение тарифов на инфокоммуникационные услуги и, соответственно, снижение доли затрат на инфокоммуникационные услуги в бюджете делового сектора, системы государственного управления и населения;
- здоровье людей вследствие повышения компьютерной грамотности и обеспечения информационной безопасности;
- экономию времени населения на доступные в любом месте и в любое время инфокоммуникации;
- снижение безработицы за счет создания новых рабочих мест в отдаленных и труднодоступных регионах Российской Федерации.

На наш взгляд, развитие инфраструктуры спутниковой связи имеет такие же формы проявления социально-экономической эффективности, которые специфичны для любых видов связи и отражают полноту предназначения телекоммуникаций и основной эффект их применения и развития – сокращение пространства и времени. В условиях практического отсутствия у некоторой части населения отдаленных и труднодоступных регионов, включая Арктическую зону нашей страны, доступа к инфокоммуникационным сетям этот эффект может иметь более высокие оценки [9].

Если эффект реализации инфраструктурных проектов спутниковой связи выражается в создании новых рабочих мест в отдаленных и труднодоступных регионах Российской Федерации, то при наличии соответствующей информации о средней заработной плате занятого населения можно прямо рассчитать экономию бюджетных мест на создание эквивалентного числа рабочих мест [10].

До настоящего времени расчет эффективности инвестиций и инвестиционных проектов производится преимущественно с точки зрения внутренней эффективности и недостаточно отвечает требованиям, предъявляемым к инвестиционным проектам с позиций обеспечения социально-экономической эффективности. Успешное инвестирование социально значимых инвестиционных проектов предполагает применение методов, позволяющих оценить эффективность расходования ограниченных бюджетных средств с точки зрения их выгод, результативности и полезности для общества, т.е. оценить социальный эффект.

Одним из способов установления взаимосвязи влияния развития инфраструктуры спутниковой связи на социально-экономические результаты развития регионов, особенно отдаленных и труднодоступных, является применение метода корреляций и регрессий для измерения тесноты связи между показателями инфокоммуникационной плотности и доходов на одного пользователя и экономическими и социальными последствиями внедрения инфраструктурных проектов спутниковой связи: роста занятости, уменьшения безработицы, повышения оплаты труда, доходов от дополнительной деятельности и т.д.

Анализ применяемых в международной практике методов оценки эффективности проектов общественного сектора экономики, имеющих социальный эффект, указал на их достоинства и недостатки. Основными причинами ограниченности применения международных методов являются недостаточная разработанность методов оценки нематериальных выгод и полезности инвестиционных проектов общественного сектора в денежном выражении, которые бы позволяли агрегировать множественные результаты проекта в единую оценку.

Рассмотрение различных методов и подходов к измерению социально-экономической эффективности развития инфраструктуры спутниковой связи, имеющей синергетический и многофакторный характер диктует необходимость совершенствования методологии оценки эффективности инфраструктурных проектов на основе качественных методов измерения их параметров, основанных на квалиметрии, экспертных технологиях и построении интегральных показателей, а также разработки прикладного методического аппарата [11-13].

При разработке комплексной системы социально-экономической эффективности инфраструктурных проектов спутниковой связи важное значение имеет выбор ключевых частных показателей эффективности, с одной стороны, отражающих социально-экономические последствия развития инфокоммуникационной инфраструктуры спутниковой связи, с другой стороны – степень охвата сфер экономической деятельности и государственного управления, социальных групп и территорий потребления инфокоммуникационных технологий и услуг спутниковой связи [14].

При этом ключевыми факторами развития инфраструктуры спутниковой связи в условиях формирования информационного общества являются необходимость формирования единого информационного пространства на всей территории России, в том числе проживающего в отдаленных и труднодоступных территориях Арктической зоны Российской Федерации, обеспечения возможности доступа для 100% населения и организаций к государственной информационной системе управления и ее услугам, информационным ресурсам сети интернет и социальным сетям, современным услугам в сфере диагностики, лечения и образования на основе дистанционного консультирования и обучения.

Для обеспечения комплексности выводов по оценке социально-экономической эффективности развития инфраструктуры спутниковой связи целесообразно иметь комплекс количественных и качественных оценок на основе:

- применения различных подходов к измерению внутренней экономической эффективности в целом по отрасли спутниковой связи и отдельным участникам производственного процесса;
- разработки прикладной методологии оценки внеотраслевой эффективности инфраструктурных проектов для отдаленных и труднодоступных регионов, включая Арктическую зону Российской Федерации, в которых отсутствует полный доступ к информационным ресурсам и сетям;
- формирования системы комплексной оценки социально-экономической эффективности инфраструктурных проектов спутниковой связи на основе интегрально-экспертного метода измерения экономической и социальной эффективности с учетом положительных и отрицательных эффектов.

Литература

1. Девяткин Е.Е., Володина Е.Е., Суходольский А.М., Суходольская Т.А. Основные направления развития информационно-коммуникационных технологий в Европе // Труды Научно-исследовательского института радио, 2012. – № 2. – С. 11-22.

2. Володина Е.Е., Девяткин Е.Е., Суходольская Т.А. Анализ обязательств Российской Федерации во Всемирной торговой организации по спутниковой связи // Экономика и качество систем связи, 2017. – №1 (3). – С. 46-53.

3. Афанасьев В.Б. Методика оценки результатов деятельности организационных структур в области информационно-коммуникационных технологий // Креативная экономика, 2010. – № 12 (48). – С. 42-46.
4. Ампилогов В.Р. Системы на основе геостационарных спутников связи и вещания Ка-диапазона // Технологии и средства связи / Спец. выпуск “Спутниковая связь и вещание-2013”, 2012. – № 6. – С. 16-26.
5. Кузовкова Т.А., Салютина Т.Ю., Шаравова О.И. Статистика инфокоммуникаций. Учебник для вузов / Под ред. Профессора Т.А. Кузовковой. – М.: Горячая линия-Телеком, 2015. – 554 с.
6. Фадин Н.И. Особенности оценки эффективности социальных программ при наличии экстерналий // Экономические науки, 2015. – № 5 (126). – С. 64-67.
7. Беляков Г.С. Как оценить экономическую эффективность инвестиционных проектов // ЭКО, 2010. – № 6. – С. 121-129.
8. Салютина Т.Ю., Платонова Н.С. Особенности и проблемы комплексного учёта рисков при оценке эффективности инвестиционных проектов инфокоммуникационных компаний // Экономика и качество систем связи, 2017. – № 1(3). – С. 9-16.
9. Ибрагимов Д.М., Чистяков Н.И. Синтез науки и производства для решения государственных задач по развитию Арктической зоны РФ // Электросвязь, – 2016. – № 4. – С. 22-24.
10. Бендиков М.А., Пайсон Д.Б. Институциональная система инноваций и основы методологии ее проектирования (на примере космической деятельности) // Экономический анализ: теория и практика, 2012. – № 4. – С. 13-21.
11. Аджемов А.С., Буйдинов Е.В., Кузовков Д.В. Применение экспертно-квалиметрического метода для обоснования выбора эффективных инноваций в спутниковой связи // Электросвязь, 2015. – № 1. – С. 27-30.
12. Аджемов А.С., Буйдинов Е.В., Кузовков Д.В. Применение интегральной модели для оценки эффективности построения системы спутниковой связи // Электросвязь, 2016. – № 4. – С. 25-29.
13. Кузовкова Т. А., Кузовков Д.М., Кузовков А.Д. Экспертно-квалиметрический метод интегральной оценки эффективности инновационных проектов и применения новых технологий // Системы управления, связи и безопасности, 2016. – № 3. – С. 1-54.
14. Салютина Т.Ю. Методический и экономический аппарат оценки рыночного потенциалы компаний связи // Монография. – М.: 2009.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕРНЕТ-САЙТОВ

М.Ф. Ванина, *доцент кафедры «Информационных систем», к.т.н., МТУСИ, margo.vanina2012@yandex.ru;*
А.Г. Ерохин, *доцент кафедры «Информационных систем», к.т.н., МТУСИ, andrew145@yandex.ru;*
Е.А. Фролова, *доцент кафедры «Информационных систем» МТУСИ, efrolova@me.com*

УДК 51-7

Аннотация. Авторы указывают на вероятностный характер процессов, происходящих на сайтах, поэтому для оценки их временных характеристик представляется возможным использование методов аналитического моделирования и теории массового обслуживания.

Модель Web-сайта может быть представлена в виде открытой сети массового обслуживания, где каждый узел моделирует задержку (время пребывания пользователя на странице проектируемого сайта). При этом ставится задача определения класса систем массового обслуживания, наиболее адекватно представляющая процессы, происходящие на страницах сайта.

Рассмотрен следующий класс систем массового обслуживания – многолинейные системы с потерями (системы типа *G/G/l*/0). Число каналов обслуживания *l* определяет максимальное количество одновременно находящихся на странице сайта пользователей.

Показано, что применение аналитических моделей массового обслуживания позволяет оценивать среднее и максимальное время задержки пользователей на сайте. В процессе дальнейшей эксплуатации сайта полученные данные могут быть уточнены с помощью соответствующих метрик и использованы для совершенствования моделей его развития и построения эффективной процедуры его управления.

Ключевые слова: web-сайт; эффективность; управление; модель; метрика; стоимость; задержка.

THE USE OF MATHEMATICAL MODELS IN THE DESIGN AND ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF INTERNET SITES FUNCTIONING

Margarita Vanina, *associate professor of the «Information systems» department, candidate of technical sciences MTUCI;*
Andrei Erokhin, *associate professor of the «Information systems» department, candidate of technical sciences» MTUCI;*
Elena Frolova, *associate professor of the «Information systems» department» MTUCI*

Annotation. The authors point out that the processes occurring on the sites are of a probabilistic nature and it is possible to use the methods of analytical modeling and queuing theory to estimate their temporal characteristics.

The Web site model can be represented as an open queuing network, where each node simulates a delay (the time of the user's stay on the page of the projected site). At the same time, the task is to determine the class of queuing systems that most adequately represents the processes occurring on the pages of the site.

The following class of queuing systems is considered: multilinear systems with losses (systems of the type G / G / l / 0). The number of service channels l determines the maximum number of simultaneously located on the website page users.

It is shown that application of analytical queuing models allows to estimate average and maximum time of users' delay on the site. In the course of further operation of the site, the obtained data can be refined with the help of appropriate metrics and used to improve the models of its development and build an effective procedure for its management.

Keywords: web-site; efficiency; management; model; metrics; cost; delay.

Оценка эффективности сайта является очень важной задачей. Большинство существующих сайтов в настоящее время относятся к двум категориям – сайты электронной коммерции и корпоративные сайты. Для оценки эффективности функционирования сайтов разработана система показателей (метрик). Для сайтов, относящихся к категории электронной коммерции, используются четыре метрики: конверсия, время пребывания на сайте, количество отказов и количество просмотренных страниц [1].

Для категории корпоративных сайтов метрика «конверсия» не может быть использована, однако все остальные показатели также могут применяться. Таким образом, показатель «время пребывания пользователя на сайте» может служить важнейшим показателем его эффективности, независимо от того, к какой категории относится сайт.

Оценку времени пребывания пользователя на сайте можно проводить с помощью специальных инструментов [2-3]. Однако для этого сайт должен быть уже создан и эксплуатироваться. Но часто возникает задача оценки временных характеристик сайта до его создания, т.е. в процессе проектирования. Обычно проектируемый сайт ориентируется на высокий уровень пользовательской активности (иначе зачем создавать такой сайт?). Поскольку

процессы, происходящие на сайте, носят вероятностный характер, для оценки его временных характеристик представляется возможным использование методов аналитического моделирования и теории массового обслуживания [4].

Современные аналитические модели массового обслуживания позволяют вычислять не только среднее, но и (что более важно) максимальное время пребывания заявок в системе или сети [5-6]. Под максимальным временем пребывания заявки в системе или сети массового обслуживания понимается время, превышение которого возможно только для некоторой, наперед заданной доли заявок P_m. Например, для многолинейных систем массового обслуживания [7] максимальное время пребывания в системе вычисляется с помощью решения трансцендентных уравнений:

$$\alpha_1 \cdot e^{-\mu_1 \cdot Tqm} + \alpha_2 \cdot e^{-\mu_2 \cdot Tqm} - (1 - P_m) = 0,$$

если квадрат коэффициента вариации потока заявок на выходе системы (C_{tq}^2) больше или равен 1;

$$\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}\right)^{n_1 - 1} \cdot e^{-\lambda_1 \cdot Tqm} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot e^{-\lambda_2 \cdot Tqm} \cdot \sum_{k=0}^{n_1 - 2} \left[\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}\right)^{n_1 - k - 1} \cdot \sum_{j=0}^{k} \frac{(\lambda_2 \cdot Tq_m)^j}{j!} \right] - (1 - P_m) = 0,$$

если квадрат коэффициента вариации потока заявок на выходе системы меньше 1, где $\alpha_1, \mu_1, \alpha_2, \mu_2$ – параметры гиперэкспоненциального распределения, $\lambda_1, \lambda_2, n_1$ – параметры распределения эрланговского типа:

$$\alpha_1 = \Phi_\beta,$$

$$\alpha_2 = 1 - \Phi_\beta,$$

$$\mu_1 = 2 \cdot \Phi_\beta / Tq,$$

$$\mu_2 = 2 \cdot (1 - \Phi_\beta) / Tq,$$

$$\Phi_\beta = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\sqrt{C_{tq}^4 - 1}}{C_{tq}^2 - 1}\right),$$

$$\lambda_1 = \frac{n_1}{Tq}\left(1 + \sqrt{(n_1 - 1) \cdot \left(C_{tq}^2 \cdot n_1 - 1\right)}\right)^{-1},$$

$$\lambda_2 = \frac{n_1}{Tq} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{C_{tq}^2 \cdot n_1 - 1}{n_1 - 1}}\right)^{-1},$$

$$n_1 = 1 / C_{tq}^2.$$

Теория массового обслуживания позволяет строить и исследовать достаточно простые модели функционирования различных систем.

Каждая из страниц проектируемого сайта может быть представлена в аналитической модели в виде системы массового обслуживания, моделирующей определенную задержку (время пребывания пользователя на странице), а модель всего сайта может быть представлена в виде открытой сети массового обслуживания.

Постановка задачи для предлагаемой модели имеет вид:

Дано:

M – число страниц Web-сайта.

Параметры страницы:

Ts_i – среднее время пребывания пользователя на странице i, $i = \overline{1...M}$;

λ_{0_i} – интенсивность входного потока заявок к странице (заходов на страницу извне, т.е. не с других страниц сайта) i, $i = \overline{1...M}$;

$\|P_{ij}\|, i=\overline{0...M}$ – матрица вероятностей перехода между страницами сайта. Под узлом 0 понимается внешний источник заявок;

P_m – доля посетителей сайта, для которой вычисляется максимальное время задержки.

Найти:

Tq_0 – среднее время задержки пользователя на сайте;

Tq_{m_0} – максимальное время задержки пользователя на сайте, т.е. время, превышение которого возможно только для доли посетителей сайта P_m (обычно в качестве значения P_m выбирают стандартное значение – 0,9 или 0,95);

$Tq_i, i=\overline{1...M}$ – среднее время задержки пользователя на странице *i*;

$P_{l_i}, i=\overline{1...M}$ – вероятность отказа в обслуживании (невозможности захода на страницу *i).*

Переход на страницы сайта возможен тремя путями: набором адреса в адресной строке браузера, щелчком по гиперссылке на другом сайте, щелчком по гиперссылке на другой странице данного сайта. Интенсивность λ_{0_i} определяет число входов на страницу в единицу времени первыми двумя способами, а матрица вероятностей перехода $\|P_{ij}\|$ определяет алгоритм перехода по страницам сайта третьим способом.

Современные методы аналитического моделирования [4-7] позволяют учесть возможность неэкспоненциального распределения входных потоков и времени задержки пользователя на страницах сайта. В этом случае в качестве входных параметров добавляются соответствующие квадраты коэффициентов вариации, а в качестве результатов появляется возможность получить стандартные отклонения времени посещения сайта в целом и каждой его страницы в отдельности.

Затем необходимо определить класс систем массового обслуживания (СМО), подходящий для адекватного представления процессов, имеющих место на страницах сайта. Поскольку на каждой странице одновременно могут находится несколько пользователей, рассмотрим класс многолинейных систем массового обслуживания с потерями (типа *G/G/l*/0).

Число каналов обслуживания *l* будет определять максимальное число одновременно находящихся на странице сайта пользователей. На рис. 1 представлено графическое изображение системы *G/G/l*/0.

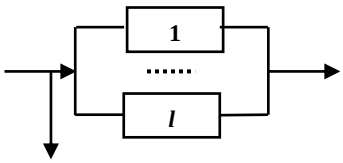


Рисунок 1.

Выбор данного класса СМО обусловлен следующем:

- каждый сайт имеет ограничение по числу одновременно находящихся пользователей (это число определяется возможностями используемой СУБД и характеристиками web-сервера и его следует максимизировать, но в любом случае оно конечно);
- если число пользователей превышает максимально возможное значение, возможен отказ в посещении web-страницы;
- очередь к web-страницам отсутствует.

При проектировании сайта возможно исследование его характеристик в широком диапазоне изменений параметров, в том числе параметра *l.* Это впоследствии поможет оценить

технические характеристики оборудования, используемого в качестве web-сервера, что, в свою очередь, влияет на стоимостные показатели эффективности.

Применение методов аналитического моделирования невозможно без использования вычислительной техники и специализированных пакетов расчетов. Одним из таких пакетов является пакет программ «Дифар» [8-9], с помощью которого были проведены все приведенные ниже расчеты.

На этапе проектирования сайта можно решить следующие задачи:

- определение максимально возможного потока посетителей сайта при заданном времени задержки на странице и максимально возможным числом одновременных посетителей сайта;
- исследование зависимости максимальной задержки пользователя на странице при заданном среднем времени задержки и интенсивности потока посетителей сайта (с учетом максимально возможного числа одновременных посетителей сайта);
- исследование зависимости максимальной задержки пользователя на странице от максимально возможного числа посетителей сайта и интенсивности входного потока (при заданном среднем времени посещения страницы).

В качестве простейшего примера рассмотрим web-сайт, состоящий из одной страницы (i=1). В случае использования системы *G/G/l/0* время $Tq_0 = Tq_{0_i}$ и $Tq_{m_0} = Tq_{m_i}$, причем эти времена не зависят от λ_{0_i}.

Пусть $Tq_1 = 3[мин]$ и максимально возможное число пользователей l=49. Исследуем поведение системы в диапазоне значений $\lambda_{0_1} = [1 \div 100][заявок/мин]$ с шагом 1. Расчеты с использованием пакета «Дифар» дают результаты, приведенные в табл. 1:

Таблица 1.

λ_{0_1}	Tq_0	Tq_{m_0}	P_l
1,000	3,000	6,9078	$0{,}98253*10^{-30}$
2,000	3,000	6,9078	$0{,}13086*10^{-22}$
3,000	3,000	6,9078	$0{,}13297*10^{-17}$
4,000	3,000	6,9078	$0{,}75851*10^{-14}$
5,000	3,000	6,9078	$0{,}61922*10^{-11}$
6,000	3,000	6,9078	$0{,}12328*10^{-8}$
7,000	3,000	6,9078	$0{,}83940*10^{-7}$
8,000	3,000	6,9078	$0{,}24604*10^{-5}$
9,000	3,000	6,9078	$0{,}36592*10^{-4}$
10,000	3,000	6,9078	$0{,}31191*10^{-3}$
11,000	3,000	6,9078	$0{,}16741*10^{-2}$
12,000	3,000	6,9078	$0{,}61112*10^{-2}$
13,000	3,000	6,9078	$0{,}16261*10^{-1}$
14,000	3,000	6,9078	$0{,}33683*10^{-1}$
15,000	3,000	6,9078	$0{,}57721*10^{-1}$
16,000	3,000	6,9078	$0{,}86152*10^{-1}$

Как видно из расчетов, при данных характеристиках максимально возможный поток посетителей страниц – 16 чел./мин.

Пусть $\lambda_{0_1} = 10[чел./мин]$, $Tq_1 = 3[мин]$. Исследуем поведение системы в диапазоне изменения значений $l = [1 \div 49]$ с шагом 1. Расчет с помощью пакета «Дифар» дает результаты, приведенные в табл. 2. Как видно из расчетов, при заданной интенсивности посещений сайта при увеличении l значение максимального времени задержки на странице падает, а вероятность потерь (отказа в доступе) растет.

Таблица 2.

Tq_0	Tq_{m_0}	P_l
3,000	6,9078	$0{,}31191*10^{-3}$
3,000	6,9400	$0{,}19126*10^{-2}$
3,000	6,4373	$0{,}42216*10^{-2}$
3,000	5,8723	$0{,}65208*10^{-2}$
3,000	5,4189	$0{,}85571*10^{-2}$
3,000	5,0844	$0{,}10273*10^{-1}$
3,000	4,8378	$0{,}11713*10^{-1}$
3,000	4,6493	$0{,}12917*10^{-1}$
3,000	4,5068	$0{,}13927*10^{-1}$
3,000	4,3936	$0{,}14779*10^{-1}$
3,000	4,3017	$0{,}15503*10^{-1}$
3,000	4,2259	$0{,}16122*10^{-1}$
3,000	4,1623	$0{,}16653*10^{-1}$
3,000	4,1083	$0{,}17113*10^{-1}$
3,000	4,0618	$0{,}17513*10^{-1}$
3,000	4,0215	$0{,}17862*10^{-1}$
3,000	3,9861	$0{,}18169*10^{-1}$
3,000	3,9549	$0{,}18439*10^{-1}$
3,000	3,9271	$0{,}18678*10^{-1}$
3,000	3,9022	$0{,}18890*10^{-1}$
3,000	3,8797	$0{,}19080*10^{-1}$
3,000	3,8594	$0{,}19249*10^{-1}$
3,000	3,8410	$0{,}19400*10^{-1}$
3,000	3,8241	$0{,}19536*10\text{-}^{1}$
3,000	3,8087	$0{,}19658*10^{-1}$
3,000	3,7945	$0{,}19768*10^{-1}$
3,000	3,7813	$0{,}19868*10^{-1}$
3,000	3,7692	$0{,}19957*10^{-1}$
3,000	3,7579	$0{,}20039*10^{-1}$
3,000	3,7474	$0{,}20114*10^{-1}$
3,000	3,7376	$0{,}20181*10^{-1}$
3,000	3,7284	$0{,}20243*10^{-1}$
3,000	3,7198	$0{,}20299*10^{-1}$
3,000	3,7117	$0{,}20350*10^{-1}$
3,000	3,7041	$0{,}20396*10^{-1}$
3,000	3,6970	$0{,}20440*10^{-1}$
3,000	3,6902	$0{,}20479*10^{-1}$
3,000	3,6838	$0{,}20514*10^{-1}$
3,000	3,6777	$0{,}20546*10^{-1}$
3,000	3,6720	$0{,}20577*10^{-1}$
3,000	3,6665	$0{,}20605*10^{-1}$
3,000	3,6613	$0{,}20630*10^{-1}$
3,000	3,6564	$0{,}20653*10^{-1}$
3,000	3,6516	$0{,}20673*10^{-1}$
3,000	3,6471	$0{,}20693*10^{-1}$
3,000	3,6428	$0{,}20711*10^{-1}$
3,000	3,6387	$0{,}20727*10^{-1}$
3,000	3,6348	$0{,}20742*10^{-1}$
3,000	3,6310	$0{,}20754*10^{-1}$

Пусть максимально возможное значение $\lambda_{0_1} = 10[чел./мин]$ и $Tq_1 = 3[мин]$. Исследуем поведение системы в диапазоне изменения значений l=[1/49][посетителей] с шагом 1,

коррелируя при этом значение λ_{0_1} . Расчет с помощью пакета «Дифар» дает результаты, приведенные в табл. 3:

Таблица 3.

l	λ_{0_1}	Tq_0	Tq_{m_0}	P_l
1	0,20408	3,000	6,9078	0,34373
2	0,40816	3,000	6,9078	0,20782
3	0,61224	3,000	6,9078	0,14717
4	0,81633	3,000	6,9078	0,11233
5	1,0204	3,000	6,9078	$0,89488*10^{-1}$
6	1,2245	3,000	6,9078	$0,73019*10^{-1}$
7	1,4286	3,000	6,9078	$0,60676*10^{-1}$
8	1,6827	3,000	6,9078	0,51936*10-1
9	1,8367	3,000	6,9078	$0,43315*10^{-1}$
10	2,0405	3,000	6,9078	$0,37018*10^{-1}$
11	2,2449	3,000	6,9078	$0,31810*10^{-1}$
12	2,4490	3,000	6,9078	$0,27457*10^{-1}$
13	2,6531	3,000	6,9078	$0,23789*10^{-1}$
14	2,8571	3,000	6,9078	$0,20676*10^{-1}$
15	3,0612	3,000	6,9078	$0,18019*10^{-1}$
16	3,2653	3,000	6,9078	$0,15471*10^{-1}$
17	3,4694	3,000	6,9078	$0,13779*10^{-1}$
18	6,6735	3,000	6,9078	$0,12084*10^{-1}$
19	3,8776	3,000	6,9078	$0,10615*10^{-1}$
20	4,0816	3,000	6,9078	$0,93381*10^{-2}$
21	4,2857	3,000	6,9078	$0,82258*10^{-2}$
22	4,4898	3,000	6,9078	$0,72547*10^{-2}$
23	4,6939	3,000	6,9078	$0,64053*10^{-2}$
24	4,8980	3,000	6,9078	$0,56610*10^{-2}$
25	5,1020	3,000	6,9078	$0,50078*10^{-2}$
26	5,3061	3,000	6,9078	$0,44337*10^{-2}$
27	5,5102	3,000	6,9078	$0,39285*10^{-2}$
28	5,7143	3,000	6,9078	$0,34833*10^{-2}$
29	5,9184	3,000	6,9078	$0,30907*10^{-2}$
30	6,1224	3,000	6,9078	$0,27440*10^{-2}$
31	6,3265	3,000	6,9078	$0,24377*10^{-2}$
32	6,5308	3,000	6,9078	$0,21667*10^{-2}$
33	6,7347	3,000	6,9078	$0,19288*10^{-2}$
34	6,9388	3,000	6,9078	$0,17143*10^{-2}$
35	7,1429	3,000	6,9078	$0,15259*10^{-2}$
36	7,3469	3,000	6,9078	$0,13588*10^{-2}$
37	7,5510	3,000	6,9078	$0,12015*10^{-2}$
38	7,7551	3,000	6,9078	$0,10788*10^{-2}$
39	7,9392	3,000	6,9078	$0,96175*10^{-3}$
40	8,1633	3,000	6,9078	$0,85769*10^{-3}$
41	8,3673	3,000	6,9078	$0,76513*10^{-3}$
42	8,5714	3,000	6,9078	$0,68277*10^{-3}$
43	8,7755	3,000	6,9078	$0,60946*10^{-3}$
44	8,9796	3,000	6,9078	$0,54416*10^{-3}$
45	9,1837	3,000	6,9078	$0,48599*10^{-3}$
46	9,3578	3,000	6,9078	$0,43415*10^{-3}$
47	9,5918	3,000	6,9078	$0,38793*10^{-3}$
48	9,7959	3,000	6,9078	$0,34671*10^{-3}$
49	10,000	3,000	6,9078	$0,31191*10^{-3}$

Как видно из расчетов, значение Tq_{m_0} не зависит от числа одновременных посетителей и входного потока. Используя полученные значения вероятности отказа в обслуживании, можно принять эффективное управленческое решение о закупке оборудования (обеспечивающего необходимое число одновременных посетителей сайта с заданным уровнем качества).

Сайты из нескольких страниц моделируются уже с помощью аппарата сетей массового обслуживания.

Таким образом, предложенные математические модели дают оценку эффективности создаваемого сайта и позволяют принимать необходимые управленческие решения. В дальнейшем возможно сравнение полученных результатов с реальными результатами измерений по метрикам. Это, в свою очередь, позволит уточнить параметры модели для оценки будущего развития сайта и улучшить адекватность модели.

Литература

1. Фонталин Е. Оценка эффективности корпоративного сайта, 2014. // http://www.cossa.ru/155/60369/ (дата обращения апрель 2016).
2. https://metrika.yandex.ru/ (дата обращения апрель 2016).
3. https://www.google.com/analytics/ (дата обращения апрель 2016).
4. Ерохин А.Г. Математические модели массового обслуживания функционирования информационных систем. – М.: Медиа Паблишер, 2008. – 92 с.
5. Воронцов Ю.А., Гинцберг Г.С. Диффузионная аппроксимация сетевых диалоговых систем. // Вопросы кибернетики: Протоколы и методы коммутации в вычислительных системах. – М.: НСК АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика», 1986. – С. 44-65.
6. Воронцов Ю.А., Гатилов Д.А., Ерохин А.Г. Математические модели и методы расчётов задержки, надежности и экономической эффективности корпоративных сетей // Наукоемкие технологии, 2003. – № 3. – С. 64-73.
7. Воронцов Ю.А., Ерохин А.Г. Аналитическое моделирование систем и сетей массового обслуживания методами диффузионной аппроксимации – DIFAR FOR WINDOWS-95 // Св. об официальной регистрации программы для ЭВМ № 990448 от 29 июня 1999 г.
8. Горбунков А.Л. Марковские модели посещаемости web-сайтов, 2007. // http://hdl.handle.net/10995/1334 (дата обращения апрель 2016).
9. Воронцов Ю.А. Диффузионная аппроксимация многолинейной СМО неограниченной емкости G/G/l. // Тез. докл. XI Всесоюзной Школы-семинара по вычислительным сетям, ч. 3. – М.: Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР, 1986. – С. 68-73.

ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

СНИЖЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАДИОКАНАЛА UMTS ПРИ УМЕНЬШЕНИИ РАЗНОСА ЧАСТОТ СОСЕДНИХ КАНАЛОВ

Р.С. Аверьянов, *директор по производственной деятельности ООО «НСТТ», roman3178823@gmail.com;*
А.О. Шорин, *технический директор ООО «НСТТ», as@nirit.org*

УДК 621.391

Аннотация. Выполнен анализ снижения производительности сети стандарта UMTS при уменьшении разноса частот соседних каналов. Установлено, что наибольшей чувствительностью к сокращению частотного разноса обладают соединения, использующие модуляцию QAM-64. Установлены конкретные показатели потерь производительности для соединений с модуляцией QPSK, QAM-16 и QAM-64. Показано, что речевые соединения (модуляция QPSK) не чувствительны к сближению соседних каналов UMTS до уровня 4,4 МГц, умеренными для них остаются потери при разносе 4,2 МГц, а для 4 МГц потери производительности могут превышать 10%.

Ключевые слова: сотовые сети UMTS; модуляция, QPSK; QAM; частотные каналы; частотный разнос каналов; производительность радиоканала.

PERFORMANCE DEGRADATION OF UMTS RADIO CHANNEL WITH DECREASING FREQUENCY SPACING OF ADJACENT CHANNELS

Roman Averyanov, *production director of LLC “NXTT”;*
Alexander Shorin, *technical director of LLC “NXTT”*

Annotation. The analysis of performance for UMTS networks while reducing the frequency spacing of adjacent channels. It was found that the greatest sensitivity to a reduction in frequency separation have connections that use QAM-64 modulation. Specific indicators of performance for connections with modulation QPSK, QAM-16 and QAM-64 were set. It is shown that a speech connection (QPSK) is not sensitive to the convergence of the adjacent channels UMTS to the level of 4,4 MHz, reasonable for them to remain the loss in spacing of 4,2 MHz, and 4 MHz, performance loss can exceed 10%.

Keywords: UMTS cellular networks; modulation; QPSK; QAM; frequency channels; frequency channel spacing; radio channel performance.

Введение

Производительность сотовой сети связи является ключевым показателем эффективности ее работы и предопределяется непосредственно шириной полосы используемого радиоканала. Поэтому с повсеместным и массовым развитием сотовых сетей возникла острая конкуренция за спектральные ресурсы [1]. Все активнее прикладываются усилия по изысканию способов сокращения защитных спектральных полос, используемых для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) как внутри систем [2-7], так и между различными системами [8-12]. Одновременно с этим, конечно, происходит поиск и разработка усовершенствованных методов использования ресурса и самого рабочего канала [5-7, 13-16].

В связи с этим, на современном этапе оформились два подхода к организации радиосвязи в сотовых сетях. Первый из них ориентируется на множественный доступ, построенный на базе сигналов с кодовым разделением, а второй – на множественный доступ, построенный на базе

сигналов, состоящих из множества поднесущих. Первый подход послужил основой для стандарта UMTS, а второй – для серии стандартов LTE. У каждого из указанных подходов есть свои преимущества и свои недостатки.

Сети LTE более чувствительны к ошибкам синхронизации по частоте, требуют более значительных защитных интервалов по частоте [8-12], но зато более устойчивы к ошибкам синхронизации по задержке и к условиям многолучевого распространения.

Сети UMTS более устойчивы к ошибкам синхронизации по частоте и требуют меньших защитных полос между соседними частотными каналами. Поэтому вопрос о возможном сокращении защитных полос между соседними каналами UMTS важен еще и потому, что он, в определенном смысле, устанавливает потенциальные границы для современных технологий спектрального уплотнения при спектральном планировании.

В материале статьи «Особенности организации цифровой обработки сигналов в сети UMTS, препятствующие уменьшению разноса рабочих частот» авторами уже была подробно рассмотрена технология цифрового формирования сигналов сети UMTS и обозначены общие проблемы ЭМС на соседних каналах UMTS. Здесь более подробно будут рассмотрены вопросы цифровой обработки на приеме, конкретные аспекты, связанные с нагрузкой в каналах и то, как характеристики защитных полос в условиях одного и двух соседних каналов могут сказываться на предельной пропускной способности выделенного канала UMTS.

Обработка в цифровом приемнике

На рис. 1 показана блок-схема организации работы приемного тракта с цифровой обработкой сигнала для абонентской станции сети UMTS (линия Down). В линиях Up организация отличается лишь тем, что сигналы абонентов складываются в эфире, а прием на базовой станции может происходить в разнесенном по поляризации и пространству режиме. Но эти обстоятельства не изменяют частотно-селективные свойства каналов и, следовательно, не могут существенно изменить результаты оценки ЭМС для соседних частот.

На рис. 1 представлена организация приемного тракта на абонентской станции UMTS. Светло-голубым цветом на рис. 1 показаны те фрагменты обработки, которых мы будем касаться в изложении. Основное внимание при этом будет уделяться блоку согласованной фильтрации формирующих импульсов и схеме синхронизации по такту. Они помечены красным цветом шрифта и голубым фоном.

На рис. 2 представлено: а) спектры групповых сигналов соседних частот UMTS на передаче; б) спектр после фильтрации частотного канала на приеме.

В передающем тракте базовой станции после прохождения через сглаживающий аналоговый фильтр групповой сигнал переносится на поднесущую и складывается с групповыми сигналами других частотных каналов, поддерживаемых сотой UMTS. В результате общий спектр сигнала, поступающего на передачу, оказывается таким, как показано на рис. 2а. Здесь ΔF обозначает разнос соседних частот в сети UMTS.

На приеме совокупный сигнал нескольких частот переносится на промежуточную частоту, после чего, с помощью полосовых фильтров, с характеристиками подобными сглаживающему фильтру передатчика, выделяется та часть спектра, которая соответствует одному из частотных каналов. На рис. 2б показан результат такой обработки для «центрального» частотного канала. Для односторонней полосы пропускания полосовых фильтров будем использовать обозначение F_F. Следует заметить, что, так как частота дискретизации, а следовательно, и полоса аналогового фильтра, в несколько раз превышают ширину спектра отдельного частотного канала, то области взаимных перекрытий сохраняются практически без изменения. Борьба с помехами от соседних частот полностью возлагается на модуль цифровой согласованной фильтрации.

Прием

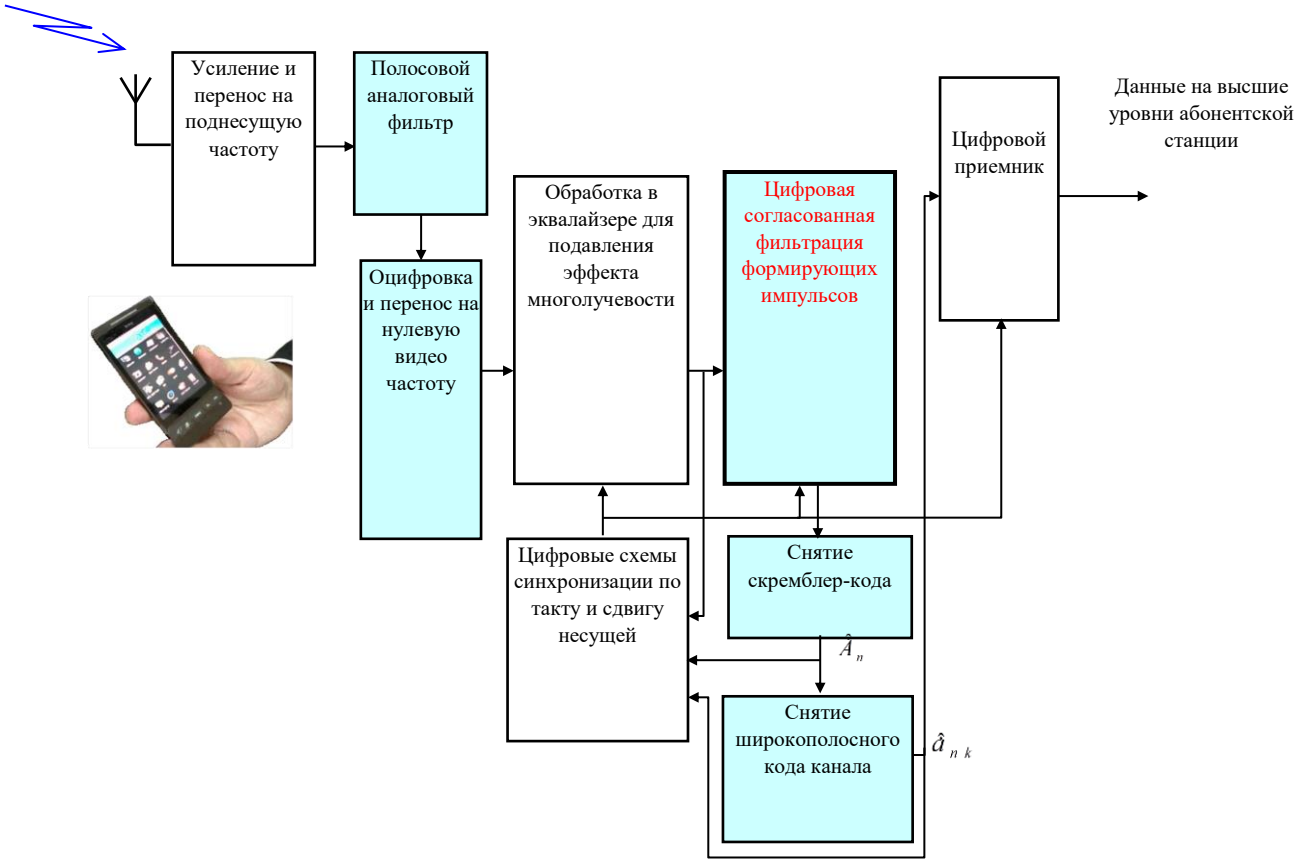


Рисунок 1.

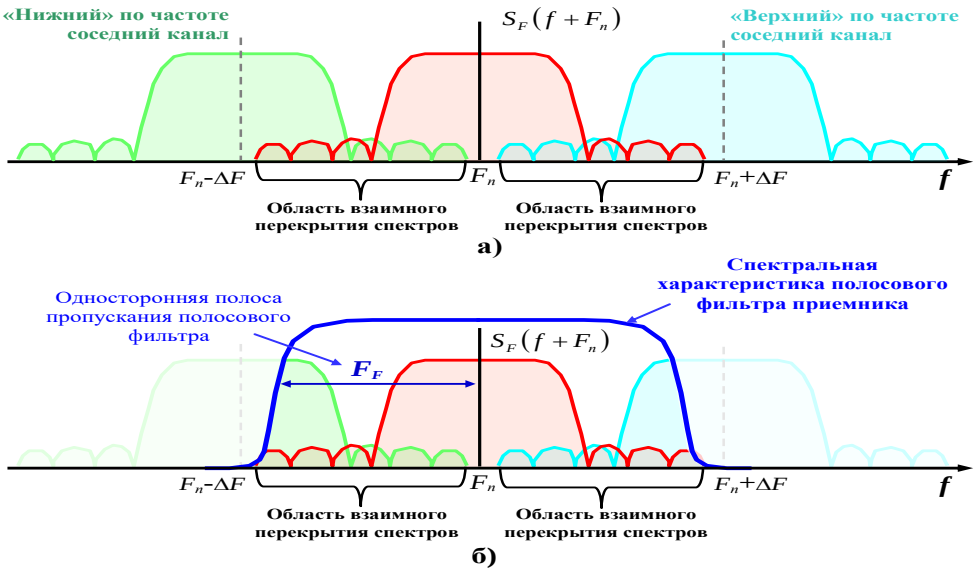


Рисунок 2.

После фильтрации принятый сигнал переносят на нулевую видеочастоту и оцифровывают. В результате спектр сигнала, представленный на рис. 2б, трансформируется в периодический с повторением формы в позициях со сдвигами кратными частоте стробирования

приемника F_{dR}.

На рис. 3 представлено: а) спектр группового сигнала UMTS после стробирования в цифровом приемнике; б) спектр цифрового согласованного фильтра.

Далее сигнал поступает на вход цифрового согласованного фильтра, спектральная характеристика которого показана на рис. 3б. Как можно видеть, периоды повторения спектра и характеристики цифрового фильтра совпадают. Объясняется это тем, что в приемнике используется одна и та же частота F_{dR} для оцифровки и в блоке согласованной фильтрации. Поэтому согласованный прием можно исследовать, выбрав только фрагмент, выделенный рамкой на рис. 3.

Полезная и мешающая компоненты на выходе блока цифровой согласованной фильтрации возникают при обработке сигналов основного (рис. 4а) и соседних (рис. 4б) частотных каналов.

Используя то, что при согласованной обработке спектры перемножаются, а также равенство Парсеваля, запишем соотношения для мощности полезного сигнала и уровней мешающих компонент, возникающих из-за проникновения соседних частотных каналов.

На рис 4. показано возникновение полезной и мешающих компонент после цифровой согласованной фильтрации в приемнике.

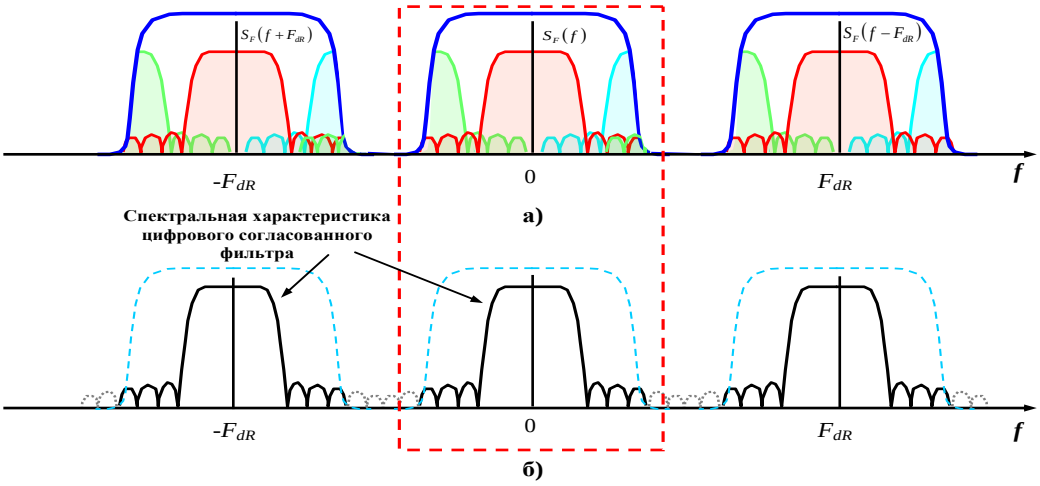


Рисунок 3.

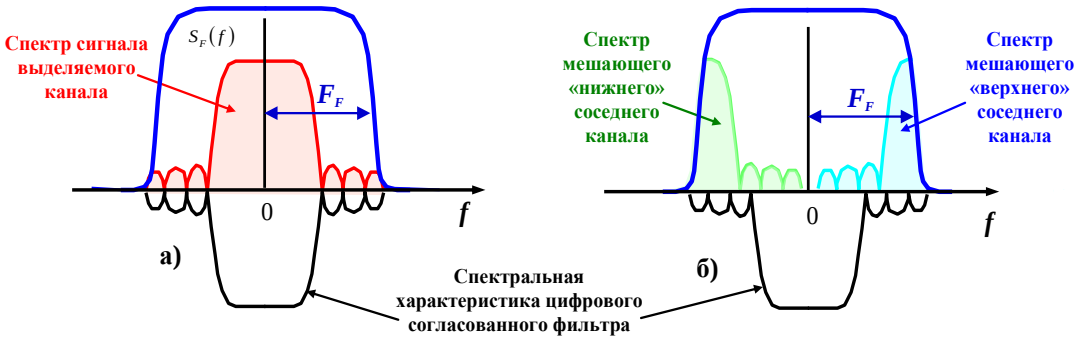


Рисунок 4.

В результате, с точностью до отбрасываемых компонент МСИ, для среднего уровня полезной составляющей, наблюдаемой на выходе схемы согласованной фильтрации, получим:

$$P_s = \left\langle \left| a_{nk}^2 \right| \right\rangle \left(\int_{-F_F}^{F_F} \left| S_{pR}(f) \right|^2 df \right)^2 = P_{0k} \left(\int_{-F_F}^{F_F} \left| S_{pR}(f) \right|^2 df \right)^2, \quad (1)$$

где: F_F – односторонняя полоса пропускания аналогового полосового фильтра приемника, $\dot{a}_{nk}$ ($n = 0, \pm 1, \pm 2, ...$) – комплексные символы квадратурной информационной последовательности k-го абонентского канала, рассматриваемого в качестве полезного, $S_{pR}(f)$ – спектр ограниченного по длительности формирующего импульса, $P_{0k} = \left\langle \left| a_{nk}^2 \right| \right\rangle$ – средний уровень сигнальных отсчетов, $\langle \cdot \rangle$ – обозначает операцию усреднения.

Соответственно, уровень помех, формируемых соседним «верхним» частотным каналом в тактовых отсчетах, будет:

$$P_J^U = \left\langle \left| \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \dot{A}_n^U \int_{-F_F}^{F_F} S_{pR}(f) \cdot S_{pR}(f - \Delta F) e^{-j2\pi f nT} df \right|^2 \right\rangle = P_G^U \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \left| \int_{-F_F}^{F_F} S_{pR}(f) \cdot S_{pR}(f - \Delta F) e^{-j2\pi f nT} df \right|^2 =$$

$$= P_G^U \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_{pR}^2(nT) \approx P_G^U \cdot \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{+\infty} J_{pR}^2(t) dt = P_G^U \cdot \frac{1}{T} \int_{-F_F}^{F_F} \left| S_{pR}(f) \cdot S_{pR}(f - \Delta F) \right|^2 df, \quad (2)$$

где: $\dot{A}_n^U$ ($n = 0, \pm 1, \pm 2, ...$) – последовательность комплексных отсчетов группового сигнала в «верхнем» соседнем частотном канале, $P_G^U = \left\langle \left| \dot{A}_n^U \right|^2 \right\rangle$ – средний уровень группового сигнала в «верхнем» канале, $J_{pR}(t)$ – помеховая компонента со спектром $S_{pR}(f) \cdot S_{pR}(f - \Delta F)$, ΔF – отстройка соседних частотных каналов. Приближенное равенство, использованное на предпоследнем шаге в (2), записано на основании того, что помеха $J_{pR}(t)$, в общем случае, не обладает свойством структурной привязки к тактовым отсчетам последовательности широкополосной модуляции. Поэтому ее уровень в тактовых отсчетах можно рассчитать по значению средней мощности. Исключение возникает только в тех случаях, когда отстройка ΔF становится близкой к тактовой частоте F=3,84 МГц. Например, ΔF=3,8 МГц (дополнительный анализ показал, что эффективный уровень помехи при этом возрастает на 2,3 дБ, при $T_W = 7T$) или ΔF=4 МГц (дополнительный анализ показал, что при этом уровень возрастает на 1,1 дБ, при $T_W = 7T$). Для таких случаев в (2) следует ввести корректирующие множители α_{cr}.

Аналогичный расчет для «нижней» частоты, выполненный с учетом симметричности спектра $S_{pR}(f)$, показывает, что она формирует помеху уровня $P_J^D \approx P_G^D \cdot \frac{1}{T} \int_{-F_F}^{F_F} \left| S_{pR}(f) \cdot S_{pR}(f + \Delta F) \right|^2 df = P_G^D \cdot \frac{1}{T} \int_{-F_F}^{F_F} \left| S_{pR}(f) \cdot S_{pR}(f - \Delta F) \right|^2 df$, где P_G^D – уровень группового сигнала на этой частоте. Поэтому для случая двух соседних частотных каналов, с отстройками $\pm\Delta F$, общий уровень помехи будет:

$$P_J \approx \left(P_G^U + P_G^D \right) \cdot \frac{1}{T} \int_{-F_F}^{F_F} \left| S_{pR}(f) \cdot S_{pR}(f - \Delta F) \right|^2 df. \quad (3)$$

Наконец переходим к блокам «снятия скремблер кода» и «снятия широкополосного кода канала», показанным на рис. 1. Обработка в них приводит к тому, что уровень помехи (2) или (3) уменьшается в Sf_k раз. В результате, при предельных нагрузках, как уже отмечалось, достигаемый положительный эффект сводится к тому, что в (2-3) мощность группового сигнала P_G^U и/или P_G^D заменяется на P_{0k}. Поэтому относительный уровень помех, формируемых при предельных нагрузках, в конечном представлении следует рассчитывать так:

$$IS_R(\Delta F)=\frac{\alpha_{cr}}{T}\int_{-F_F}^{F_F}\left|S_{pR}(f)\cdot S_{pR}(f-\Delta F)\right|^2 df \Bigg/ \left(\int_{-F_F}^{F_F}\left|S_{pR}(f)\right|^2 df\right)^2, \qquad (4)$$

для одной соседней частоты, и

$$IS_R(\Delta F_U,\Delta F_D)=\frac{1}{T}\left(\alpha_{cr}^U\int_{-F_F}^{F_F}\left|S_{pR}(f)\cdot S_{pR}(f-\Delta F_U)\right|^2 df+\alpha_{cr}^D\int_{-F_F}^{F_F}\left|S_{pR}(f)\cdot S_{pR}(f-\Delta F_D)\right|^2 df\right)\Bigg/\left(\int_{-F_F}^{F_F}\left|S_{pR}(f)\right|^2 df\right)^2=$$

$$=\frac{2\alpha_{cr}}{T}\int_{-F_F}^{F_F}\left|S_{pR}(f)\cdot S_{pR}(f-\Delta F)\right|^2 df \Bigg/ \left(\int_{-F_F}^{F_F}\left|S_{pR}(f)\right|^2 df\right)^2, \text{ при } \Delta F_U=\Delta F_D=\Delta F, \qquad (5)$$

для двух соседних частот. В (4-5) введены корректирующие множители $\alpha_{cr}, \alpha_{cr}^U$ и α_{cr}^D, которые равны 1 кроме случаев, когда частотная отстройка равна 3,8МГц ($\alpha_{cr}^*=1{,}698$) или 4 МГц ($\alpha_{cr}^*=1{,}288$).

Программа расчета взаимного влияния частот и оценка снижения емкости

Так как спектр $S_{pR}(f)$ имеет достаточно сложное аналитическое представление, анализ по (4-5) гораздо удобнее производить численно. Для этого была написана программа, которая при заданных: разносе частот (ΔF), длительности окна ограничения ($T_W/2T$) и полосе фильтра F_F, рассчитывает уровень помех, возникающих от соседних каналов UMTS. Ее рабочая форма показана на рис. 5.

На рис. 5 показана рабочая панель программы расчета взаимного влияния частотных каналов UMTS.

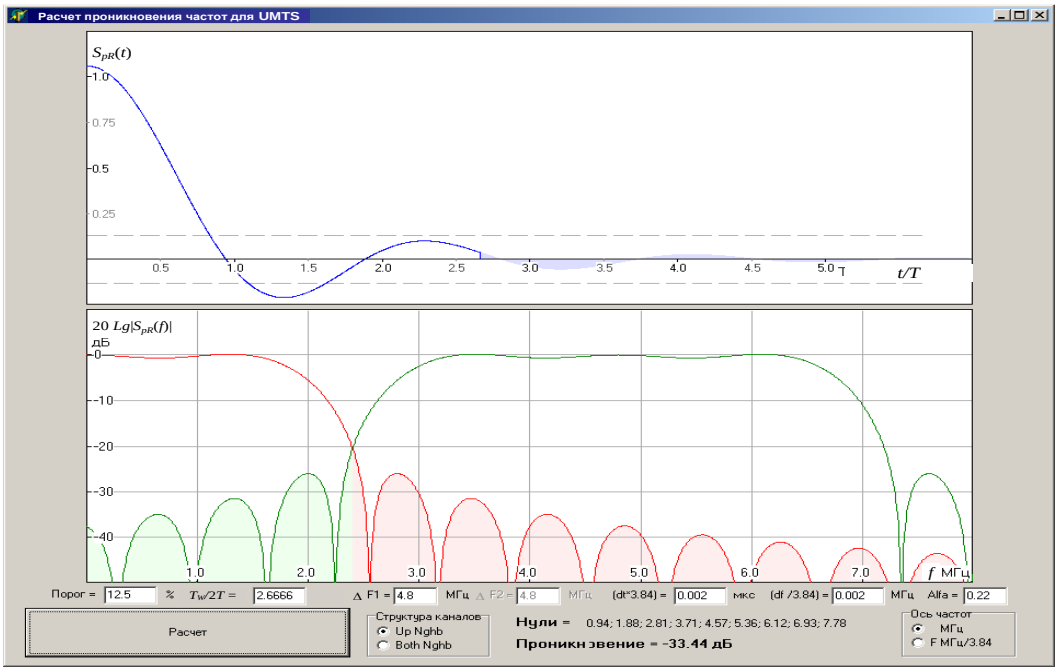


Рисунок 5.

Получаемых с помощью программы данных достаточно, чтобы определить относительную потерю емкости сети UMTS при сближении соседних частотных каналов. Для этого нужно только составить систему уравнений баланса мощностей и разрешить ее относительно неизвестных коэффициентов. Продемонстрируем методику на примере двух частотных каналов. Прежде всего, выбираем в каждом из них линию, поддерживающую сервис с самой сложной модуляцией. Пусть на первой частоте это канал k_1, а на второй – k_2.

Тогда в условиях $\Delta F \to \infty$, при предельных нагрузках, уровень помех в канале k_1 должен

достигать верхней допустимой границы $P_{I_1} = P_{s\ k1}/z_{k1}$, а в канале k_2 – границы $P_{I_2} = P_{s\ k2}/z_{k2}$. Здесь z_{k1}, z_{k2} – предельно допустимые уровни сигнал/шум для сервисов, поддерживаемых в каналах k_1, k_2. При сближении частот возникнут взаимные помехи, что потребует снижения уровня групповых сигналов в β_1 и β_2 раз, соответственно. Уровень помех должен остаться прежним, только теперь с учетом взаимного влияния. Запишем уравнения баланса:

$$\begin{cases} P_{s\ k1}/z_{k1} = \beta_1 P_{s\ k1}/z_{k1} + P_{N_{k1}}(1-\beta_1) + \beta_2 \dfrac{P_{G1}}{Sf_{k1}} \psi_{21} \cdot IS_R(\Delta F)_{21}, \\ P_{s\ k2}/z_{k2} = \beta_1 \dfrac{P_{G2}}{Sf_{k2}} \psi_{12} \cdot IS_R(\Delta F)_{12} + \beta_2 P_{s\ k2}/z_{k2} + P_{N_{k2}}(1-\beta_2), \end{cases} \quad (6)$$

где: $IS_R(\Delta F)_{21}$ – уровень помехи, наводимой 2-й частотой в каналы 1-й, задаваемый г(5); аналогично, $IS_R(\Delta F)_{12}$ – наводимой 1-й частотой в каналы 2-й; $P_{G1,G2}$ – предельные мощности групповых сигналов на частоте 1, 2 при $\Delta F \to \infty$; $Sf_{k1,k2}$ – показатели расширения спектра в каналах k_1, k_2; $P_{N_{k1},N_{k2}}$ – уровень собственных шумов в каналах k_1, k_2; $\psi_{21} = 1/\psi_{12} = P_{G2}/P_{G1}$ – отношение предельных мощностей трансляции, установленных для 2-й и 1-й частот. Учитывая, что при предельных нагрузках $\dfrac{P_{G1}}{Sf_{k1}} = P_{k1}$, $\dfrac{P_{G2}}{Sf_{k2}} = P_{k2}$, упрощаем (6):

$$\begin{cases} \beta_1 + \beta_2 \dfrac{z_{k1}\psi_{21}}{1-\gamma_1} \cdot IS_R(\Delta F)_{21} = 1, \\ \beta_1 \dfrac{z_{k2}\psi_{12}}{1-\gamma_2} \cdot IS_R(\Delta F)_{12} + \beta_2 = 1, \end{cases} \quad (7)$$

где: $\gamma_1 = P_{N_{k1}} z_{k1}/P_{s\ k1}$, $\gamma_2 = P_{N_{k2}} z_{k2}/P_{s\ k2}$ – отношение уровня собственных шумов к уровню внутриканальных помех на частоте 1 и 2. Параметры $\gamma_{1,2}$ фактически определяют уровень заданной недозагрузки емкости каналов. Поэтому, при правильном построении сети, они имеют малые (~ 0,05÷0,10) значения. В нашем случае можно принять их равными 0. Решая систему (7), находим потери емкости на частотах 1 и 2:

$$\begin{cases} \Delta C_1 \equiv 1-\beta_1 = z_{k1}\psi_{21} IS_R(\Delta F)(1 - z_{k2}\psi_{12} IS_R(\Delta F))/D_2, \\ \Delta C_2 \equiv 1-\beta_2 = z_{k2}\psi_{12} IS_R(\Delta F)(1 - z_{k1}\psi_{21} IS_R(\Delta F))/D_2, \end{cases} \quad (8)$$

где: $D_2 = 1 - IS_R^2(\Delta F) \cdot z_{k1} z_{k2}$, а также использовано, что из-за идентичности формирующих импульсов $IS_R(\Delta F)_{12} = IS_R(\Delta F)_{21} = IS_R(\Delta F)$.

В случае одинаковых профилей сервисов в каналах и допустимых уровней трансляции получаем:

$$\Delta C_1 = \Delta C_2 = IS_R(\Delta F) \cdot z_k / (1 + IS_R(\Delta F) \cdot z_k). \quad (9)$$

Следуя изложенной методике, без труда можно составить систему баланса мощностей для случаев трех соседних частот и найти аналитические соотношения для расчета потерь емкости. Например, для трех соседних частот с отстройками ΔF_{12}, ΔF_{23} и граничными уровнями сигнал/шум z_{k1}, z_{k2}, z_{k3} потери емкости составят:

$$\begin{cases} \Delta C_1 = z_{k1}\psi_{21} IS_R(\Delta F_{12})(1 - z_{k2} \cdot (\psi_{32} IS_R(\Delta F_{23}) + \psi_{12} IS_R(\Delta F_{12})))/D_3, \\ \Delta C_2 = (z_{k2}\psi_{12} IS_R(\Delta F_{12}) \cdot (1 - z_{k1}\psi_{21} IS_R(\Delta F_{12})) + z_{k2}\psi_{32} IS_R(\Delta F_{23}) \cdot (1 - z_{k3}\psi_{23} IS_R(\Delta F_{23})))/D_3, \\ \Delta C_3 = z_{k3}\psi_{23} IS_R(\Delta F_{23})(1 - z_{k2} \cdot (\psi_{32} IS_R(\Delta F_{23}) + \psi_{12} IS_R(\Delta F_{12})))/D_3, \end{cases} \quad (10)$$

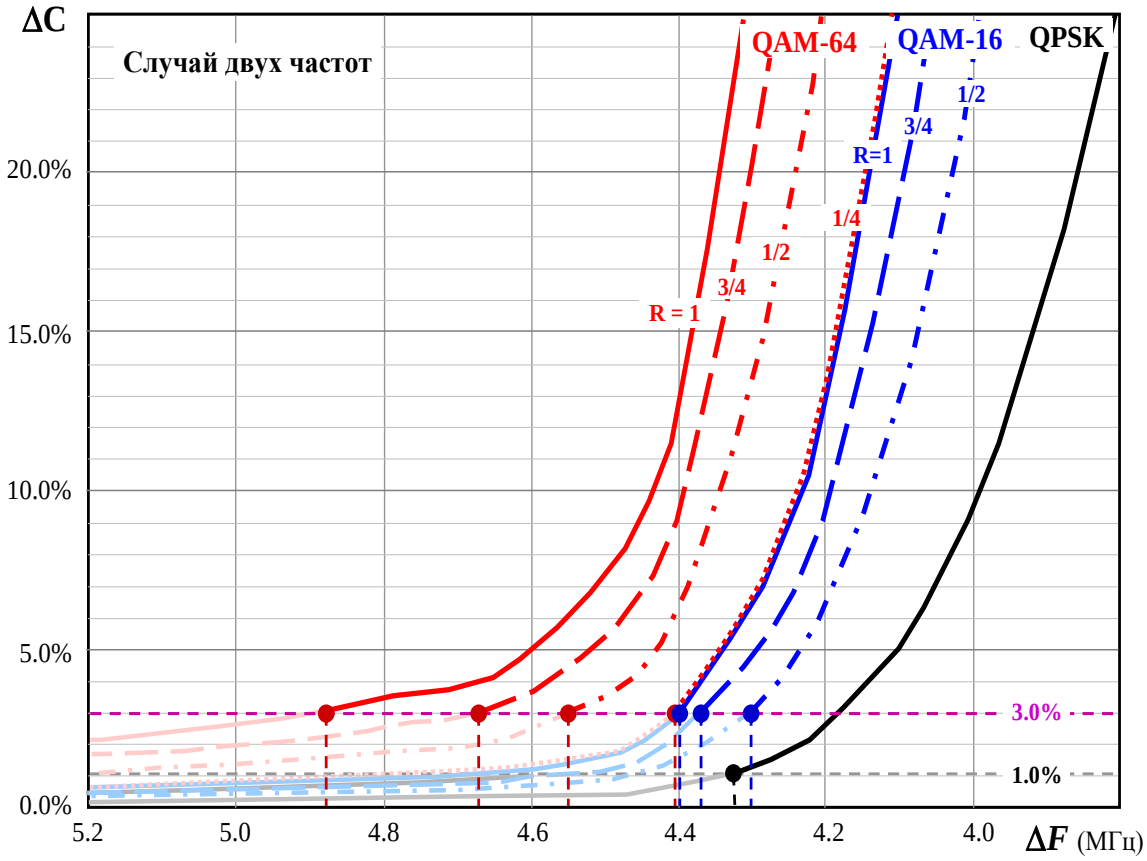
где: $D_3 = 1 - IS_R^2(\Delta F_{12}) \cdot z_{k1} z_{k2} - IS_R^2(\Delta F_{23}) \cdot z_{k2} z_{k3}$.

Когда отстройки и уровни трансляции на частотах одинаковы (10) упрощается:

$$\begin{cases} \Delta C_1 = z_{k1} \cdot IS_R(\Delta F)(1 - 2z_{k2} \cdot IS_R(\Delta F))/D_3', \\ \Delta C_2 = z_{k2} \cdot IS_R(\Delta F)(2 - IS_R(\Delta F)(z_{k1} + z_{k3}))/D_3', \\ \Delta C_3 = z_{k3} \cdot IS_R(\Delta F)(1 - 2z_{k2} \cdot IS_R(\Delta F))/(2 - IS_R(\Delta F)(z_{k1} + z_{k3}))/D_3', \end{cases} \quad (11)$$

где: $\Delta F = \Delta F_{12} = \Delta F_{23}$, $D_3' = 1 - IS_R^2(\Delta F) \cdot z_{k2}(z_{k1} + z_{k3})$.

Проведенный анализ показывает, что результат будет зависеть не только от разнесения соседних частотных каналов, но и от того, какого вида модуляция используется в каналах. Так, если во всех абонентских соединениях применяется модуляция QPSK (речь, видео-звонки, цифровой обмен по выделенным каналам, сервисы HSDPA с относительно небольшими скоростями) сеть UMTS будет обладать повышенной устойчивостью к сближению соседних частотных каналов. А в условиях, когда ряд пользователей будет задействовать высокоскоростные сервисы HSDPA с QAM-16 и QAM-64 (Rel'7), устойчивость к сближению частот будет ниже.

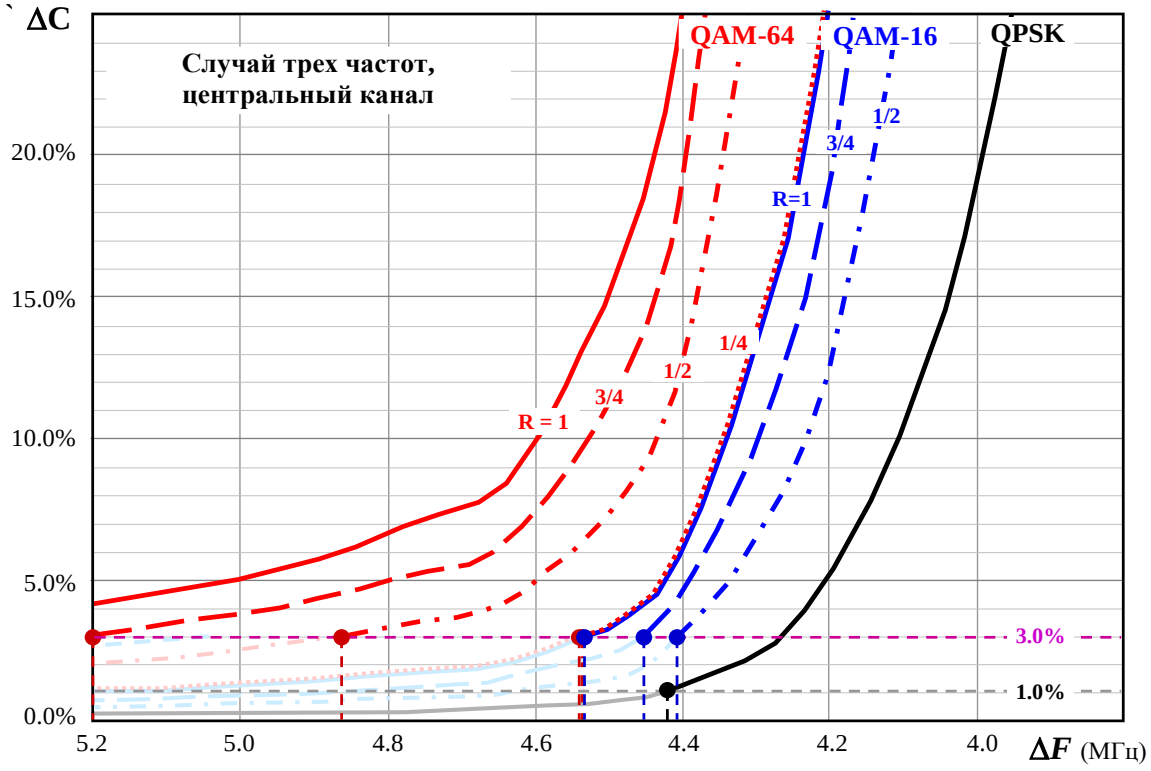


а)

На рис. 6 показаны потери емкости каналов, рассчитанные по (9-10), в зависимости от разнесения. Рис. 6.а) соответствует случаю двух частот, рис. 6.б) – центральному каналу в группе из трех. Предполагалось, что на мешающих каналах поддерживаются только сервисы с QPSK. Потери представлены в процентах.

Кривые для сервисов HSDPA с модуляцией QAM-16 и QAM-64 показаны для различной информационной скорости (R=¼,½,¾,1) сверточного кода. Сверточное кодирование снижает границу допустимого уровня сигнал/шум в канале, что приводит к смягчению требований на развязку частот.

На рис. 6 также показаны уровни 1% и 3%. Потери емкости ниже этих значений не обнаруживаются в соте непосредственно в силу того, что число активных абонентов является целым. Для речевой связи со скоростью 12,2 кбит/с (модуляция QPSK), как показал опыт эксплуатации, на одной частоте в соте может реально обслуживаться до 30-40 абонентов.



б)

Рисунок 6.

Поэтому снижение емкости в пределах до 1% не может привести к потере более чем одного абонента, что на практике неощутимо. Такие потери могут сказываться только косвенно, через некоторое ухудшение качества, повышенное расходование энергии аккумуляторов и т.п. Для сервисов HSDPA кодовое канальное пространство ограничено значением 16 (15 полезных каналов +1 канал на служебные нужды). В результате, потеря одного канала соответствует снижению емкости на 1/16*100% = 6,25%. Поэтому для таких сервисов потерю емкости до 3% явным образом обнаружить сложно. Кривые рассчитаны для равно разнесенных каналов с одинаковыми уровнями мощности трансляции.

Также следует отметить, что характер поведения зависимостей на рис. 6 показывает, что изменения защитного интервала Δ*F* в пределах ±25 кГц незначительно сказываются на потерях емкости сети UMTS. Для сетей LTE подобные ошибки по частоте катастрофичны.

Выводы

Сервисы HSDPA, предполагающие использование модуляции QAM-16 и/или QAM-64, проявляют наибольшую чувствительность к помехам, наводимым соседними частотными каналами. Поэтому при сближении частот такие сервисы предпочтительнее организовывать на «крайних» каналах.

Речевой обмен и сервисы HSDPA, работающие в режиме с модуляцией QPSK, практически не чувствительны к сближению частот вплоть до 4,4 МГц. Умеренными для тех же сервисов можно считать потери, возникающие при отстройке 4,2 МГц. При Δ*F*=4 МГц потери становятся заметными (более 10%), хотя еще не превышают суммарный эффект от работы каналов, поэтому, в определенных ситуациях, такие частотные разносы могут применяться. При Δ=3,8 МГц потери становятся катастрофическими.

Для сервисов HSDPA с модуляцией QAM-64 мало заметными потери остаются до Δ*F* = 4,6 МГц, умеренными их можно считать при Δ*F*=4,4 МГц, если только информационная скорость сверточного кода не выше ½, а при Δ*F*=4,2 МГц они всегда катастрофические. То есть,

разнос частот на 4,4 МГц всегда будет ощутимо сказываться на предельно достижимых скоростях и/или на площадях покрытия сервисов HSDPA, относящихся к модификациям Rel'7 и выше.

Операторы сотовой связи на территории Москвы могут без потерь применять в частотных полосах, выделенных для сетей 3G, разнос каналов на 4,6 МГц, что с запасом обеспечит требования на увеличенные защитные интервалы на краях.

В представлении защитных полос полученные результаты показали, что в UMTS они могут составлять (4,6-3,84) МГц =0,76 МГц. Это заметно ниже, чем в сетях 4G LTE и McWILL [7-11].

Литература

1. Володина Е.Е., Веерпалу В.Э., Девяткин Е.Е. Управление использованием радиочастотного спектра. Конверсия. Монография. – М.: 2011.
2. Шорин О.А., Бокк Г.О. Эквалайзер для коррекции муль-тидоплеровских искажений OFDM-сигналов в сетях LTE и McWILL // Электросвязь, – 2017. – № 1. – С. 28-34.
3. Шорин О.А., Бокк Г.О. Эквалайзер для коррекции мультидоплеровских искажений OFDM сигналов в сетях LTE и McWILL // Сборник материалов (тезисов) 38-й международной конференции РАЕН «Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». – Шри-Ланка, 2016. – С. 4.
4. Шорин О.А., Бокк Г.О. Влияние размера ресурсного блока сигнала OFDM на показатели качества работы сетей стандартов LTE и McWILL // Электросвязь, – 2017. – № 2. – С. 67-71.
5. Бокк Г.О. MIMO: Оптимизация управления числом логических каналов // Электросвязь, – 2017. – № 1. – С. 40-44.
6. Бокк Г.О. MIMO: Оптимизация управления числом логических каналов // Сборник материалов (тезисов) 38-й международной конференции РАЕН «Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». – Шри-Ланка, 2016. – С. 6.
7. Бокк Г.О. Оптимизация MIMO с введением управления числом логических каналов // Сборник трудов 30-й международной конференции РАЕН. Региональное отделение Российской Академии Естественных Наук «Экономика и качество систем связи» и ЗАО «НИРИТ». – Малайзия, 2011. – С. 97-109.
8. Шорин О.А., Бокк Г.О. Особенности планирования сети McWILL с учетом электромагнитной совместимости с сетями LTE в смежных диапазонах частот // Электросвязь, – 2017. – № 2. – С. 46-51.
9. Шорин О.А., Бокк Г.О., Сухацкий С.В. Методы улучшения межсистемной ЭМС для систем мобильной связи четвертого поколения // Электросвязь, – 2016. – № 2. – С. 35-41.
10. Шорин О., Бокк Г. Анализ электромагнитной совместимости стандартов четвертого поколения // Первая миля. – 2016. – № 1(54). – С. 44-53.
11. Шорин О.А., Бокк Г.О. К вопросу об электромагнитной совместимости стандартов четвёртого поколения // Экономика и качество систем связи, – 2016. – № 2. – С. 51-59.
12. Шорин О.А., Бокк Г.О. К вопросу об электромагнитной совместимости стандартов четвёртого поколения // Сборник материалов (тезисов) 37-й международной конференции РАЕН «Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». – Италия, 2016. – С. 4-6.
13. Бокк Г.О. Повышение эффективности работы систем связи на основе пространственно-временной обработки и спектрального анализа сигналов: Диссертация на соискание ученой степени д.т.н.: 05.12.17. – Москва, 2000. – 396 с.
14. Аверьянов Р.С., Бокк Г.О., Шорин А.О. Оптимизация размера кольцевой антенны и правила формирования территориальных кластеров для сотовой сети McWILL // Электросвязь, – 2017. – № 1. – С. 22-27.
15. Шорин О.А., Бокк Г.О., Аверьянов Р.С., Шорин А.О. Оптимизация геометрии адаптивной

антенны для сотовой сети с OFDM сигналами // Экономика и качество систем связи. – 2016. – № 2. – С. 60-67.
16. Шорин О.А., Бокк Г.О., Аверьянов Р.С., Шорин А.О. Оптимизация геометрии адаптивной антенны для сотовой сети с OFDM сигналами // Сборник материалов (тезисов) 37-й международной конференции РАЕН «Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». – Италия, 2016. – С. 7-8.

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В СЕТИ UMTS, ПРЕПЯТСТВУЮЩИЕ УМЕНЬШЕНИЮ РАЗНОСА РАБОЧИХ ЧАСТОТ

Р.С. Аверьянов, *директор по производственной деятельности ООО «НСТТ»;*
А.О. Шорин, *технический директор ООО «НСТТ», as@nirit.org*

УДК 621.396

Аннотация. Выполнена оценка уровня интерференции между частотными каналами сотовой сети стандарта UMTS, возникающей из-за ограничений, накладываемых на длительность формирующего импульса. Установлено, что границу ограничения длительности лучше всего устанавливать по точкам нулевых значений исходного формирующего импульса. Приведены расчетные значения межканальной интерференции в UMTS, возникающей при различных значениях частотного разноса соседних каналов.

Ключевые слова: сотовые сети UMTS; частотный разнос каналов; формирующий импульс передачи; импульс вида «root raised cos»; уровень межканальных помех; спектр импульса.

PECULIARITIES OF ORGANIZATION OF DIGITAL SIGNAL PROCESSING IN A UMTS NETWORK PREVENTING THE DECREASE OF SPACING OF THE OPERATING FREQUENCIES

Roman Averyanov, *production director of LLC “NXTT”;*
Alexander Shorin, *technical director of LLC “NXTT”*

Annotation. The level of interference between the frequency channels of the UMTS standard cellular network resulting from the limitations imposed on the duration of the shaping pulse has been estimated. It is established that the limit of the duration limit is best determined from the points of zero values of the initial shaping pulse. Calculated values of inter-channel interference in UMTS, which occurs at different values of the frequency separation of neighboring channels, are given.

Keywords: UMTS cellular networks; frequency channel spacing; forming the impulse of transmission; impulse of the form "root raised cos"; level of inter-channel interference; pulse spectrum.

Введение

Вопрос эффективного использования ресурса радиоканала является ключевым на современном этапе развития систем связи. Острый дефицит заставляет предпринимать активные усилия по изысканию вариантов решения указанной проблемы как на уровне межсистемного [1-5], так и на уровне внутрисистемного [6-11] воздействий. Также для этого все шире пытаются использовать методы пространственной обработки в адаптивных антенных системах [12-15]. Однако зачастую оказывается, что определенный ресурс радиоканала остается неиспользованным из-за простой причины, состоящей в неэффективной организации обработки [16]. Указанная ситуация, обычно, возникает из-за того, что решения аналоговых технологий воспроизводятся без должного усовершенствования в системах с цифровой обработкой сигналов. Учет же специфических возможностей, связанных с цифровой обработкой в

конкретных условиях, позволяет путем чисто алгоритмических преобразований, добиться возвращения потерянной части ресурса в активное состояние.

Именно такая ситуация сложилась в настоящее время в сотовых сетях связи стандарта UMTS. При их развертывании у операторов часто возникает потребность уплотнить частотные каналы, но стандартный разнос, согласно рекомендациям 3GPP [17], составляет 5 МГц. Этим гарантируются условия, при которых взаимным влиянием соседних частот можно пренебрегать. Однако, при уменьшении разноса указанное свойство деградирует и в определенный момент полностью теряет силу. В рекомендациях по этому поводу никаких данных не приводится. Одновременно в них отмечено, что технологически применимы любые отстройки кратные 0,2 МГц, но вопрос эффективности при выборе разноса полностью возлагается на оператора.

Задача уплотнения также появляется при развертывании сетей UMTS, поддерживающей несколько частот, в диапазонах, совмещенных с сетями других стандартов. Возникает естественное желание занять под UMTS минимально необходимую полосу, чтобы больше ресурсов сохранить за другими сетями. Для этого требуется уметь точно определять, какие потери могут возникнуть в сети UMTS при сближении частот.

Цифровая обработка сигналов в сети UMTS

На рис. 1 показана организация цифровой связи в сетях UMTS (линии Down). В линиях Up организация отличается лишь тем, что сигналы абонентов складываются в эфире, а прием может происходить в разнесенном по поляризации и пространству режиме. Но эти обстоятельства не изменяют частотно-селективные свойства каналов и, следовательно, не могут существенно изменить результаты оценки взаимного влияния соседних частот.

Светло-голубым цветом на рис. 1 показаны те фрагменты обработки, которых мы будем касаться в изложении. Основное внимание при этом будем уделять цифровому фильтру формирующего импульса и блоку согласованной фильтрации формирующих импульсов, выступающими главными средствами частотной селекции. Они дополнительно отмечены красным цветом шрифта.

Элементы без подкраски в данной работе специально не исследуются. Их влияние на частотную селекцию каналов считается незначительным. Таким образом, мы не рассматриваем влияние ошибок синхронизации так, как переход от аналоговых дискриминаторов к реализациям на базе цифровых интерполяционных схем позволил достигнуть такой высокой точности, что на уровне частотной селекции их можно считать отсутствующими. Не рассматриваем работу эквалайзера, поскольку его основная задача – борьба с отрицательными последствиями многолучевого распространения, которое не обладает частотно-селективными свойствами и, следовательно, не может непосредственно повлиять на уровень взаимного влияния частотных каналов.

На рис. 1 показаны основные шаги цифрового обмена при организации связи в сети UMTS.

Итак, задачу внутрисистемной ЭМС для сети UMTS при сближении частот будем решать, принимая во внимание последовательность преобразований сигнала, выполняемых в соответствии с рис. 1, уделяя особое внимание возникающим изменениям спектрально-временной структуры. В случае необходимости, будем привлекать отдельные общие результаты из теории цифровой обработки сигналов, на базе которой построены сети UMTS.

На входе диаграммы на рис. 1 мы имеем квадратурную информационную последовательность абонентской линии. Она формируется путем кодирования источника информации с последующей программной трансформацией потока в отдельные символы квадратурной модуляции.

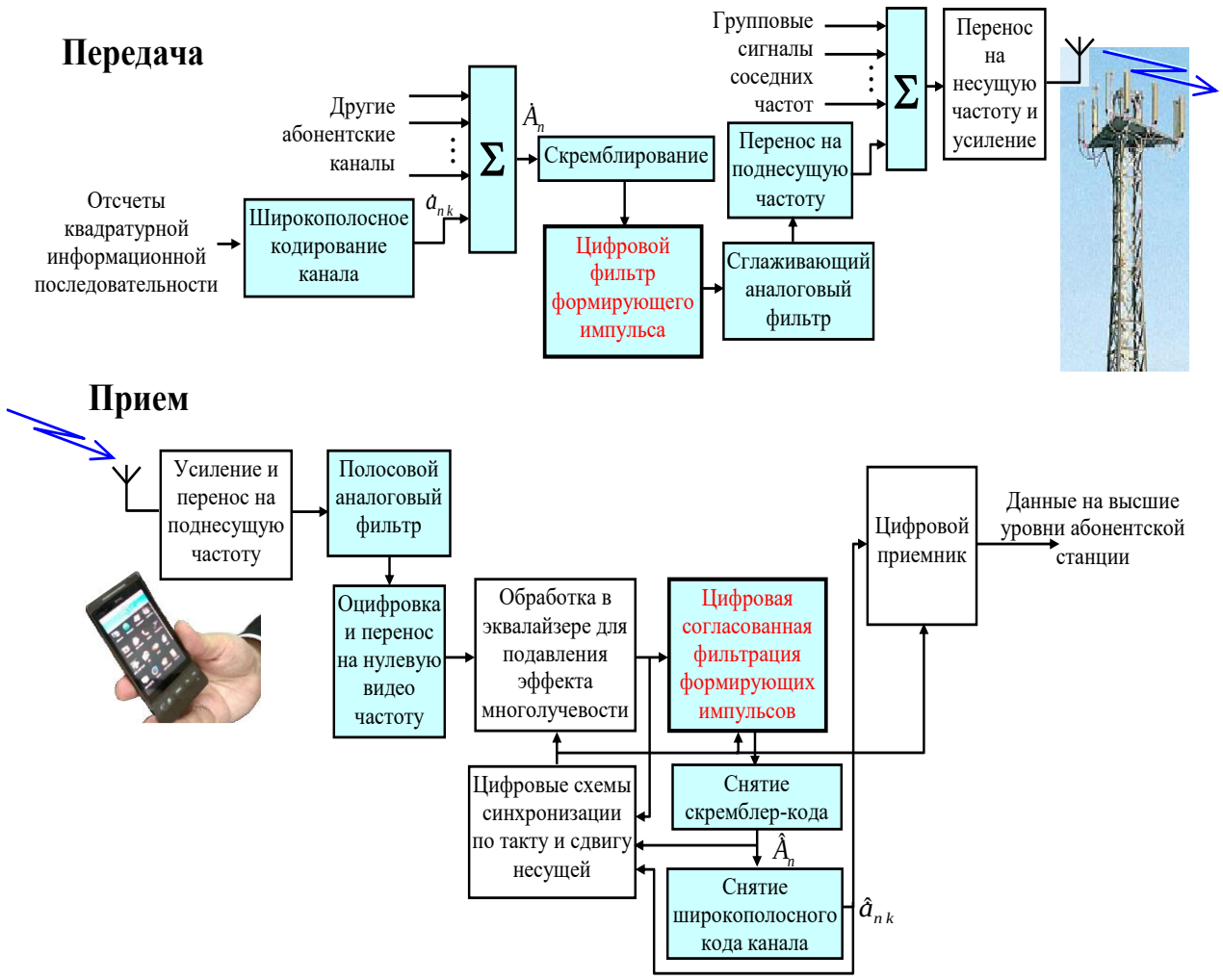


Рисунок 1.

Тактовый интервал квадратурной информационной последовательности равен $T_I = Sf_k \cdot T$, где $T = 1/F \approx 0{,}260417\,\mu s$, F =3,84 МГц – тактовый интервал и тактовая частота широкополосной модуляции, заданные в рекомендациях 3GPP [16], Sf_k – так называемый «Spreading Factor», или показатель расширения спектра для выделенного абонентского канала. Индекс k введен специально, чтобы подчеркнуть, что Sf_k зависит от типа абонентского соединения. Например, для речевых соединений 12,2 кбит/с Sf_k =128, для линий цифрового обмена 384 кбит/с Sf_k =10, а для сервисов HSDPA Sf_k = 16. Основной вид квадратурной модуляции, применяемый в сетях UMTS, это QPSK. Поэтому каждые два бита закодированной абонентской информации в программном модуляторе преобразуются в одну из четырех позиций на фазовой плоскости $\frac{A}{\sqrt{2}} \cdot \{(\pm 1 \pm j)\}$, где j – мнимая единица. В сервисах HSDPA, начиная с модификации 3GPP Rel'5, может применяться модуляция QAM-16. При этом каждые 4 бита закодированной абонентской информации в модуляторе переводятся в одну из 16 позиций фазовой плоскости $\frac{A}{\sqrt{10}} \cdot \{(\pm 1 \pm j), (\pm 1 \pm 3j), (\pm 3 \pm j), (\pm 3 \pm 3j\}$. А, начиная с модификации Rel'7, используется модуляция QAM-64. Для нее каждые 6 бит абонентской информации будут переводиться в одну из 64 позиций на фазовой плоскости. При этом в рекомендациях специально

оговорено, что в сервисах HSDPA непосредственно перед модуляцией дополнительно используется сверточное кодирование с возможными информационными скоростями R= ¼, ⅓, ½, ¾ и 1.

Квадратурная информационная последовательность абонентского канала подается на вход программного модуля (рис. 1), в котором происходит широкополосное кодирование, обеспечивающее полную развязку с другими абонентскими каналами, передаваемыми на той же самой частоте. Достигается это за счет использования для расширения спектра дискретных бинарных последовательностей из ортогонального базиса Уолша-Адамара. В теории дискретных бинарных функций установлено, что размерность ортогонального базиса равна длительности рабочего интервала, выраженного в тактах дискретизации. Иными словами, если все абонентские каналы, организуемые на выделенной частоте, одного класса и, следовательно, имеют одинаковые значения показателя Sf_k, то и максимально возможное число таких каналов – Sf_k. Следовательно, мощность группового сигнала в пределе может превышать уровень сигнала отдельной абонентской линии в Sf_k раз. Это очень важное для нас свойство, к которому мы еще будем обращаться в дальнейшем.

С выходов модулей широкополосного кодирования канала дискретные квадратурные сигналы подаются на входы цифровой схемы сложения. На ее выходе формируются тактовые отсчеты квадратур группового сигнала.

Далее групповой сигнал подвергается скремблированию. В результате чего каждая из его квадратур перемножается на псевдослучайную бинарную последовательность большого периода. Это обеспечивает кодовую развязку между групповыми сигналами разных сот, сайтов и частотных каналов. Правда, такая развязка не идеальна, так как скремблер-коды не являются строго ортогональными. Зато они составляют очень большой ансамбль, что делает их удобными для решения задач развязки на практике. Свойство квази-ортогональности скремблер-кодов приводит к тому, что в любой абонентской линии с показателем расширения спектра Sf_k после снятия широкополосной модуляции уровень мешающих групповых сигналов других сот/сайтов/частот не становится нулевым, а снижается, в среднем, в Sf_k раз [18]. Это означает, что при максимальных нагрузках положительный эффект от широкополосной обработки фактически компенсируется повышенной мощностью групповых сигналов, производящих помехи в абонентских линиях. Поэтому задачу оценки развязки частот можно решать, пользуясь моделью равномощных сигналов без широкополосной модуляции.

С выхода схемы скремблирования квадратурные отсчеты группового сигнала поступают на вход цифрового фильтра формирующего импульса. Технически в этом фильтре каждый квадратурный отсчет преобразуется во множество отсчетов «импульсной реакции», следующих с частотой дискретизации $F_d = 1/\tau$, которая, обычно в 3÷4 раза превосходит тактовую частоту F=3,84 МГц. В каждой позиции последовательности дискретизации происходит суперпозиция импульсных реакций, порожденных сигнальными отсчетами. Цифровой фильтр формирующего импульса является основным средством, обеспечивающим частотную селекцию. Кроме того, на него возлагается задача подавления межсимвольной интерференции (МСИ). Поэтому он, а также блок цифровой согласованной фильтрации формирующих импульсов (рис. 1, ветвь приема) являются главными изучаемыми нами объектами. Что бы лучше понять их устройство, обратимся к теории цифровой обработки.

Согласно основополагающей теореме В.А. Котельникова об отсчетах, для передачи через канал с ограниченной полосой [$-F/2$, $+F/2$], предпочтительно использовать последовательность импульсов формы $\mathrm{sinc}(Ft) \equiv \sin(\pi Ft)/\pi Ft$. В этом случае будет достигаться максимально возможная частота следования передаваемых отсчетов. На рис. 2 представлен пример такой последовательности. Как можно видеть, импульсы $\mathrm{sinc}(Ft)$ обеспечивают идеальную развязку между собой в моменты $0, \pm 1/F, \pm 2/F, \ldots, \pm k/F, \ldots$. Поэтому, выполняя в них измерения, мы

можем оценить амплитуду каждого отдельного импульса, а значит и определить переданный отсчет, не решая задачу выделения из смеси. Это экономит вычислительные ресурсы, что для современных систем, испытывающих острый дефицит в скорости обработки, очень важно.

Кроме этого, каждый импульс, представленный на рис. 2, имеет прямоугольную форму спектра в диапазоне [–*F*/2, +*F*/2]. Поэтому в эфир транслируется сигнал только в ограниченной полосе размером *F*. Согласованный прием приводит к тому, что прямоугольный спектр каждого импульса перемножается на прямоугольный спектр фильтра. В результате спектр, а значит и сам сигнал, своей формы не меняют. Идеальная развязка между импульсами в тактовые моменты на выходе согласованного фильтра сохраняется.

На рис. 2 показана последовательность импульсов sinc(Ft), обладающих «идеальной развязкой».

Но хорошо известно, что импульсы $\mathrm{sinc}\,(Ft)$ достаточно медленно убывают, и для их передачи требуется формировать очень длинные реакции. В цифровых приемниках требуется проводить очень длинные операции свертки. Весь положительный эффект от экономии ресурсов за счет идеальной развязки пропадет. Чтобы избежать этого используют то, что идеальная развязка имеет место для любых импульсов вида $G(t)\frac{\sin(\pi Ft)}{\pi Ft}$, где $G(t)$ – некоторая симметричная относительно нуля сглаживающая функция, обладающая свойством $G(t)\underset{|t|\to\infty}{\to}0$.

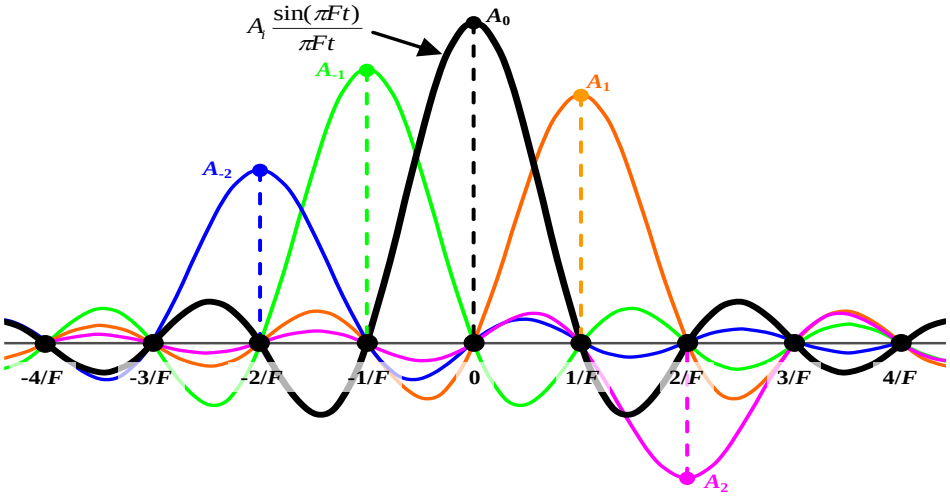


Рисунок 2.

При этом скорость убывания каждого отдельного импульса возрастает, и отпадает необходимость передачи длительных затухающих «хвостов». Однако спектр элементарного импульса на выходе согласованного приемника несколько расширяется и становится:

$$P(f)=\int_{-F/2}^{F/2}G_F(f-f_1)df_1,\ \text{где}\ G_F(f)\ \text{– спектр сглаживающей функции}\ G(t). \qquad (1)$$

Стандарт 3GPP [16] в качестве сглаживающей определяет функцию со спектром в виде лепестка косинуса:

$$G_F(f)=\begin{cases}\frac{\pi}{2F\alpha}\cos\left(\frac{\pi}{\alpha F}f\right), & \text{при}\ |f|\le 1/2\cdot F\alpha,\\ 0, & \text{при}\ |f|>1/2\cdot F\alpha,\end{cases} \qquad (2)$$

где: $\alpha=0{,}22$ – «roll off factor», или коэффициент, определяющий эффективное «уширение» полосы сигнала (на 22%), *F* = 3,84 МГц.

Подставляя (2) в (1), находим:

$$P(f)=\begin{cases}1, & \text{при } |f|\le 1/2\,F\cdot(1-\alpha)\\ 1/2\cdot\left(1+\cos\left(\dfrac{\pi}{\alpha F}\left(|f|-\dfrac{F}{2}(1-\alpha)\right)\right)\right), & \text{при } 1/2\,F\cdot(1-\alpha)<|f|\le 1/2\,F\cdot(1+\alpha),\\ 0, & \text{при } |f|>1/2\,F\cdot(1+\alpha).\end{cases} \quad (3)$$

Так как импульсы со спектром (3) должны наблюдаться на выходе согласованного фильтра приемника, то при передаче должны использоваться импульсные сигналы со спектром:

$$S_p(f)=\sqrt{P(f)}=\begin{cases}1, & \text{при } |f|\le 1/2\,F\cdot(1-\alpha)\\ \cos\left(\dfrac{\pi}{2\alpha F}\left(|f|-\dfrac{F}{2}(1-\alpha)\right)\right), & \text{при } 1/2\,F\cdot(1-\alpha)<|f|\le 1/2\,F\cdot(1+\alpha),\\ 0, & \text{при } |f|>1/2\,F\cdot(1+\alpha).\end{cases} \quad (4)$$

Обратное преобразование Фурье от (4) дает вид ***формирующего импульса передачи***, который можно найти в [16]:

$$S_p(t)=A\frac{\sin(\pi F(1-\alpha)t)+4\alpha Ft\cdot\cos(\pi F(1+\alpha)t)}{\pi Ft\cdot\left(1-(4\alpha Ft)^2\right)}, \quad (5)$$

здесь, A – некоторый масштабный множитель, не играющий особой роли.

В общем случае могут использоваться различные формы сглаживающей функции $G(t)$ например, с прямоугольной или треугольной формой спектра. Во всех таких случаях мы бы обеспечили за счет некоторого расширения полосы более быстрое затухание во времени базового импульса $\operatorname{sinc}(Ft)$ и сохранили бы МСИ полностью подавленной. Класс импульсов, синтезируемых по указанному принципу, принято называть «импульсами Найквиста». Конкретно для импульсов (5) с произвольным α в литературе утвердилось собственное название «root raised cos» («приподнятый косинус» – в сложившемся русском переводе).

С учетом описанных выше этапов преобразований, последовательность квадратурных отсчетов группового сигнала, наблюдаемого на выходе цифрового фильтра формирующего импульса, можно представить так:

$$S_a(t)=\sum_{n=-\infty}^{+\infty}\dot{A}_n S_p(t-nT)\cdot L_t(t), \quad (6)$$

где: $\dot{A}_n=\sum_{k=1}^{K}\dot{a}_{nk}$, ($n=0,\pm1,\pm2,\ldots$) – последовательность комплексных отсчетов группового сигнала, $\dot{a}_{nk}$ – комплексные символы квадратурной информационной последовательности на выходе блока широкополосного кодирования k-го канала, соответствующие модуляции QPSK, QAM-16 или QAM-64, K – число абонентских каналов, составляющих групповой, $L_t(t)=\sum_{m=-\infty}^{+\infty}\delta(t-m\tau)$ – «решетчатая» функция дискретных моментов, в которые генерируются отсчеты на выходе цифрового фильтра формирующего импульса, τ – интервал дискретизации группового сигнала.

Шумы квантования мы рассматривать не будем, так как их уровень составляет $P_q=-10\lg\left(4^{n-1}\cdot 12\right)$, где n – разрядность АЦП. Если взять даже заурядную схему АЦП с n=6, то получим $P_q\approx-41$ дБ, что существенно ниже уровня остальных помех, рассматриваемых в данной статье.

Реально (6) нужно дополнить еще одним важным, с точки зрения рассматриваемого вопроса, преобразованием, выполняемым в цифровом фильтре формирующего импульса. Несмотря на то, что функция (5) значительно быстрее, чем $\operatorname{sinc}(Ft)$ сходится к нулю, но все равно ее длительность приходится ограничивать. В противном случае вычислительные затраты, а также требуемая емкость памяти возрастали бы бесконечно. Аналитически указанную

операцию можно представить, как умножение (5) на функцию окна:

$$S_{pR}(t) = S_p(t) \cdot W_R(t, T_W), \tag{7}$$

где: $$W_R(t, T_W) = \begin{cases} 1, & \text{если} \quad |t| \le T_W/2, \\ 0, & \text{если} \quad |t| > T_W/2, \end{cases} \tag{8}$$

T_W – интервал ограничения.

Поэтому, чтобы учесть ограничение длительности, нужно просто в (6) $S_p(t)$ заменить на: $S_{pR}(t)$

$$S_{aR}(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \dot{A}_n S_{pR}(t - nT) \cdot L_t(t). \tag{9}$$

Такое преобразование делает спектр неограниченным. В результате взаимное влияние частотных каналов в UMTS проявляется при любых отстройках. Чтобы уметь его рассчитывать, нужно найти спектр сигнала (9). Для этого воспользуемся известными приемами вычисления Фурье-преобразований от задержанных сигналов, их произведений и сумм, а также тем, что функция $L_t(t) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \delta(t - m\tau)$ имеет спектр:

$$L_f(f) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \delta\left(f - \frac{m}{\tau}\right) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \delta(f - mF_d) \cdot \tag{10}$$

В результате получим:

$$S_{FR}(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_F(f - x) \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \delta(x - mF_d) dx = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} S_F(f - mF_d), \tag{11}$$

где:

$$S_F(f) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \dot{A}_n \int_{-\infty}^{+\infty} S_{pR}(t - nT) e^{-j2\pi f t} dt = S_{pR}(f) \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \dot{A}_n e^{-j2\pi f nT}, \tag{12}$$

$$S_{pR}(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_p(f - x) \cdot T_W \mathrm{sinc}(T_W x) dx, \tag{13}$$

$S_p(f)$ – спектр неограниченного формирующего импульса (4), $T_W \mathrm{sinc}(T_W x)$ – спектр ограничивающего окна (8).

Из (11) следует, что спектр группового сигнала на выходе цифрового фильтра формирующего импульса представляет суперпозицию функций (12). На рис. 3а показан его пример. Возникновение копий в позициях кратных F_d происходит из-за дискретизации. Транслировать такой сигнал в эфир нельзя, поэтому его предварительно пропускают через сглаживающий аналоговый фильтр. В результате, как показано на рис. 3б, остается только одна копия спектральной функции (12). Идеальным, согласно теореме Котельникова, был бы сглаживающий аналоговый фильтр прямоугольной формы на $[-F_d/2,\ F_d/2]$. Однако реально его форма несколько отличается. Но из-за невысокого уровня боковых лепестков спектра это не приводит к заметным потерям качества связи.

Указанные боковые лепестки возникают из-за ограничения длительности формирующего импульса и могут быть рассчитаны с помощью (13). Их уровень тем меньше, чем больше интервал ограничения T_W. На практике, для сокращения вычислительных затрат, обычно используют T_W, не превосходящие $6T \div 9T$, где $T = 1/F = (1/3{,}84)$ мкс – тактовый интервал модуляции. На рис. 3 показано спектральное преобразование дискретного сигнала при ограниченном формирующем импульсе после прохождения через аналоговый сглаживающий фильтр.

Программа расчета взаимного влияния частот и оценка снижения емкости

Так как спектр $S_{pR}(f)$ имеет достаточно сложное аналитическое представление, то анализ ЭМС гораздо удобнее производить численно. Для этого была написана программа, которая при заданных: разносе частот (ΔF), длительности окна ограничения ($T_W/2T$) и полосе фильтра F_F, рассчитывает уровень помех, возникающих от соседних каналов UMTS. Ее рабочая форма показана на рис. 4.

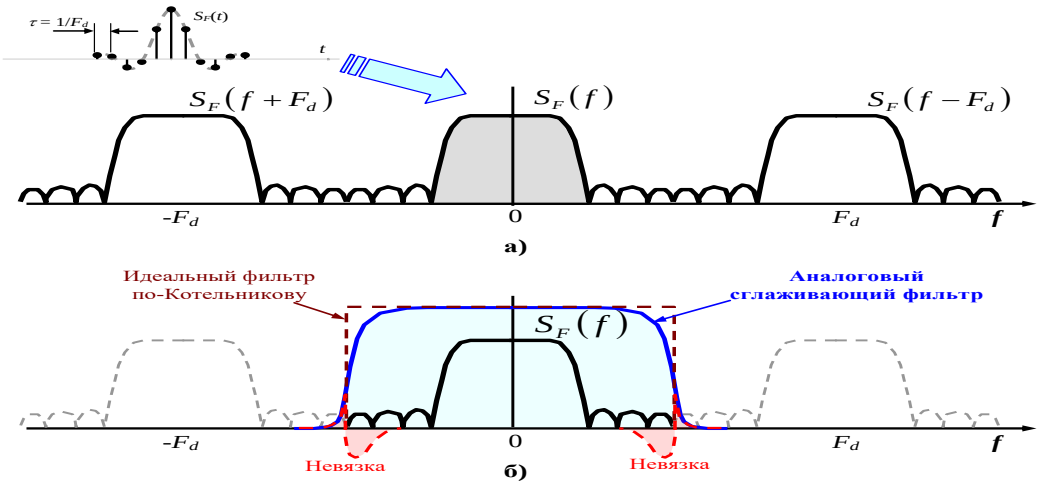


Рисунок 3.

Получаемых с помощью программы данных достаточно, чтобы определить уровень внутрисистемных помех при сближении соседних частотных каналов UMTS.

Анализ уровня развязки соседних каналов UMTS показал, что он зависит не только от величины разноса указанных каналов по частоте, но и от длительности окна ограничения ($T_W/2T$). При этом показатели ЭМС оказывались значительно лучше в случаях, когда границы окна ограничения по времени приходились на координаты нулевых значений формирующего импульса передачи (5): $T_W/2T$ = 0,94; 1,88; 2,81; 3,71; 4,57; 5,36; 6,12; 6,93; 7,78. И чем выше был номер нуля формирующего импульса, задающего окно ограничения, тем лучше становились показатели развязки.

На рис. 5 показаны полученные с помощью программы зависимости показателя развязки δ соседних каналов UMTS от размера окна ограничения $T_W/2T$ при различных значениях частотного разноса соседних каналов ΔF.

Результаты позволяют в первом приближении оценить, какие потери могут возникнуть при использовании разноса соседних каналов UMTS менее чем на 5 МГц. Также можно видеть на сколько может оказаться критичным сокращение размера окна ограничения при попытке снизить вычислительную сложность цифровой обработки. Так, если ориентироваться на уровень развязки порядка 40 дБ, что, в первом приближении достаточно для поддержки самых сложных сервисов, использующих сигналы с модуляцией QAM-64, то оказывается возможным применять частотный разнос каналов UMTS 4,6 МГц, но при этом длительность окна ограничения формирующего импульса должна быть не менее $T_W/2T$ = 4,57, что предполагает определенное повышение вычислительной нагрузки на модуль цифровой обработки.

Для более простых сервисов (с более простыми видами модуляции) требования по разносу каналов по частоте и по длительности окна ограничения оказываются менее жесткими. Но точно определить их можно только на основе более детальной проработки, учитывающей такие параметры как: нагрузки соседних каналов, число соседних каналов и частотные отстройки соседних каналов от рассматриваемого.

На рис. 4 представлена рабочая панель программы расчета взаимного влияния частотных каналов UMTS.

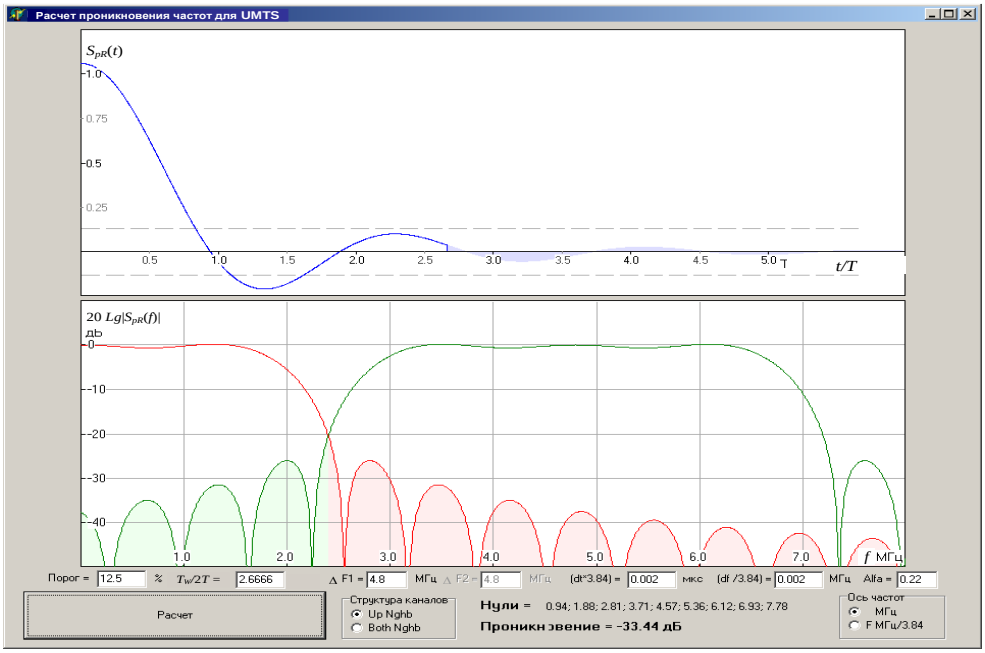


Рисунок 4.

На рис. 5 показаны зависимости уровня развязки соседних каналов UMTS от длительности окна ограничения формирующего импульса.

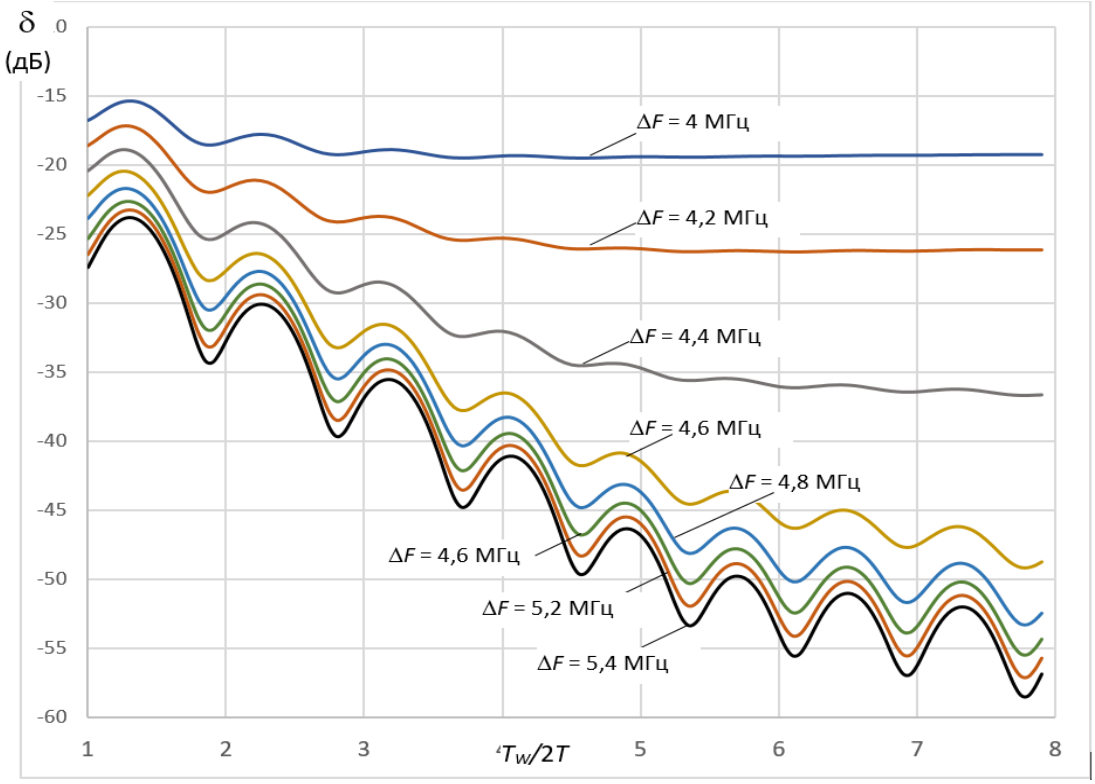


Рисунок 5.

Выводы

Сервисы HSDPA, предполагающие использование модуляции QAM-16 и/или QAM-64, проявляют наибольшую чувствительность к помехам, наводимым соседними частотными каналами. Поэтому при сближении частот такие сервисы будут деградировать в первую очередь.

Также на указанных сервисах будут наиболее сильно сказываться ограничения по производительности модуля цифровой обработки, приводящие к необходимости сокращения временного окна воспроизведения формирующего импульса передачи.

Литература

1. Шорин О.А., Бокк Г.О. Особенности планирования сети McWILL с учетом электромагнитной совместимости с сетями LTE в смежных диапазонах частот // Электросвязь, – 2017. – № 2. – С. 46-51.
2. Шорин О.А., Бокк Г.О., Сухацкий С.В. Методы улучшения межсистемной ЭМС для систем мобильной связи четвертого поколения // Электросвязь, – 2016. – № 2. – С. 35-41.
3. Шорин О., Бокк Г. Анализ электромагнитной совместимости стандартов четвертого поколения // Первая миля, – 2016. – № 1(54). – С. 44-53.
4. Шорин О.А., Бокк Г.О. К вопросу об электромагнитной совместимости стандартов четвёртого поколения // Экономика и качество систем связи, – 2016. – № 2. – С. 51-59.
5. Шорин О.А., Бокк Г.О. К вопросу об электромагнитной совместимости стандартов четвёртого поколения // Сборник материалов (тезисов) 37-й международной конференции РАЕН «Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». – Италия, 2016. – С. 4-6.
6. Шорин О.А., Бокк Г.О. Эквалайзер для коррекции муль-тидоплеровских искажений OFDM-сигналов в сетях LTE и McWILL // Электросвязь, – 2017. – № 1. – С. 28-34.
7. Шорин О.А., Бокк Г.О. Эквалайзер для коррекции мультидоплеровских искажений OFDM сигналов в сетях LTE и McWILL // Сборник материалов (тезисов) 38-й международной конференции РАЕН «Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». – Шри-Ланка, 2016. – С. 4.
8. Шорин О.А., Бокк Г.О. Влияние размера ресурсного блока сигнала OFDM на показатели качества работы сетей стандартов LTE и McWILL // Электросвязь, – 2017. – № 2. – С. 67-71.
9. Бокк Г.О. MIMO: Оптимизация управления числом логических каналов // Электросвязь, – 2017. – № 1. – С. 40-44.
10. Бокк Г.О. MIMO: Оптимизация управления числом логических каналов // Сборник материалов (тезисов) 38-й международной конференции РАЕН «Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». – Шри-Ланка, 2016. – С. 6.
11. Бокк Г.О. Оптимизация MIMO с введением управления числом логических каналов // Сборник трудов 30-й международной конференции РАЕН. Региональное отделение Российской Академии Естественных Наук «Экономика и качество систем связи» и ЗАО «НИРИТ». – Малайзия, 2011. – С. 97-109.
12. Бокк Г.О. Повышение эффективности работы систем связи на основе пространственно-временной обработки и спектрального анализа сигналов: Диссертация на соискание ученой степени д.т.н.: 05.12.17. – М.: 2000. – 396 с.
13. Аверьянов Р.С., Бокк Г.О., Шорин А.О. Оптимизация размера кольцевой антенны и правила формирования территориальных кластеров для сотовой сети McWILL // Электросвязь, – 2017. – № 1. – С. 22-27.
14. Шорин О.А., Бокк Г.О., Аверьянов Р.С., Шорин А.О. Оптимизация геометрии адаптивной антенны для сотовой сети с OFDM сигналами // Экономика и качество систем связи, – 2016. – № 2. – С. 60-67.
15. Шорин О.А., Бокк Г.О., Аверьянов Р.С., Шорин А.О. Оптимизация геометрии адаптивной антенны для сотовой сети с OFDM сигналами // Сборник материалов (тезисов) 37-й международной конференции РАЕН «Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». – Италия, 2016. – С. 7-8.
16. Володина Е.Е. Экономико-методические проблемы государственного управления

использования радиочастотного спектра // Экономическая наука современно России, 2016. № 3 (74). – С. 124-135.
17. ETSI TS 125 104 V.8.5.0. (2009-01). Technical Specification. BS Radio Transmission and reception (FDD) (3GPP TS 25.104 Version 8.5.0 Release 8).
18. Прокис Дж. Цифровая связь. – М.: Радио и связь, 2000. – 798 с.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ И ОЦЕНКЕ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В.Н. Максименко, *доцент кафедры «Информационная безопасность и автоматизация» МТУСИ, vladmaks@yandex.ru;*
Е.В. Ясюк, *аспирант МТУСИ, jusjuk@rambler.ru*

УДК 004

Аннотация. При построении системы информационной безопасности разработчики сталкиваются с проблемой определения необходимого уровня обеспечения доступности, целостности и конфиденциальности информационных ресурсов и поддерживающей инфраструктуры. Для поиска «границ» безопасности информационной системы можно использовать определенные стандарты и регламенты в сфере информационной безопасности, однако они не всегда там четко определяются. Поэтому используются определенные методики управления рисков, которые позволяют идентифицировать риски, ранжировать их по степени опасности, по вероятности возникновения, а также выработать определенный метод обработки данных рисков.

В статье описывается предназначение систем анализа и оценки рисков, рассматриваются вопросы необходимости и причин возникновения такого рода систем, приводятся и сравниваются основные подходы к решению проблемы управления рисками, а также описываются и сравниваются существующие программные средства, в которых применяются данные подходы.

Ключевые слова: аудит информационной безопасности; риски информационной безопасности; угроза информационной безопасности; защита информации, управление рисками.

MAIN APPROACHES TO THE ANALYSIS AND ESTIMATION OF RISKS OF INFORMATION SECURITY

Vladimir Maksimenko, *associate professor "Information security and automation" of MTUCI;*
Yegor Yasyuk, *graduate student of MTUCI*

Annotation. When constructing the system of ensuring information security developers are faced with the problem of determining the required level of availability, integrity and confidentiality of information resources and supporting infrastructure. To search for "borders" of the information system security certain standards and regulations in the field of information security can be used, but they are not always clearly defined. Certain methods of risk management are used to identify risks, rank them by severity, likelihood of occurrence, and to develop a method for the treatment of these risks.

The article describes the purpose of systems analysis and risk assessment, discusses the necessity and the reasons for the emergence of such systems, describes and compares the main approaches to the problem of risk management and describes and compares existing software tools that utilize these approaches.

Keywords: audit of information security; information security risk; information security threat; information protection, risk management.

Введение

Зачем нужно исследовать риски в сфере информационной безопасности (ИБ) и что это может дать при разработке системы обеспечения ИБ для информационной системы (ИС)?

Для любого проекта, требующего финансовых затрат на его реализацию, весьма желательно уже на начальной стадии определить, что мы будет считать признаком завершения работы и как будем оценивать результаты проекта. Для задач, связанных с обеспечением ИБ это более чем актуально. Ведь затраты на обеспечение высокого уровня безопасности могут быть неоправданными. Фактически встает вопрос: какой уровень защиты должен быть у рассматриваемой системы? Для ответа на данный вопрос в процессе создания системы ИБ можно использовать два подхода.

Первый ориентируется на основные стандарты в сфере ИБ (например, [1]) или какой-либо другой набор требований. Тогда критерий достижения цели в области безопасности – это выполнение заданного набора требований. Критерий эффективности – минимальные суммарные затраты на выполнение поставленных функциональных требований. Однако требуемый уровень защищенности в данных документах не всегда строго определен, поэтому определить эффективный уровень защищенности ИС достаточно сложно.

Второй подход связан с оценкой и управлением рисками. Изначально он произошел из принципа «разумной достаточности» примененного к сфере обеспечения ИБ. Этот принцип описывается набором утверждений:

- абсолютно непреодолимой защиты создать невозможно;
- необходимо соблюдать баланс между затратами на защиту и получаемым эффектом;
- стоимость средств защиты не должна превышать стоимости защищаемой информации;
- затраты нарушителя на несанкционированный доступ к информации должны превышать тот эффект, который он получит, осуществив подобный доступ.

Риском в сфере ИБ называется потенциальная возможность понести убытки из-за нарушения безопасности информационной системы (ИС).

Наиболее подробно процесс анализа рисков описывается в [2]. При анализе рисков рассматривается ИС в ее исходном состоянии, оценивается размер ожидаемых потерь от инцидентов, связанных с информационной безопасностью за определенный период. После этого, делается оценка того, как предлагаемые средства и меры обеспечения безопасности влияют на снижение рисков, и сколько они стоят.

«Зачатки» идеи управления рисков возникли еще в 70-х гг., когда была разработана модель безопасности с полным перекрытием (или модель Клементса-Хоффмана [3]).

Модель Клементса-Хоффмана

В своем первоначальном виде модель Клементса-Хоффмана была очень «идеализирована», однако именно в процессе анализа данной модели и возникла проблема необходимости оценки угроз.

Модель строится исходя из постулата, что система безопасности должна иметь, по крайней мере, одно средство для обеспечения безопасности на каждом возможном пути воздействия нарушителя на ИС.

Для описания системы защиты информации с полным перекрытием рассматриваются три множества [3]:

- множество угроз $U = \{U_i\}$, $i = \overline{1,m}$;
- множество объектов защиты $O = \{O_j\}$, $j = \overline{1,n}$;
- множество механизмов защиты $M = \{M_k\}$, $k = \overline{1,r}$.

Элементы множеств U и O находятся между собой в отношениях «угроза – объект», определяемых двухдольным графом, который изображен на рисунке 1. Дуга $<U_i, O_j>$ существует тогда, когда U_i – средство получения доступа к объекту O_j.

На рис. 1 показан двудольный граф «угроза – объект».

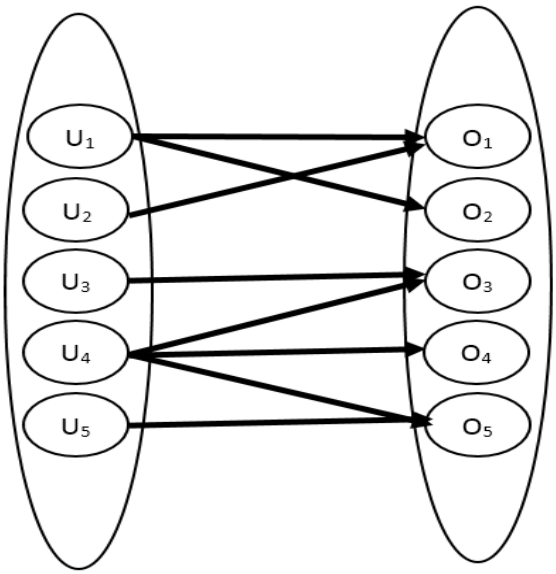


Рисунок 1.

Следует отметить, что связь между угрозами и объектами необязательно должна быть связью типа «один к одному» – угроза может распространяться на любое число объектов, а объект может быть уязвим со стороны более чем одной угрозы.

Цель защиты состоит в том, чтобы перекрыть каждую дугу графа и воздвигнуть барьер для доступа на этом пути. Общая постановка задачи формулируется в следующем виде: множество средств защиты информации M обеспечивает защиту множества объектов O от множества угроз U. В идеале каждое средство mк должно характеризовать некоторое ребро $<U_i, O_j>$ из указанного графа.

Применение множества средств защиты M преобразует двудольный граф в трехдольный (рис. 2).

На рис. 2 показан трехдольный граф «угроза – средство безопасности – объект».

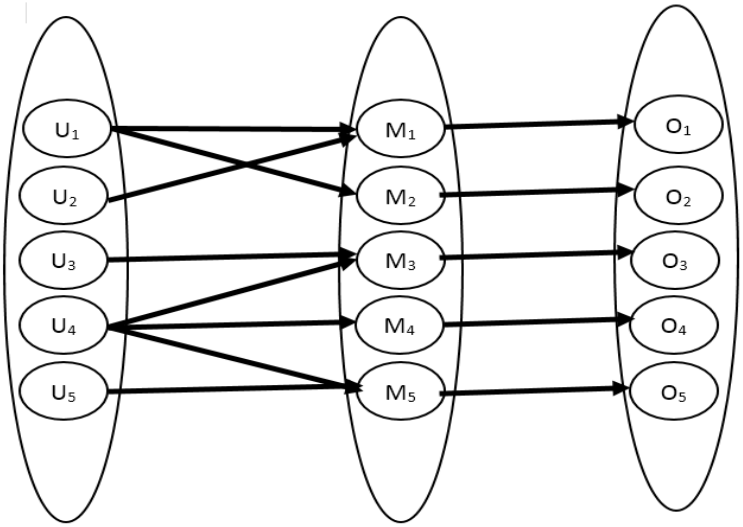


Рисунок 2.

В защищенной системе все ребра представляются в виде <U_i, M_k> и <M_k, O_j>. При этом одно и то же средство защиты может перекрывать более одной угрозы и защищать более одного объекта.

Вводится понятие «система с полным перекрытием» – это система, в которой имеются средства защиты на каждый возможный путь проникновения.

Развитие этой модели предполагает введение еще двух элементов [4]:

- V – набор уязвимых мест, определяемый подмножеством декартова произведения U×O. Под уязвимостью системы защиты будет пониматься возможность осуществления угрозы U_i в отношении объекта O_j;
- B – набор барьеров, определяемый декартовым произведением V×M. Барьеры – это пути осуществления угроз безопасности, перекрытые средствами защиты.

Получаем пятидольный граф. На рис. 3 показан пятидольный граф «угроза – средство безопасности – барьер – уязвимость – объект».

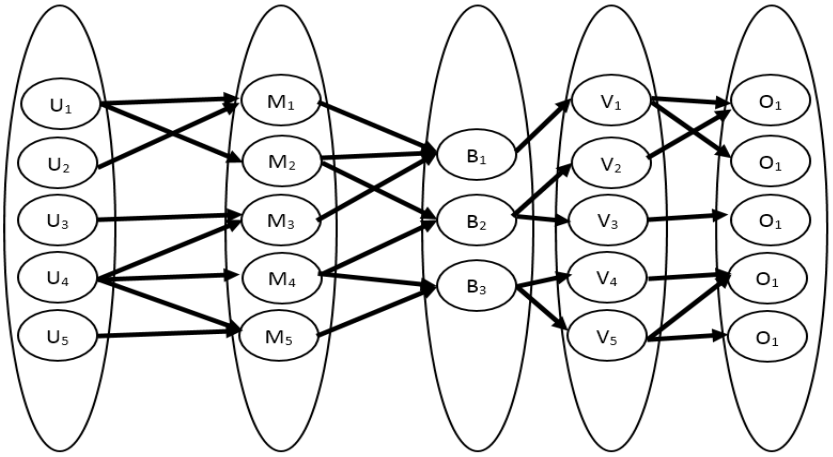


Рисунок 3.

Теперь, если каждой дуге графа поставить в соответствие весовой коэффициент, то имеется возможность количественно определить степень защиты системы.

Отметим, что данная модель носит «утопический» характер. В ней не учитывается стоимость внедряемых средств зашиты, а также соотношение этой стоимости к возможным потерям при реализации конкретной угрозы. Учитывая, что у нас всегда существуют не только как материальные, так и временные ограничения при создании системы обеспечения ИБ, построить систему с полным перекрытием не представляется возможным.

Также поиск всех возможных воздействий злоумышленника на объект зачастую не может быть выполнен. Ведь помимо известных способов осуществления угрозы в будущем могут возникнуть и новые.

Таким образом, если обеспечить защиту абсолютно от всех угроз невозможно, значит встает вопрос выбора тех угроз, от которых мы будем защищать систему.

Наконец, каждый барьер защиты в реальности обеспечивает лишь некоторую степень сопротивляемости угрозам безопасности. Прочность барьера характеризуется величиной остаточного риска R_i ([4]), который определяется по формуле 1:

$$R_i = P_i * Q_i * (1 - P_q) \qquad (1)$$

где: P_i – вероятность появления угрозы U_i; Q_j – величина ущерба при удачном осуществлении угрозы U_i в отношении защищаемого объекта O_j; P_q – степень сопротивляемости барьера B_q, характеризующаяся вероятностью его преодоления.

Именно здесь мы сталкиваемся с необходимостью анализа степени защиты объекта от определенной угрозы. Так как от угрозы риска возникновения угрозы полностью избавиться нельзя, предлагаются определенные способы обработки риска (снижение, устранение, перенос или принятие).

Таким образом, при построении системы информационной безопасности встает проблема определения степени защиты от существующих угроз безопасности. Для этого нам необходимо определенным образом ранжировать угрозы в зависимости от степени опасности и выработать меры по их обработке.

Современные методики управления рисками

В процессе решения изложенной выше проблемы было создано множество систем управления рисков. Задача каждой из них заключается в оценке рисков ИС по различным параметрам (возможный ущерб, вероятность возникновения угрозы, тяжесть последствий и др.) и выработке рекомендаций по обработке риска.

Несмотря на повышение интереса к управлению рисками, используемые в настоящее время методики относительно неэффективны, поскольку этот процесс во многих компаниях осуществляется каждым подразделением независимо. Централизованный контроль над их действиями зачастую отсутствует, что исключает возможность реализации единого и целостного подхода к управлению рисками во всей организации.

Все известные методики оценки и анализа рисков можно разделить на [5]:

- методики, использующие оценку риска на качественном уровне (например, по шкале «высокий», «средний», «низкий»);
- количественные методики (риск оценивается через числовое значение, например, размер ожидаемых годовых потерь);
- методики, использующие смешанные оценки.

При качественной оценке риска определяют последствия, вероятность и уровень риска по экспертным шкалам; оценка последствий и вероятности может быть объединена; сравнительную оценку уровня риска в этом случае проводят в соответствии с качественными критериями. Преимущество качественного анализа состоит в том, что он позволяет быстро и относительно «дешево» (с минимальными затратами ресурсов) определить максимально возможное количество факторов и областей, в которых возможно явное или неявное проявление рисков. При использовании только качественного подхода мы проанализируем причины возникновения рисков, последствия при их реализации, однако используемая шкала оценки носит субъективный характер, также могут возникнуть сложности в сравнении угроз одной категории.

При количественном анализе оценивают практическую значимость и стоимость последствий, их вероятности, и получают значение уровня риска в определенных единицах. Полный количественный анализ не всегда может быть возможен. В таком случае ранжирование рисков высококвалифицированными специалистами (экспертами) может быть более эффективно. В процессе количественного анализа происходит сравнение и более качественная приоритезация и переопритезация рисков. Использование только количественного подхода позволяет более точно (численно) сравнивать риски, однако мы не учитываем причины их возникновения, последствия.

Поэтому при анализе информационных систем, учитывая их сложность, желательно применять смешанный подход, который использует как качественную, так и количественную шкалы оценок. Это обеспечит наиболее всесторонний и комплексный подход к решению задачи управления рисками.

Программные продукты для управления рисками

Рассмотрим основные системы анализа и оценки рисков (подробнее в [6-7]):

- ***Оценка CRAMM (смешанный подход)***

Данная методика не учитывает сопроводительной документации, такой как описание бизнес-процессов или отчетов по проведенным оценкам рисков. В отношении стратегии работы

с рисками CRAMM предполагает использование только методов их снижения. В методике отсутствуют: процесс интеграции способов управления, мониторинг эффективности используемых способов управления и способов управления остаточными рисками, процесс реагирования на инциденты.

Минусами CRAMM является и необходимость привлечения специалистов высокой квалификации, трудоемкость и длительность процесса оценки рисков. Кроме того, следует отметить высокую стоимость лицензии.

- ***Оценка ГРИФ (смешанный подход)***

Методика ГРИФ использует количественные и качественные способы оценки рисков, а также определяет условия, при которых последние могут быть приняты компанией, включает в себя расчет возврата инвестиций на внедрение мер безопасности. В отличие от других методик анализа рисков, ГРИФ предлагает все способы снижения рисков (обход, снижение и принятие). Данная методика учитывает сопроводительную документацию (описание бизнес-процессов или отчетов по проведенным оценкам рисков ИБ).

- ***Оценка RiskWatch (количественный подход)***

Трудоемкость работ по анализу рисков с использованием этого метода сравнительно невелика. Существенным достоинством RiskWatch является интуитивно понятный интерфейс и большая гибкость метода, обеспечиваемая возможностью введения новых категорий, описаний, вопросов и т. д.

Недостатки: анализ рисков проводится только на программно-техническом уровне, не учитываются административные и организационные факторы, очень высокая стоимость [8-10].

- ***Оценка CORAS (качественный подход)***

Недостаток CORAS в том, что в нем не предусмотрена периодичность проведения оценки рисков и обновление их величин, что свидетельствует о том, что методика пригодна для выполнения разовых оценок и не годится для регулярного использования.

Положительной стороной CORAS является то, что программный продукт, реализующий эту методику, распространяется бесплатно и не требует значительных ресурсов для установки и применения.

- ***Оценка MSAT (качественный подход)***

Ключевыми показателями для данного программного продукта являются: профиль риска для бизнеса и индекс эшелонированной защиты (сводная величина уровня защищенности).

MSAT позволяет оценить эффективность инвестиций, вложенных во внедрение мер безопасности, но не дает возможности найти оптимальный баланс между мерами, направленными на предотвращение, выявление, исправление или восстановление информационных активов.

Как видно, каждый из программных продуктов имеет свои достоинства и недостатки. Отметим, что для наиболее полного анализа рисков не только на техническом, но и на организационном уровне, наиболее подходящими являются MSAT, RiskWatch и ГРИФ. Однако качественно-количественный подход применяется только в RiskWatch и ГРИФ. Для разовой оценки рисков подойдет бесплатный вариант CORAS. Для управления рисками на базе периодических оценок на техническом уровне лучше всего подходит CRAMM.

Заключение

В докладе был рассмотрен и проанализирован процесс анализа и оценки рисков. Была подчеркнута необходимость и важность использования системы оценки и анализа рисков при проектировании системы обеспечения информационной безопасности. Показано, что игнорирование данного подхода может привести к неоправданно высоким затратам на построение системы ИБ. Приведена модель Клементса-Хоффмана, в процессе анализа которой и была поднята проблема управления рисками.

Также описаны и проанализированы основные методики управления рисками. Был сделан вывод о том, что наиболее эффективно использовать подход, сочетающий в себе как качественную, так и количественную оценку рисков.

Проведен анализ нескольких существующих программных продуктов для управления рисками. Каждый из продуктов имеет свои достоинства и недостатки, но сфера их применения зависит от самого предприятия. В некоторых случаях минусы данного продукта не являются важными для конкретной компании.

Литература

1. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408: 2012. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий.
2. Международный стандарт ISO/IEC 27005:2008. Информационная технология – Методы защиты – Менеджмент рисков информационной безопасности.
3. Хоффман Л.Дж. Современные методы защиты информации // Пер. с англ. – М.: Советское радио, 1980. – 264 с.
4. Аверченков В.И., Рытов М.Ю., Гайнулин Т.Р. Оптимизация выбора состава средств инженерно-технической защиты информации на основе модели Клементса-Хофмана // Вестник Брянского ГТУ, 2008. – № 1. – С. 61-67.
5. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010:2009. Менеджмент риска. Методы оценки риска.
6. Баранова С.Ю. Методики анализа и оценки рисков информационной безопасности, Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 3. Образовательные ресурсы и технологии, 2015. – № 1(9). – С. 73-79.
7. Разумников С.В. Анализ возможности применения методов OCTAVE, RiskWatch, CRAMM для оценки рисков ИТ для облачных сервисов // Современные проблемы науки и образования, 2014. – № 1. – С. 247-248.
8. Петренко С.А. Управление информационными рисками. Экономически оправданная безопасность // Петренко С.А., Симонов С.В. – М.: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2004. – 384 с.
9. Максименко В.Н., Даричева А.Н. Методические подходы к оценке качества услуг контакт-центра // Экономика и качество систем связи, 2017. – № 1(3). – С. 79-88.
10. Максименко В.Н., Ясюк Е.В. Сравнительный анализ методических подходов к оценке рисков информационной безопасности // в сборнике: Мобильный бизнес: Перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом. 2017. – С. 15-16.

МЕТРОЛОГИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ СРЕДСТВ СВЯЗИ

Б.П. Хромой, *профессор кафедры «Метрология, стандартизация и измерения в инфокоммуникациях» МТУСИ, P_khromoy@rambler.ru*

УДК 621.396

Аннотация. Достижение требуемого качества приемо-передающих средств связи возможно при наличии метрологического обеспечения производства, испытаний и контроля качества. Достоверность результатов испытаний и контроля качества во многом определяется правильным выбором средств и методов испытаний, качеством методик выполнения измерений. Для проведения испытаний необходимы измерительные комплексы, способные проверять выполнение общих и конкретных требований к продукции. В состав комплексов входят средства измерений и технического оснащения. В статье рассмотрены вопросы оптимального выбора измерительных комплексов.

Ключевые слова: контроль качества; метод измерения; метрологическое обеспечение; анализатор спектра; уровень сигнала; нестабильность частоты; векторный генератор.

COMPLEX FOR MEASUREMENT OF PARAMETERS OF RECEIVING-COMMUNICATION FACILITIES

Boris Khromoy*, professor of the "Metrology, standardization and measurements in infocommunications" department MTUCI*

Annotation. Achieving the required quality of receiving and transmitting means of communication is possible with metrological support for production, testing and quality control. Reliability of test results and quality control is largely determined by the correct choice of means and test methods, the quality of measurement techniques. Measuring complexes that can verify the performance of general and specific requirements for products are required. The complexes include measuring and technical equipment. In the article the questions of an optimum choice of measuring complexes are considered.

Keywords: quality control; Method of measurement; metrological support; spectrum analyzer; signal strength; frequency instability; vector generator.

Основу нормативной базы метрологического обеспечения оценки качества определяет Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 28 июня 2008 г. № 102-ФЗ [1-2], ГОСТ Р 8.000-2000 «Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения» [3] и ГОСТ Р 8.563-96 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений» [4].

Методики выполнения измерений, применяемые при оценке качества продукции, являются конечным звеном нормативных документов по вопросам обеспечения единства измерений [5-9].

. Они объединяют основные составляющие системы обеспечения единства измерений: единицы величин, эталоны, стандартные образцы, метрологические характеристики методик выполнения измерений и средств измерений и др. Поэтому разработка, аттестация и внедрение современных методик выполнения измерений существенно влияют на достоверность и объективность результатов контроля качества продукции.

Проведение метрологической экспертизы является неотъемлемой частью современного производственного процесса [10]. В настоящее время большинство производственных организаций имеют отдел метрологии и стандартизации, отдел качества, а также лабораторию надежности [11].

В отделе метрологии выявляются ошибочные или недостаточно обоснованные решения, разрабатываются наиболее рациональные решения по конкретным вопросам метрологического обеспечения [12-13].

Отдел качества занимается контролем предъявляемых требований к новым или серийным выпускам изделий, средств связи, проверяет правильность составления технических заданий, технических условий, программ и методик испытаний продукции.

В лаборатории надежности проводят испытания и измерения готовой продукции или комплектующих изделий. Проверяют работоспособность как в нормальных климатических условиях, так и при воздействии вредных физических и климатических факторов.

Правильное взаимодействие этих отделов позволяет выпускать готовую продукцию, соответствующую современным стандартам качества.

Для проведения испытаний в лабораториях надежности отдел метрологии и стандартизации проектирует измерительные комплексы, способные проверять выполнение общих и конкретных требований к продукции. В состав комплексов входят средства измерений и технического оснащения. За счет опыта ранее проведенных исследований эти комплексы модернизируются и дополняются новыми измерительными приборами [11].

Для создания этих комплексов проводятся исследования и анализ возможности использования измерительных приборов в составе комплексов. Производится расчет погрешности измерений. Выявляются возможные максимальные допуски отклонений измеряемых параметров. Для этого требуется изучение технической документации на измерительные приборы, изучение разрабатываемых технических заданий и условий, а также ГОСТов.

При разработке, производстве и эксплуатации приемопередающей аппаратуры измерения большинства параметров осуществляются в сравнительно узком диапазоне, т.к. эти параметры относятся к определенному типу абонентских радиостанций. На предприятиях, осуществляющих испытания и сертификацию оборудования измерительный комплекс должен быть рассчитан на более широкий диапазон параметров, так как возможны испытания образцов средств связи различных типов.

Типы средств связи классифицируются по ряду признаков. По способу применения абонентские станции могут быть следующих типов: возимые, носимые, портативные, стационарные. Деление по классам в зависимости от мощности передатчика представлено в табл. 1.

Многодиапазонная абонентская радиостанция может иметь любую комбинацию классов мощности из диапазонов, приведенных в табл. 1.

Доступ к сети подвижной связи определяется диапазоном используемых частот и методом кодирования речи.

Таблица 1.

Класс мощности	Номинальная максимальная выходная мощность	
	GSM 900	GSM1800
1	-	1 Вт (30 дБм)
2	8 Вт (39 дБм)	0,25 Вт (24 дБм)
3	5 Вт (37 дБм)	4 Вт (36 дБм)
4	2 Вт (33 дБм)	-
5	0,8 Вт (29 дБм)	-

По рабочему диапазону частот можно выполнить следующую классификацию:

- радиостанции, работающие в стандартном диапазоне GSM (P-GSM);
- радиостанции, работающие в расширенном диапазоне GSM (E-GSM);
- радиостанции, работающие в диапазоне частот GSM 1800 (GSM 1800);
- многодиапазонные радиостанции, работающие в двух и более из вышеперечисленных диапазонов GSM и поддерживающие процедуру передачи управления при переходе из одного диапазона в другой;
- комбинированные радиостанции, работающие как в системах стандарта GSM, так и в системах других стандартов радиосвязи.

Классификация приемников и передатчиков по частотным диапазонам представлена в табл. 2.

Таблица 2.

Стандарты	Приемник	Передатчик
P-GSM 900	935-960 МГц	890-915 МГц
E-GSM 900	925-960 МГц	880-915 МГц
GSM1800	1805-1880 МГц	1710-1785 МГц

Возможны следующие типы абонентских радиостанций (АР) в зависимости от используемого речевого кодека:

- радиостанции с полноскоростным кодированием FR (full rate, версия 1);
- радиостанции с полноскоростным кодированием FR (full rate, версия 1) плюс любая комбинация улучшенного полноскоростного кодирования EFR (full rate, версия 2), полускоростного кодирования HR (half-rate, версия 1) или адаптивного многоскоростного кодирования (AMR)

Частотные планы АР представлены в табл. 3.

Таблица 3.

Стандарт	Режим работы АР	Номер канала	Центральная частота, МГц
P-GSM 900	Передача	$1 \le n \le 124$	Fu(n)= 890+0,2*n
	Прием	$1 \le n \le 124$	Fl(n)= 935+0,2*n
E-GSM 900	Передача	$0 \le n \le 124$ $975 \le n \le 1023$	Fu(n)= 890+0,2*n Fu(n)=890+0,2*(n-1024)
	Прием	$0 \le n \le 124$ $975 \le n \le 1023$	Fl(n)= 935+0,2*n Fl(n)=935+0,2*(n-1024)
GSM 1800	Передача	$512 \le n \le 885$	Fu(n)= 1710,2+0,2*(n-512)
	Прием	$512 \le n \le 885$	Fl(n)=1805,2+0,2*(n-512)

Абонентские станции имеют нормированные значения основных технических параметров. Для приемопередатчика АР нормированы побочные излучения на антенном разъеме. Уровень побочных излучений на антенном выходе АР в активном режиме на частотах, отличных от несущей и вне боковых полос, обусловленных процессом модуляции, не должен превышать указанных в табл. 4.

Таблица 4.

Диапазон частот	Уровень излучений, ДБм	
	GSM.900	GSM1800
100кГц-1 ГГц	-36	-36
1 ГГц-12,75 ГГц	-30	-
1 ГГц-1710 МГц	-	-30
1710 МГц-1785 МГц	-	-36
1785 МГц-12,75 ГГц	-	-30

Уровень побочных излучений на антенном выходе АР в дежурном режиме не должен превышать значений, указанных в табл. 5.

Таблица 5.

Диапазон частот	Уровень излучений, дБм
100 кГц-880 МГц	-57
880 МГц-915 МГц	-59
915 МГц-1000 МГц	-57
1 ГГц-1710 МГц	-47
1710 МГц-1785 МГц	-53
1785 МГц-12,75 ГГц	-47

Уровень излучений через корпус АР в активном режиме на частотах, отличных от несущей и вне боковых полос, обусловленных процессом модуляции, не должен превышать значений, указанных в табл. 6.

Таблица 6.

Диапазон частот	Уровень излучений, дБм	
	GSM 900	GSM1800
30 МГц -1 ГГц	-36	-36
1 ГГц - 4 ГГц	-30	
1 ГГц-1710 МГц		-30
1710 МГц-1785 МГц		-36
1785 МГц-4 ГГц		-30

Уровень излучений через корпус АР в дежурном режиме не должен превышать значений, указанных в табл. 7.

Таблица 7.

Диапазон частот	Уровень излучений, дБм
30 МГц - 880 МГц	-57
880 МГц - 915 МГц	-59
915 МГц -1000 МГц	-57
1 ГГц-1710 МГц	-47
1710 МГц -1785 МГц	-53
1785 МГц - 4 ГГц	-47

К числу основных параметров передатчиков относится ошибка по частоте и по фазе в статическом канале. Ошибка по частоте представляет собой разность между частотой передаваемого АР сигнала и частотой сигнала синхронизации, передаваемого БС, или между частотой передаваемого АР сигнала и номинальной частотой используемого частотного канала (ARFCN).

Ошибка по фазе представляет собой разность между фазой передаваемого АР сигнала и теоретическим значением фазы, соответствующим используемому типу модуляции.

Ошибка по частоте несущей АР относительно частоты сигнала, полученного от БС, или относительного номинального значения частоты ARFCN должна быть не более $0{,}1*10^{-6}$.

Среднеквадратическая ошибка по фазе (разность между траекторией фазовой ошибки и ее линейной регрессией на интервале полезной части слота) для каждого пакета не должна превышать 5 град.

Максимальная пиковая ошибка по фазе на интервале полезной части каждого пакета должна быть не более 20 град.

Следующим нормируемым параметром передатчика является его выходная мощность и синхронизация передаваемого пакета.

Выходной мощностью передатчика принимается среднее значение мощности, подводимой к эквиваленту антенны, или излучаемая АР со встроенной антенной во время передачи полезной части пакета.

Синхронизация передаваемого пакета характеризуется огибающей выходной мощностью во времени. Эталонной точкой, используемой при синхронизации, является точка момента перехода от 13 к 14 биту средней части пакета до разностного декодирования.

Максимальная выходная мощность передатчика АР в соответствии с ее классом мощности, декларированном фирмой-изготовителем, должна находиться в пределах ± 2 дБ при нормальных условиях и ± 2,5 дБ при экстремальных условиях относительно установленного значения.

Одним из главных нормируемых параметров приемника является его чувствительность. Чувствительность приемника оценивается по величине ошибки принимаемого сигнала. При уровнях принимаемых полезных сигналов, указанных в табл. 8, вероятность ошибки не должна превышать предельные значения, указанные в этой таблице.

Таблица 8.

Стандарт		GSM 900	GSM 1900
Уровень принимаемого полезного сигнала		-102 дБм	-102 дБм
Вероятность ошибки в статистических условиях распространения сигнала	TCH/FS(FER)	0,122*α%	0,122*α%
	Class 1b (RBER)	0,41/α%	0,41/α%
	Class 1l (RBER)	2,439%	2,439%

На основе приведенных типов и требований к абонентским радиостанциям можно выявить основные измеряемые параметры этих радиостанций:

- частота приема-передачи;
- мощность АР;
- чувствительность.

К вторичным параметрам АР можно отнести:

- побочные излучения на антенном выходе АР в активном режиме;
- побочные излучения на антенном выходе АР в дежурном режиме;
- излучения через корпус АР в активном режиме;
- излучения через корпус АР в дежурном режиме.

На основе приведенных выше параметров можно составить комплекс измерительных приборов для систем связи. В его состав входят: генератор сигналов, измеритель мощности, анализатор спектра.

Можно сформулировать основные требования к параметрам приборов.

Генератор сигналов должен имитировать стандартный GSM сигнал базовых и переносных станций, переносящий поданную на модулятор известную псевдослучайную последовательность, и так же внутренний опорный генератор с частотой 10 МГц. Частотный диапазон в стандарте GSM 900 для базовых станций 880-915 МГц и GSM 1800: 1710-1785 МГц. Частотный диапазон в стандарте GSM 900 для переносных, подвижных и портативных станций 925-960 МГц и для GSM 1800: 1805-1880 МГц.

Диапазон уровней мощности для имитации сигналов базовых станций от -120 дБм до -40 дБм (симплексный режим) и от -120 дБм до -47дБм (дуплексный режим). Погрешность

установки уровня мощности ±1,5 дБ (GSM 900) и ±1,0 дБ (GSM 1800). Диапазон уровней мощности для имитации сигналов переносных станций от -130 дБм до 12 дБм.

На генератор сигналов так же возлагается измерение коэффициента ошибок (BER) в диапазоне от 0 до 99% с разрешающей способностью не менее 0,001%.

Измеритель мощности должен обеспечивать измерение среднего уровня мощности, измерение среднеквадратичного значения синусоидальных и несинусоидальных сигналов, отображение абсолютного уровня мощности в линейной (Вт) и логарифмической (дБм) шкалах, отображение относительного уровня мощности в дБ. В приборе должна быть предусмотрена автоматическая калибровка.

Частотный диапазон работы должен охватывать весь диапазон используемых частот стандартов GSM 900 и GSM 1800.

Диапазон измерения уровней мощности входного сигнала должен составлять от 0,01 мВт до 50 Вт (при непрерывном режиме) и 125-150 Вт (в пиковом режиме). Погрешность измерения уровня мощности должна быть не более ±1 дБ.

Анализатор спектра должен обеспечивать измерения в диапазоне всех используемых частот стандартов GSM 900 и GSM 1800 с шагом установки частоты 1 кГц. Погрешность измерения частоты не должна быть более ±2% от полосы обзора. Отображаемый диапазон уровня должен быть не менее 70 дБ. Погрешность логарифмической шкалы ±1 дБ во всем видимом диапазоне. Диапазон измеряемых уровней сигнала должен быть от -125дБм до -50 дБм. Допустимая погрешность измерения ошибки частоты должна быть не более ±10 Гц. На основе анализа измеряемых величин и допустимых погрешностей измерения можно осуществить выбор измерительных приборов. Для решения поставленных задач в качестве генератора можно рекомендовать векторный генератор сигнала Rohde&Schwarz SMW-200A (рис. 1). Технические и метрологические характеристики представлены в табл. 9.

Таблица 9.

Параметр	Требование к параметру	Параметр измерительного прибора
Диапазон рабочих частот	GSM 900: 800-1000 МГц GSM 1800: 1700-1900 МГц	100 кГц-3 ГГц
Диапазон установки уровня мощности	От –130 дБм до 12 дБм	От –145 дБм до +30 дБм
Тип модуляции	GMSK	GSM, GMSK
Измерение коэффициента ошибок	BER I и II класс	соответствует
Опорный генератор	Нестабильность ±10Гц Старение $\pm 2 \times 10^{-7}$/год	< ±10Гц $\pm 1 \times 10^{-9}$
Паразитное излучение	Не более -52 дБс	-150 дБс

На рис. 1 показан векторный генератор сигнала SMW-200A.

Рисунок 1.

Рекомендуемый к использованию и наиболее подходящий анализатор спектра и сигналов – Rohde&Schwarz FSW (рис. 2). Параметры данного прибора представлены в табл. 10. На рис. 2 представлен анализатор спектра FSW.

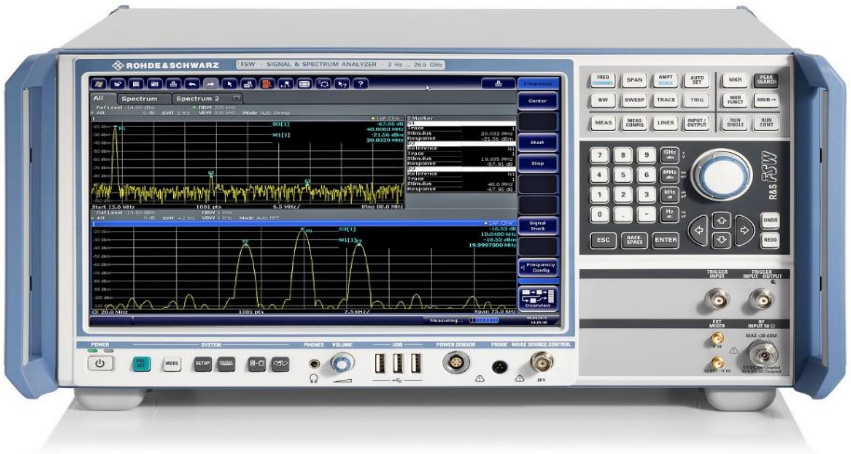


Рисунок 2.

Таблица 10.

Параметр	Требование	Параметр измерительного прибора
Диапазон измеряемых частот, Шаг установки	GSM 900: 800-1000 МГц GSM 1800: 1700-1900 МГц 1 кГц	От 2 Гц до 8 ГГц шаг 0,01 Гц
Нестабильность частоты опорного генератора и старение	±10 Гц (от +5°С до +45°С) Старение $\pm 2 \times 10^{-7}$/год	±10Гц (последняя поверка × старение + температурный уход ($\pm 1 \times 10^{-7}$/год) + точность калибровки) $\pm 1 \times 10^{-7}$/год
Отображаемый диапазон уровня сигнала	не менее 70 дБ	От 1 до 200 дБ
Полоса пропускания	30 кГц-3 МГц	1 Гц-10 МГц
Уровень собственных шумов	Не более -127 дБм	- 156 дБм

Рекомендуемый к использованию измеритель мощности – Rohde&Schwarz NRT-Z44 (рис. 3). Параметры и требования измерителя мощности NRT-Z44 представлены в табл. 11.
На рис. 3 показан измеритель мощности NRT-Z44.

Рисунок 3.

Таблица 11.

Параметр	Требование	Параметр измерительного прибора
Возможности измерителя	По мощности передатчика	Соответствует
Диапазон измерения мощности	от 0,01 мВт до 50 Вт в пиковом режиме 150 Вт не более 1 мин.	от 0,003 нВт до 120 Вт пиковое значение 300 Вт, не более 10 мкс
Измерение мощности излучаемого пакета во времени	По мощности	Соответствует

Приведенные характеристики свидетельствуют о возможности решения задачи технических испытаний системы сотовой радиотелефонной связи стандарта GSM при вводе в эксплуатацию.

Литература

1. ФЗ «Об обеспечении единства измерений» от 28 июня 2008 г. № 102-ФЗ.
2. Федеральный закон № 303-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи принятием Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» (от 7 ноября 2011 г.).
3. ГОСТ Р 8.563–96 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений».
4. ГОСТ Р 8.000–2000 «Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения».
5. РД 45.187-2001 «Абонентские радиостанции систем сотовой подвижной связи стандарта GSM 900/1800».
6. РД 45.301-2002 «Средства измерений электросвязи сетей подвижной связи стандарта GSM 900/1800».
7. РД 45.151-2000 «Программа и методика. Технических испытаний системы сотовой радиотелефонной связи стандарта GSM при приемке и вводе в эксплуатацию законченного строительством объекта связи».
8. Федеральный закон №126-ФЗ «О связи» (от 7 июня 2003 г.).

9. Аджемов А.С., Хромой Б.П., Лохвицкий М.С. Обеспечение единства измерений времени соединения и объёма информации в системах мобильной связи // Экономика и качество систем связи, – 2016. – № 1. – С. 18-23.
10. Хромой Б.П. Метрология и измерения в телекоммуникационных системах (том 2). – М.: ИРИАС, 2008. – 560 с.
11. Аджемов А.С., Хромой Б.П., Лохвицкий М.С. Метрологическое обеспечение перспективных мобильных сетей // в сборнике: «Мобильный бизнес: Перспективы развития и проблемы реализации систем ридиосвязи в России и за рубежом». Сборник материалов XXXV Международной конференции РАЕН. 2014. – С. 26-36.
12. Аджемов А.С., Хромой Б.П. Метрологическое обеспечение оценки качества услуг мобильной связи // в сборнике: «Мобильный бизнес: Перспективы развития и проблемы реализации систем ридиосвязи в России и за рубежом». Сборник материалов XXXIV Международной конференции РАЕН. 2013. – С. 22-33.

СОБЫТИЯ

39-я Международная конференция «Мобильный бизнес: перспективы развития и проблемы реализации систем радиосвязи в России и за рубежом» прошла в мае 2017 г. в г. Раппола (Италия). Конференция организована региональным отделением РАЕН «Экономика и качество систем связи», Общественным научно-техническим советом по проблемам развития подвижной радиосвязи и ЗАО «НИРИТ» при участии специалистов ведущих компаний и институтов отрасли.

В конференции приняли участие члены отделения РАЕН «Экономика и качество систем связи», а также представители ЗАО «Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий», ООО «НИРИТ-СИНВЭЙ ТЕЛЕКОМ ТЕХНОЛОДЖИ», АО «Национальное радиотехническое бюро», ООО «ФлайСвязьКонтакт», ФГУП НИИР, Московского технического института связи и информатики, Центрального экономико-математического института РАН и др.

Перед участниками конференции выступили сопредседатели регионального отделения РАЕН «Экономика и качество систем связи» – Генеральный директор ЗАО «НИРИТ», академик РАЕН, д.т.н., профессор О.А. Шорин и главный инженер проекта ЗАО «НИРИТ», академик РАЕН, к.т.н. А.В. Кудин. Они приветствовали представителей отраслевых организаций, отметили положительные результаты их совместной научно-практической деятельности в развитии широкополосного доступа на основе стандарта McWiLL на российском рынке и за рубежом.

В рамках секции «Вопросы создания и функционирования перспективных технологий подвижной радиосвязи» основное внимание было уделено ряду докладов, посвящённых техническим вопросам эксплуатации сетей UMTS.

А.В. Кудин в своем докладе «Особенности организации цифровой обработки сигналов в сети UMTS» раскрыл проблемы эффективного использования ресурса радиоканала. Он указал на необходимость активных усилий по изысканию вариантов решения указанной проблемы как на уровне межсистемного, так и на уровне внутрисистемного воздействий. Зачастую оказывается, что определенный ресурс радиоканала остается неиспользованным из-за простой причины, состоящей в неэффективной организации обработки. А.В. Кудин отметил, что наибольшую чувствительность к помехам, наводимым соседними частотными каналами проявляют сервисы HSDPA, предполагающие использование модуляции QAM-16 и/или QAM-64. Поэтому при сближении частот такие сервисы будут деградировать в первую очередь. Также на указанных сервисах будут наиболее сильно сказываться ограничения по производительности модуля цифровой обработки, приводящие к необходимости сокращения временного окна воспроизведения формирующего импульса передачи.

Проблеме снижения производительности радиоканала UMTS при уменьшении разноса частот соседних каналов был посвящен доклад Генерального директора ООО «Белитон» М.А. Пегасова. Он доложил о том, что на современном этапе оформились два подхода к организации радиосвязи в сотовых сетях. Первый из них ориентируется на множественный доступ, построенный на базе сигналов с кодовым разделением, а второй – на множественный доступ, построенный на базе сигналов, состоящих из множества поднесущих. Первый подход послужил основой для стандарта UMTS, а второй – для серии стандартов LTE. У каждого из указанных подходов есть свои преимущества и свои недостатки. Сети LTE более чувствительны к ошибкам синхронизации по частоте, требуют более значительных защитных интервалов по частоте, но зато более устойчивы к ошибкам синхронизации по задержке и к условиям многолучевого распространения. Сети UMTS более устойчивы к ошибкам синхронизации по частоте и требуют меньших защитных полос между соседними частотными каналами. Поэтому вопрос о возможном сокращении защитных полос между соседними каналами UMTS важен еще и потому, что он, в определенном смысле, устанавливает потенциальные границы для

современных технологий спектрального уплотнения при спектральном планировании. Далее более подробно были рассмотрены вопросы цифровой обработки на приеме, конкретные аспекты, связанные с нагрузкой в каналах и то, как характеристики защитных полос в условиях одного и двух соседних каналов могут сказываться на предельной пропускной способности выделенного канала UMTS.

Зам. генерального директора Главный инженер ОА «НРТБ», к.т.н. В.Г. Калугин доложил о технических особенностях планирования сети широкополосной радиосвязи MCWILL в диапазоне радиочастот 300 МГц на территории г. Красноярска. Были представлены результаты моделирования зон преимущественного действия базовых станций (outdoor/indoor) сети МАКВИЛ с учетом особенностей рельефа местности и «городской застройки». Также рассмотрено влияние особенностей рельефа местности и «городской застройки» на моделируемую зону распределения плотности потока мощности, создаваемую базовыми сетями с разной высотой антенн. В итоге В.Г. Калугин отметил, что анализ соответствия натурных испытаний, проводимых в г. Красноярске и результатов моделирования в точках измерения показал незначительные отличия (в основном не более, чем на 7дБВт), что свидетельствует об эффективности созданной модели.

Участникам конференции также были представлены доклады по научно-практическим результатам в области метрологии, стандартизации и измерения в инфокоммуникациях, информационной безопасности, экономики и управления, государства и права, образования и педагогики. Доклады подготовлены специалистами телекоммуникационных компаний, представителями научных и научно-исследовательских институтов, а также преподавателями, аспирантами и магистрами ВУЗов.

По завершении конференции проведено очередное заседание Регионального отделения РАЕН «Экономика и качество систем связи», на котором принято итоговое решение об одобрении полученных результатов работы секции и продолжении совместной научно-практической деятельности.