СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XXXII МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ РАЕН

«МОБИЛЬНЫЙ БИЗНЕС: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ»

Конференция была организована региональным отделением Российской Академии Естественных Наук «Экономика и качество систем связи» и ЗАО «НИРИТ».
Место и год издания сборника: Москва 2012.
Место проведения конференции: Доминикана
Начало конференции 19 ноября 2012.
Окончание конференции 21 ноября 2012.

Содержание

Оглавление докладов	с.2-3
СЕКЦИЯ I. ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ NG-1	
Особенности нового стандарта связи McWill (NG-1) *О.А. Шорин, Д.М. Малиничев, Д.А. Резинин*	с.4-7
СЕКЦИЯ II. ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ	
Проектирование и строительство региональных центров формирования мультиплексов сети цифрового телерадиовещания. Проблемы и решения *В.Н. Акимов*	с.8-18
Анализ потерь вызовов в сотовых системах мобильной связи *А.О. Шорин*	с.19-26
Измерение времени и связь *А.С. Аджемов, Б.П. Хромой*	с.27-49
СЕКЦИЯ III. РЕГУЛЯТОРНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ И ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ	
Совершенствование методики взимания платы за использование радиочастотного спектра в РФ *Е.Е. Володина, Е.Е. Девяткин*	с.50-55
Разработка принципов рационального распределения высвобождаемых полос радиочастотного спектра при внедрении цифрового телевидения в Российской Федерации *А.Ю. Плосский*	с.56-61

IV.ОБРАЗОВАНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ	
Опыт проведения курса дистанционного обучения: 1G -4G в мобильной связи *М.С. Лохвицкий*	с.62-64

СЕКЦИЯ I. ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ NG-1

ОСОБЕННОСТИ НОВОГО СТАНДАРТА СВЯЗИ McWILL (NG-1)

О. А. Шорин,
Московский технический университет связи и информатики,
профессор, д.т.н.,
111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8А,
e-mail: oshorin@gmail.com
Д. М. Малиничев,
Московский технический университет связи и информатики,
доцент, к.т.н.,
111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8А,
e-mail:mmm_63@list.ru
Д. А. Резинин,
Московский технический университет связи и информатики,
аспирант,
111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8А,
e-mail:mexxess@gmail.com

УДК 621. 396

Аннотация. Сравниваются три современных стандарта TETRA, McWill, WiMAX. Сравнение проводится как по техническим характеристикам, так и по функциональному назначению. Рассматривается применение стандартов для построения сетей профессиональной связи корпоративных пользователей. Если два последних стандарта являются широкополосными, то стандарт TETRA является узкополосным. По параметрам радиоинтерфейса, по параметрам обслуживаемых абонентов, по функциональному назначению делается вывод, что наилучшим является стандарт McWill.

Ключевые слова: TETRA, McWill, WiMAX, корпоративные сети, мобильный широкополосный доступ, OFDMA, многостанционный доступ с кодовым разделением, динамическое распределение каналов, интеллектуальные антенны.

SPECIFIC FEATURES OF NEW McWILL (NG-1) COMMUNICATION STANDARD

Oleg Shorin,
Moscow technical university of communications and informatics,
professor, doctor of technical sciences,
111024, Moscow, Aviamotornaya St., 8A,
e-mail: oshorin@gmail.com
Dmitry Malinichev,
Moscow technical university of communications and informatics,
associate professor, Ph.D.,
111024, Moscow, Aviamotornaya St., 8A,
e-mail:mmm_63@list.ru
Daniel Rezinin,
Moscow technical university of communications and informatics,

graduate student,
111024, Moscow, Aviamotornaya St., 8A
e-mail:mexxess@gmail.com

Annotation. A comparison is presented of three modern standards: TETRA, McWill, WiMAX. The comparison is carried out both in terms of technical characteristics and functional purpose. Application of these standards is considered for deployment of professional communication networks for corporate users. While the two latter standards are wideband, the TETRA standard is narrowband. Based on the analysis of radio-interface parameters, of serviced subscribers' parameters, and of functional purpose it is concluded that the McWill standard is the most suitable solution.

Keywords: TETRA, McWill, WiMAX, corporate networks, mobile wideband access, OFDMA, code-division multiple access, dynamic channel assignment, smart antennas.

Системы мобильной радиосвязи впервые появились в 30-е годы в США. Они представляли собой системы конвенциональной связи, предназначенные для удовлетворения потребностей силовых структур – армии и полиции. TETRA, WiMAX и McWILL применяются для различных целей. В частности, TETRA (Terrestrial Trunked Radio) — открытый стандарт цифровой транкинговой радиосвязи, разработанный европейским институтом телекоммуникационных стандартов ETSI. WiMAX (World wide Interoperability for Microwave Access) – телекоммуникационная технология, разработанная с целью предоставления универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для широкого спектра устройств, основана на стандарте IEEE 802.16. Технология McWiLL (Multicarrier Wireless Internet Local Loop) базируется на стандартах SCDMA [1] и использует динамическое распределение каналов и смарт-антенны – для увеличения показателей пропускной способности.

Рассматриваемый стандарт использует CS-OFDMA (ортогональный многостанционный доступ с частотным разделением каналов и переменным коэффициентом расширения), адаптивную модуляцию, динамическое предоставление каналов, мягкий хендовер, SDMA (многостанционный доступ с пространственным разделением каналов) и MIMO (использование нескольких приемопередатчиков для связи одного и того же абонента). Система обеспечивает предоставление как услуг передачи данных, так и голосовых услуг пользователям фиксированной и мобильной связи. Благодаря использованию указанных выше передовых технологий McWiLL обеспечивает большое покрытие, высокую эффективность использования спектра (до 15 Мбит/с в полосе 5 МГц), поддержку применений для высокоподвижных объектов.

Главной особенностью новой технологии, отличающей ее от всех известных технологий широкополосного радиодоступа, является радиоинтерфейс CS-OFDMA, который означает ортогональный многостанционный доступ с частотным разделением каналов и переменным коэффициентом расширения. Он представляет собой комбинацию OFDMA и SCDMA и поэтому имеет преимущества как OFDMA, так и SCDMA. Ниже мы покажем преимущества и недостатки технологий OFDMA и SCDMA и эффект взаимодополняющей интеграции OFDMA и CDMA с CS-OFDMA.

При использовании OFDMA полоса частот подразделяется на несколько частотных поднесущих. В системе OFDMA входящий поток данных делится на несколько параллельных подпотоков с более низкой скоростью передачи (что приводит к увеличению длительности символа), а каждый подпоток модулируется и передается на своей ортогональной поднесущей. Увеличение длительности символа повышает устойчивость OFDMA к разбросу задержки.

Основные преимущества сигнала состоят в том, что любой частотный сигнал не создает помех соседним частотным сигналам благодаря ортогональности частот, т.е. отсутствует помеха, возникающая от многолучевого распространения. Однако, поскольку многолучевое распространение вызывает существенные флуктуации спектра OFDMA, мы сталкиваемся с серьезным многолучевым замиранием в сигналах OFDMA. Основным недостатком метода OFDMA является серьезное замирание сигнала. Для преодоления этого недостатка нам приходится использовать методы мощного кодирования типа турбо-кодирования или LDPC-кодирования, которые существенно снижают скорость передачи данных и усложняют реализацию системы. И что более важно, в случае узкополосных применений, например, при голосовой связи, выделяется небольшое количество частотных сигналов и замирание одного или двух таких сигналов может привести к существенному ухудшению рабочих характеристик системы, а кодирование в этом случае может оказаться не столь эффективным. Поскольку в каждой системе OFDMA используется один и тот же набор частот, все соседние соты будут создавать помехи друг другу. По этой причине развертывание в режиме N=1, т.е. использование всех сот, работающих в одной и той же полосе частот для чистой системы OFDMA невозможно.

CDMA означает многостанционный доступ с кодовым разделением каналов. Большинство систем CDMA, в частности стандарта IS-95, 1XRTT, 1XEVDO и WCDMA используют метод CDMA. При использовании CDMA полоса частот делится на несколько широкополосных кодовых каналов. В отличие от системы OFDM канал в системе CDMA является широкополосным и не чувствителен к появлению нулевых значений в спектре частот, в результате чего влияние замирания сигнала становится несущественным. Кроме того, система оказывается более нечувствительной к межсотовой помехе, что дает возможность развертывания сети с коэффициентом повторяемости частот N=1. Тем не менее, во всех указанных выше стандартах CDMA восходящая линия является асинхронной, т.е. сигналы от различных терминалов поступают в различные моменты времени и создаются взаимные помехи, которые снижают размер зоны покрытия, приводя к «дыханию соты», т.е. к снижению покрытия по мере роста числа пользователей.

SCDMA означает синхронную систему CDMA. Поскольку мы может обеспечить синхронный прием всех кодовых последовательностей, то для минимизации помех можно использовать ортогональные коды. Это означает, что CDMA не имеет существенных взаимных помех и не создает условий для «дыхания сот». Однако в присутствии многолучевого распространения принимаемый сигнал будет содержать запаздывающий вариант ортогональных кодовых последовательностей. Такие помехи могут приводить к снижению отношения «сигнал-шум» и пропускной способности системы.

Существуют три существенных преимущества McWiLL системы по сравнению с WiMax: во-первых, McWiLL использует CS-OFDMA, что позволяет снизить межсотовую интерференцию при N=1; во-вторых, существует специальная конструкция в протоколе сигнала в системе McWiLL, в полной мере позволяющая смарт-антенне подавлять внутрисистемные помехи. И, в-третьих, в протоколе McWiLL достаточно просто осуществлять динамическое распределение каналов, чтобы стабилизировать работу системы для предотвращения наихудших сценариев перегрузки по трафику. Известно, что WiMax в основном используется только для широкополосной передачи данных и не поддерживает эффективную голосовую передачу. Универсальность McWiLL определяется тем, что он может поддержать и высокоскоростную передачу данных, и эффективные голосовые услуги.

TETRA и McWILL являются стандартами, позволяющими обеспечить организацию корпоративных сетей с большим перечнем специфических функций, в частности: отдельный звонок, групповой вызов, динамический вызов группы абонентов, уведомление о вызове, конференц-связь, экстренный вызов, очередь вызова, приоритетный вызов, динамическая перегруппировка вызовов, вынужденный вход и выход, отключение функции телефонного соединения для группы, беспроводной VPN, зашифрованный звонок, запрет вызова, санкционированный вызов диспетчера, ожидание вызова, групповое управление, тарификация.

Стандарт McWILL обладает как лучшим быстродействием, так и более высокой скоростью передачи данных по сравнению с TETRA. Другой важной особенностью McWiLL является то, что существует возможность построения систем в различных полосах частот: 340 МГц, 400 МГц, 700 МГц, 1800 МГц, 2.1GHz, 2.5GHz и 3.3GHz и т.д.

McWiLL используется в Китае, Индии, Бразилии – странах BRIKS и странах СНГ. Развертывание сетей предлагаемой технологии в заявленных диапазонах частот позволит решить большой круг задач:

- информатизация социальных объектов;
- обеспечение малоимущей части населения современными и доступными услугами связи (Интернет, телевидение, телефон):
- технологическая реализация проектов типа «безопасный город» или «управление муниципальным транспортом»;
- обеспечение муниципальных служб современной высокоскоростной мобильной связью с возможностью выхода в интернет и передачи видео;
- электронные платежи и все другие современные услуги.

Предложенная технология позволяет достаточно быстро построить технологические сети связи, телеметрии, мониторинга и управления с высокой пропускной способностью для МЧС, МВД, РЖД, Транснефти, Газпрома, Росатома, энергетического комплекса и др.

Литература

1. Рекомендация МСЭ-R M.1801-1 Стандарты радиоинтерфейса для систем широкополосного беспроводного доступа подвижной службы, включая мобильные и кочевые применения, действующих на частотах ниже 6 ГГц.
2. Акимов. В. Н., Аверьянов. Р. С., Шорин А. О. Архитектура протокола радиоинтерфейса NG-1// Материалы XXX конференции РАЕН «Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». – 2011, – С. 75-96.
3. Акимов. В. Н., Шорин А. О., Аверьянов Р. С. Формирование сигнала на канальном уровне в стандарте NG-1// Материалы XXXI конференции РАЕН «Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». – 2012, – С. 4-15.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО РЕГИОНАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬТИПЛЕКСОВ СЕТИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ. ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

В. Н. Акимов,
Московский технический университет связи и информатики,
доцент, к. т.н.,
111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8 А.

УДК 621.396

Аннотация. В работе рассматриваются проблемы, возникающие при проектировании и строительстве региональных центров формирования мультиплексов сети цифрового телерадиовещания. Приводится перечень программ первого мультиплекса как на федеральном, так и на региональном уровнях. Рассматриваются разделы системного проекта. Обсуждаются проблемы строительства антенных систем.

Ключевые слова: федеральная целевая программа, цифровое телевидение, центр формирования мультиплекса, проектно-изыскательские работы, сметы, проектирование и строительство антенн спутниковых систем связи.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF REGIONAL CENTERS FOR DEPLOYMENT OF A MULTIPLEX FOR DIGITAL TV AND RADIO BROADCASTING SERVICE: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Vladimir Akimov,
Moscow technical university of communications and informatics,
associate professor, Ph.D.,
111024, Moscow, Aviamotornaya St., 8A

Annotation. The article describes the problems to be dealt with in designing and constructing the regional centers for deployment of multiplexes for digital TV and radio broad casting service. Programs are listed for the first multiplex used both on the federal and regional level. Sections of the system design are considered. Problems connected with the construction of antenna systems are discussed.

Keywords: Federal special-purpose program, digital television, center for deployment of a multiplex, design and survey works, cost estimates, antenna design and construction for satellite communication systems.

В настоящее время на всей территории РФ развертывание сети цифрового эфирного вещания входит в заключительную стадию реализации Федеральной целевой программы «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009 – 2015 годы», утверждённой постановлением Правительства Российской Федерации от 03.12.2009 г.

На этом этапе реализации осуществляется:

- строительство центра формирования мультиплексов – федеральных пакетов телевизионных и радиопрограмм в г. Москва по адресу ул. Академика Королева, д.15;
- организации спутниковых каналов доставки федеральных цифровых пакетов телевизионных программ из г. Москва до региональных центров. Спутниковый сегмент сети телерадиовещания - спутники серии «Экспресс -АМ»;
- строительство региональных центров формирования мультиплексов;
- строительство станций цифрового наземного вещания.

Согласно распоряжению Правительства РФ от 3 марта 2012 года № 287-р принят стандарт DVB-T2 с формированием зоны обслуживания, обеспечивающей охват населения всех регионов РФ цифровым телевидением и в соответствии с принятым частотным планом сети.

На этом этапе реализации сети цифрового вещания формируется пакет телевизионных и радиопрограмм первого мультиплекса.

Согласно Указу Президента РФ от 24.06.2009 № 715, в первый мультиплекс входят девять федеральных телеканалов и один региональный телеканал, а также три федеральных радиоканала.

Телеканалы:

1. «Первый канал».
2. «Россия-1».
3. «Россия-2».
4. «НТВ».
5. «Пятый канал».
6. «Россия-К».
7. «Россия-24».
8. «Карусель».
9. «Общественное телевидение России» (в проекте с мая 2013 года).
10. «Региональный телеканал».

Радиоканалы:

1. «Радио России».
2. «Радио Маяк».
3. «Вести ФМ».

В дальнейшем, на следующих этапах развертывания сети цифрового наземного вещания будет поставлена задача по обеспечению дополнительных теле- и радиопрограмм, входящих в состав 2 и 3-го мультиплексов.

Исходя из задач, решаемых сетью цифрового вещания, определены функции региональных центров. Региональные центры (как правило, размещаются на территории филиалов ФГУП «РТРС», республиканских, краевых или областных РТПЦ) принимают федеральный пакет телевизионных и радиопрограмм, и телерадиопрограммы от региональных вещателей по каналам связи и формируют региональный пакет телевизионных и радиопрограмм. Региональный пакет телевизионных и радиопрограмм состоит из программ, входящих в принятый федеральный пакет телевизионных и радиопрограмм, региональных блоков телевизионных и радиопрограмм, и материалов региональных рекламных агентств. Далее центр осуществляет передачу его по каналам связи (в основном - спутниковые) на местные узлы и затем на цифровые телевизионные передатчики. Местные узлы цифрового наземного вещания осуществляют вещание по стандарту DVB-T2, при котором формирование

зон обслуживания должно обеспечиваться с заданным уровнем напряженности поля для обеспечения охвата населения в регионе и в соответствии с принятым частотным планом сети.

В функциональной схеме региональных ЦФМ можно выделить пять основных составляющих:

- Система приема федеральных телерадиопрограмм.
- Система автоматического замещения блоков федеральных программ.
- Система приема региональных телерадиопрограмм, компрессии и формирования регионального мультиплекса.
- Система контроля, управления и мониторинга оборудованием центра формирования мультиплексов.
- Система оповещения населения о мероприятиях гражданской обороны и чрезвычайных ситуациях.
- Земная станция спутниковой связи.

Система приема федеральных телерадиопрограмм обеспечивает следующие функции:

- прием и дескремблирование транспортного потока, содержащего пакеты федеральных программ, сигналы управления программным замещением и служебную информацию;
- мониторинг и регистрацию сбоев оборудования системы, передачу данных о зарегистрированных сбоях в систему контроля управления и мониторинга;
- подачу отдельной телерадиопрограммы из федерального мультиплекса каждому региональному вещателю в формате SDI с вложенными сигналами звукового сопровождения для формирования региональной телерадиопрограммы с возможностью включения последней в региональный пакет.

В состав системы входят:

- спутниковые приемники-декодеры (включены по схеме резервирования 1+1);
- T2-MI-инкапсуляторы (осуществляют преобразование из T2-MI в MPEG-TS с выходным ASI интерфейсом);
- мультидескремблеры (включены по схеме резервирования 1+1);
- усилители-декодеры (осуществляют декодирования федеральных программ и подачу их региональным вещателям по интерфейсу SDI, включены по схеме резервирования 4+1). Для выполнения функций резервного переключения по выходу используется SDI-коммутатор.

Система автоматического замещения блоков федеральных программ обеспечивает следующие функции:

- прием от региональных вещательных компаний и региональных рекламных агентств файлов с контентом, предназначенных для реализации замещения, их транскодирование и хранение. Преобразование видеоданных осуществляется в соответствии со стандартом MPEG-4;
- получение и обработку файлов с расписанием выхода и составом регионального контента в формате xml;
- автоматическое замещение заранее подготовленным региональным контентом фрагментов федеральных программ;
- автоматическое замещение фрагментов федеральных программ региональными программами в режиме «прямого эфира»;

- замещение фрагментов федеральных программ региональными программами в ручном режиме;
- сбор данных о фактах замещения и передача их в систему управления и мониторинга.

Система состоит: из мультиплексоров, сервер - сплайсеров, а также серверов, осуществляющих замещение блоков федеральных программ, обработку и хранение регионального контента. А также из подсистемы транскодирования файлов, которая обеспечивает транскодирование различных файлов рекламной вставки в единый формат.

Система приема региональных телерадиопрограмм, компрессии и формирования регионального мультиплекса предназначена для:

- приема, мониторинга и записи телерадиопрограмм, поступающих от региональных вещательных компаний;
- регистрации фактов пропадания и сбоев в принимаемых сигналах;
- передачи данных о зарегистрированных фактах пропадания и сбоев в принимаемых сигналах в систему управления и мониторинга;
- получения от региональных вещательных компаний информации, обеспечивающей работу сервиса электронного программного путеводителя (EPG);
- получения, обработки и передачи данных интерактивных служб;
- формирования пакета программ для организации регионального вещания;
- мониторинга и регистрации сбоев оборудования системы, передачи данных о зарегистрированных сбоях в систему управления и мониторинга.

В состав системы входят:

- коммутатор-переключатель, который обеспечивает резервирование по выходу мультиплексоров и подачу ASI сигнала в сеть распределения первого регионального мультиплекса;
- усилитель-распределитель, обеспечивающий усиление сигнала и распределение на систему мультиплексирования и контроля, управления и мониторинга;
- кодеры видео и звука для кодирования видеосигналов стандартной четкости в соответствии со стандартом – MPEG-4 и звуковых стереосигналов в соответствии со стандартами – MPEG1;
- мультиплексоры формирования транспортного потока в соответствии со стандартом ISO/IEC 13818-1.

Система контроля, управления и мониторинга оборудованием центра формирования мультиплексов предназначена для:

- формирования отчетов о сбоях в выходном транспортном потоке;
- хранения файлов с записанным региональным эфиром;
- просмотра записанного материала;
- обеспечения поиска фрагментов записанного материала вещателям и рекламным агентствам по их запросам;
- дистанционного управления оборудованием;
- дистанционного мониторинга состояний и режимов работы оборудования;
- удаленной настройки параметров оборудования;
- управления режимами работы оборудования при возникновении аварийных ситуаций;
- управления автоматическим переходом на резерв при возникновении аварийной ситуации или по команде оператора;

- обеспечения разграничения доступа к различным функциям системы управления и мониторинга;
- регистрации сбоев оборудования;
- сборов отчетов и статистики.

В состав системы входят:

- сервер (основной и резервный) управления и резервирования для контроля состояния оборудования, который позволяет осуществлять оперативное наблюдение за состоянием всего оборудования, контролировать состояние, изменять параметры и конфигурацию оборудования и осуществлять его ручное и автоматическое резервирование;
- сервер записи для записи регионального эфира, который позволяет записывать до 17 ТВ и 3 радиосигналов с хранением сроком не менее 30 дней;
- мультискремблер для мультидескремблирования регионального транспортного потока перед процессом записи;
- анализатор транспортных потоков для выходного параметрического контроля входных и выходных транспортных потоков, имеющий расширенные возможности анализа цифровых транспортных потоков.

Система оповещения населения о мероприятиях гражданской обороны и чрезвычайных ситуациях предназначена для оповещения в случае возникновения чрезвычайной ситуаций в регионе или стране (наводнение, землетрясение, военные действия и т.д.).

В систему входит:

- специальный сервер, подключенный к входам основного и резервного мультиплексора системы приема региональных телерадиопрограмм, компрессии и формирования регионального мультиплекса. Сервер служит для обработки и записи сигналов оповещения, их хранения и воспроизведения. При возникновении нештатной ситуации оператор включает систему оповещения и подает команду о возникновении чрезвычайной ситуации;
- мультиплексор, осуществляющий замещение сигналов ТВ сигналов сигналами оповещения в выходном транспортном потоке. Сигналы оповещения могут формироваться в режиме «прямого эфира» (например, поступать из регионального штаба ГО и ЧС по каналу связи) или воспроизведение заранее записанные сигналы с сервера. Таким образом, абоненты всегда увидят информацию «ГО и ЧС»;
- коммутатор.

Управление системой оповещения осуществляется с пульта оперативного дежурного Управления ГО и ЧС по региону.

Земная станция спутниковой связи

Земная станция спутниковой связи (ЗССС) предназначена для:

- приема 1-го мультиплекса с основного и резервного ИСЗ;
- организации доставки на основной и резервный ИСЗ регионального пакета федеральных программ, сформированного в региональном ЦФМ.

ЗССС, как правило, размещается на территории филиалов ФГУП «РТРС». Выбор места расположения ЗССС обусловлен возможностью обеспечения видимости геостационарного спутника серии «Экспресс – АМ» данной зоны, а также близости расположения ЦФМ.

Выбор ИСЗ для распространения (доставки) регионального пакета определен системным проектом, а также письмом ФГУП «Космическая связь» №16-04-15/3077 от 30.08.2010 г. о выделении полос частот на ИСЗ для реализации фрагментов сети зонального распространения первого мультиплекса и обусловлен оптимальной зоной покрытия спутника.

ЗССС имеет в своем составе приемные (основная и резервная) антенны диаметром 2,4 м и передающую 4,8 м антенну.

Для организации связи предусматривается использование диапазона частот C-Band. Класс излучения в соответствии с Регламентом радиосвязи 12M1G7W, соответствующая ширина полосы излучения на уровне минус 30 дБ – 16,3 МГц.

Заключение по электромагнитной совместимости (ЭМС) в месте строительства ЗССС выполнено ФГУП «ГРЧЦ».

Энергетический расчет радиолинии выполнен на основе данных представленных ФГУП «Космическая связь» с использованием программного обеспечения SatMaster+. Параметры ЗССС выбираются на основе системного проекта, данных по ИСЗ, представленных ФГУП «Космическая связь» и энергетических расчетов радиолиний.

В состав ЗССС входят передающая и приемная часть.

Состав передающей части: резервированный 1:1 комплект модуляторов, резервированный 1:1 комплект усилителей мощности С-диапазона, антенно-волноводный тракт, грозозащита, приемопередающая антенная система (параболическая двухзеркальная Кассегрена) С-диапазона с системой позиционирования и обогрева.

Состав приемной части: антенные облучатели С-диапазона, конверторы (3,4 – 4,2 ГГц/950 – 1750 МГц), антенно-волноводный тракт, грозозащита, переходная панель на делители сигнала, которые обеспечивают подачу сигналов на основной и резервный комплект приемного спутникового оборудования.

Схема организации связи с использованием спутникового сегмента сети телерадиовещания на ИСЗ серии «Экспресс - АМ» представлена на рис. 1.

Требование к размещению и условиям функционирования ЦФМ

Оборудование центра формирования мультиплексов размещается, как правило, в существующих помещениях филиалов ФГУП «РТРС» в соответствии с функциональным назначением. Системным проектом предусмотрено два помещения, одно для размещения технологических стоек с оборудованием кодирования и мультиплексирования – аппаратный комплекс (АК-1), второе для размещения рабочей смены системы мониторинга и управления – аппаратная мониторинга и управления (АМУ-1).

Антенны земной станции спутниковой связи, как правило, размещаются на металлоконструкциях, устанавливаемых на железобетонном фундаменте. Предусмотрена молниезащита и заземление антенного поста (АП) и проектируемого оборудования к существующему контуру заземления инженерных сооружений РТПЦ. Максимально допустимое расстояние от выхода модулятора, устанавливаемого в помещении АК до входа усилителя мощности, устанавливаемого на АП – 70 м.

Необходимая площадь АК – 40 м^2 (с учетом расширения до 3 мультиплексов), АМУ – 10 м^2 на одного оператора. Рекомендуемое количество операторов – 3.

По степени надежности электроснабжения потребители электроэнергии центра формирования мультиплексов относятся к потребителям I категории. Для этого предусмотрено электроснабжение технологического оборудования минимум от 2-х отдельных фидеров

электропитания с установкой АВР. Напряжение питающей сети 380/220В, 50Гц. Потребление основного технологического оборудование АК – 30 кВт, АМУ-1 – 10 кВт (с учетом расширения до 3 мультиплексов). При наличии передающей спутниковой антенны необходима дополнительная мощность 20 кВт (для обеспечения системы обогрева и привода).

Гарантированное электроснабжение оборудования центра формирования мультиплексов обеспечивается установкой источника бесперебойного электропитания соответствующей мощностью.

Для обеспечения климатических условий функционирования ЦФМ необходима круглосуточная и круглогодичная работа систем кондиционированию и вентиляции для обеспечения следующих условий работы:

- температура летом - +17° С - +24° С;
- температура зимой - +17° С - +24° С.

ЗАО «НИРИТ» участвует в проектировании и строительстве региональных центров формирования мультиплексов (ЦФМ) с 2010 г. В настоящий момент из 65 региональных ЦФМ институтом спроектирован 31 центр, причем более половины уже построено.

К особенностям проектирования следует отнести следующие: во-первых, региональные центры относятся к объектам капитального строительства, поэтому проектная документация должна отвечать и требованиям Постановления Правительства РФ № 87 «Положению о составе разделов проектной документации и требования к их содержанию», и требованиям связь экспертизы. Во-вторых, строительство объекта связи финансируется из бюджета, и, следовательно, проводится государственная экспертиза смет.

Данные особенности и требования ТЗ заказчика определили следующий состав проектной документации (рис. 1):

Раздел 1. Пояснительная записка.

Раздел 4. Конструктивные и объемно-планировочные решения.

Раздел 5. Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений:

Подраздел «Системы электроснабжения»

Подраздел «Технологические решения»

Раздел 6. Проект организации строительства

Раздел 8. Перечень мероприятий по охране окружающей среды

Раздел 11. Смета на строительство объектов капитального строительства.

Кратко о содержании проекта.

Раздел 1 «Пояснительная записка». В общей части приведено основание разработки проектной документации, исходные данные на проектирование и данные предпроектного обследования, необходимые сведения о объекте капитального строительства. Приведены технико-экономические показатели проектируемого объекта, объем проектной проработки и соответствие проекта требованиям охраны труда, промсанитарии и техники безопасности, а также техническому заданию, инструкциям, техническим условиям, а также требованиям электро-, пожаро-, и взрывобезопасности.

В технологической части кратко описаны принятые в проекте основные технологические решения, реализующие все функции региональных центров и представленные во всех разделах проекта. Приведены мероприятия по охране окружающей

среды, техники безопасности и охрана труда, а также рекомендации по организации труда и управлению производством.

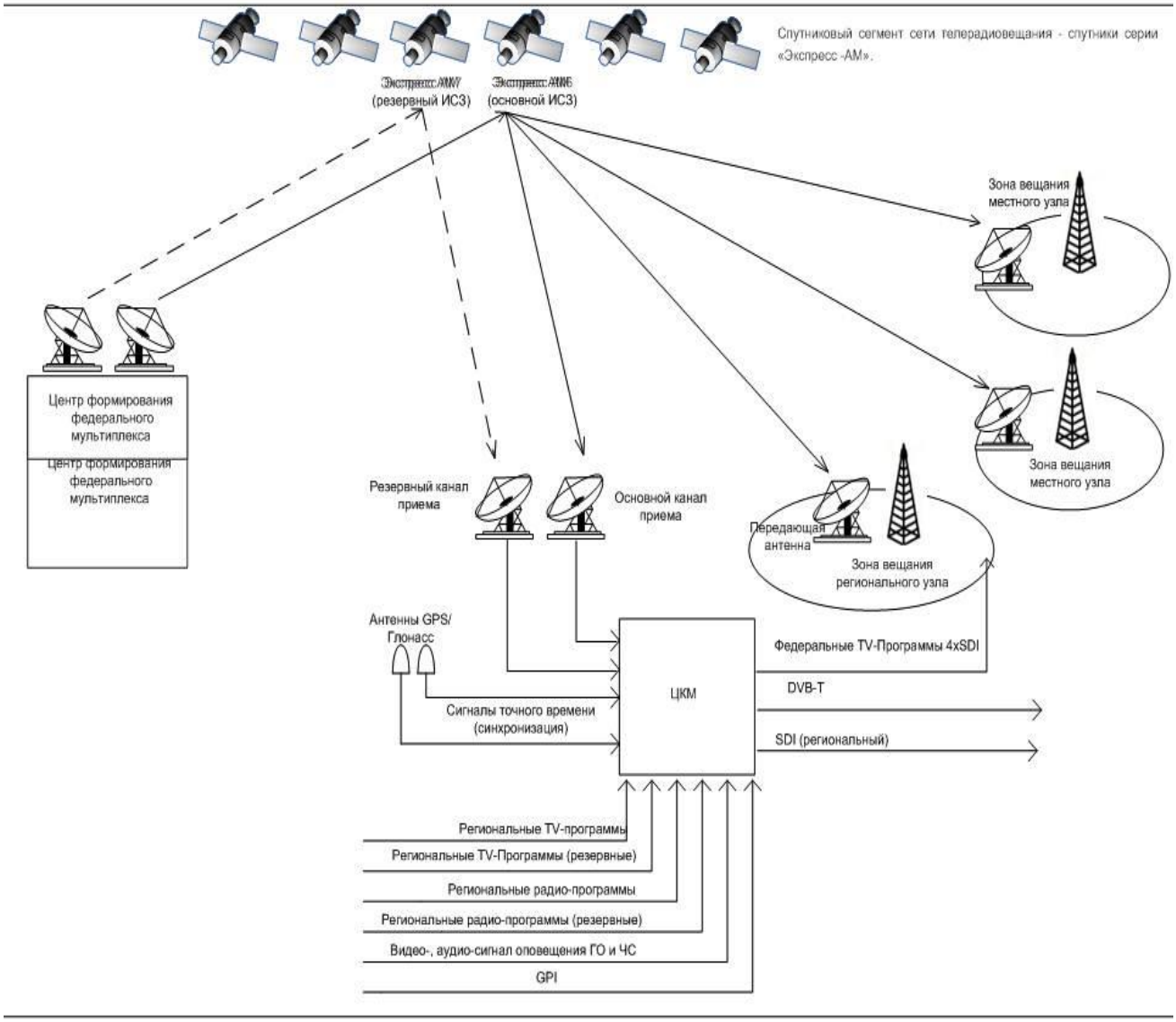

Рисунок 1.

В приложении к пояснительной записки представлены копии правоустанавливающих документов на землю, здания и сооружения и прочие документы, оформленные в установленном порядке, в объеме и соответствии с требованиями Постановления Правительства РФ № 87.

Раздел 4 «Конструктивные и объемно-планировочные решения». В разделе даны проектные решения (рабочие проекты) железобетонных фундаментов, металлоконструкций антенных постов и кабельных мостов, конструкции молниезащиты и заземления антенного поста. В случае отсутствия помещений под оборудование ЦФМ, даются типовые и оригинальные решения по временно-возводимым зданиям (контейнерам).

Раздел 5 «Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений». В подразделе «Системы электроснабжения» разрабатываются технические решения по обеспечению электроснабжению оборудования ЦФМ, необходимому

электрооборудованию, схемы электропроводки и заземления. Приведены мероприятия по охране труда и технике безопасности. Разработаны: схемы электрических щитов питания, план расположения оборудования и кабельных трасс в аппаратной и вне аппаратной, планы прокладки лотков, схема заземления оборудования. Приведен кабельный журнал и спецификация оборудования, изделий и материалов.

В подразделе «Технологические решения» приводятся основные технологические решения и функциональная схема комплекса ЦФМ (разработка ООО «НПО СвязьПроект»), разрабатывается состав оборудования, планы его расположения и прокладки кабельных трасс, разрабатываются технологические и технические решения по земной станции спутниковой связи, приводится спецификация материалов и оборудования и кабельный журнал.

Раздел 6 «Проект организации строительства». В общих положениях приводится характеристика района строительства и условий строительства, особенностей проведения работ в условиях действующего предприятия. Обосновывается необходимость применения коэффициентов в соответствии с приводимой нормативной документацией на производство монтажных работ в существующих зданиях и сооружениях, производство монтажных работ на открытых и полуоткрытых производственных площадках в стесненных условиях, учета зоны падения гололёда и пр.

Обосновывается состав и количество комплексной монтажной и строительной бригад. Разрабатывается перечень мероприятий и проектных решений по определению технических средств и методов работы, обеспечивающих выполнение нормативных требований охраны труда и охраны окружающей среды.

Приводится стройгенплан и площадки для машин и механизмов, расположение ограждений. Разрабатывается календарный план работ.

Раздел 8 «Перечень мероприятий по охране окружающей среды». В разделе приводится краткая характеристика природно-климатических и физико-географических условий района строительство объекта, дается общая оценка экологической ситуации в районе строительства объекта и влияние на него объекта строительства.

В целях защиты населения от воздействия электромагнитных полей ЭМП, создаваемых ПРТО, рассчитывается санитарно-защитная зона (СЗЗ) и зона ограничения застройки (ЗОЗ) с учетом существующих ПРТО и перспективного развития объекта связи.

Раздел 11 «Смета на строительство объектов капитального строительства». В общих данных приводится перечень сборников и каталогов сметных нормативов, применяемых для составления сметной документации на строительство. Дается обоснование особенностей определения сметной стоимости строительных работ для объекта капитального строительства и другие сведения о порядке определения сметной стоимости, характерные для данного объекта. Проводятся локальные сметные расчеты по работам (монтаж и настройка оборудования, строительные и пусконаладочные работы, приобретение оборудования), объектный и сводный сметный расчеты.

Сроки этапов проектирования и строительства региональных центров формирования мультиплексов приведены ниже:

- предпроектное обследование – 3 - 7 дней на один объект;
- проектирования – от двух недель до двух месяцев;
- гос. экспертиза – месяц;
- строительство ЦФМ с ЗССС – три месяца.

На приведенных ниже фотографиях (рис.2) показаны примеры реализованных проектов строительства антенных постов в г. Краснодаре и г. Петропавловске.

Краснодар. Передающая антенна ACSignal 4,8 м

Петрозаводск. Передающая антенна ACSignal 4,8 м, приемные антенны Supral 2.4

Рисунок 2.

Литература

1. Федеральная целевая программа «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009 – 2015 годы», утверждённая Постановлением Правительства Российской Федерации от 03.12.2009 г.

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ВЫЗОВОВ В СОТОВЫХ СИСТЕМАХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

А. О. Шорин,
Московский технический университет связи и информатики,
аспирант,
111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8 А,
e-mail: as@nirit.org

УДК 621.396

Аннотация. В работе рассматривается имитационная модель системы мобильной связи, позволяющая смоделировать на основе «фишек Петри» реальный процесс установления/потери соединения. Модель позволяет учесть не только процесс поступления требований и дисциплину обслуживания, но также потери соединений за счет входа/выхода абонента из зоны обслуживания и попадания в зону «радиотени». Таким образом, моделируются три разноскоростных пуассоновских потока. Результаты моделирования показали хорошее совпадение с аналитическими формулами, полученными в цитируемых работах.

Ключевые слова: пуассоновский поток требований, «фишки Петри», дисциплина обслуживания, имитационная модель, зона «радиотени», обрывы соединений, разноскоростные пуассоновские потоки.

ANALYSIS OF LOST CALLS IN CELLULAR MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS

Alexander Shorin,
Moscow technical university of communications and informatics,
graduate student,
111024, Moscow, Aviamotornaya St., 8A,
e-mail: as@nirit.org

Annotation. The article describes a simulation model for mobile communication system that makes it possible to simulate a real process of connection setup/loss based on the “Petri tokens”. The simulation model provides the tracking not only of the demand arrival process and processing discipline but also of the connection loss due to subscriber entering/leaving the service area and getting into the radio shadow area. In such a way, three variable-speed Poisson streams are stimulated. The simulation results demonstrated a good agreement with analytical formulas achieved in the bibliography.

Keywords: poisson stream of demands, «Petri tokens», processing discipline, simulation model, radio shadow area, connection losses, variable-speed Poisson streams.

В сотовых системах связи одним из важнейших является вопрос поддержания в период функционирования системы заданных параметров качества обслуживания (QoS). Одним из таких параметров является вероятность отказа в предоставлении канала. В отличии от стационарных систем сотовые системы связи формируют отказ абоненту в предоставлении канала не только по причине занятости всех возможных каналов, но и по причине обрыва

соединения, возникающего по двум причинам: выхода абонента из зоны обслуживания и попадания абонента в зону «радио-тени» или замирания сигнала. Учет всех этих факторов проведен в работе [2], в которой составлено уравнение баланса фаз в случае, когда все процессы в системе описываются простейшими потоками требований с различными параметрами и получено его приближенное решение в виде:

$$P_{i,k} \approx e^{-\rho^{м}} \frac{\left(\rho^{м}\right)^{i}}{i!} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu^{*}}\right)^{k}\left(1+\frac{\omega}{\nu}\right)^{k} C_{i}^{k}}{\sum_{m=0}^{N}\left(\frac{\lambda}{\mu^{*}}\right)^{m}\left(1+\frac{\omega}{\nu}\right)^{m} C_{i}^{m}}, \; k = 0,1,2, \ldots, N, \; (i > N). \qquad (1)$$

В формуле приняты следующие обозначения: $P_{i,n_a,j}$ – вероятность нахождения в соте i абонентов из них- n_a – активных, j – находятся в зоне тени, λ – интенсивность требований на занятие канала, μ – интенсивность обслуживания поступивших требований, λ^m – интенсивность входа абонентов в зону (соту) обслуживания, μ^m – интенсивность выхода абонентов из зоны обслуживания, N – число каналов, $\omega \cdot n_a$ – интенсивность завершения соединений по причине попадания в зону «радио-тени», $\nu \cdot j$ – интенсивность восстановления потерянных соединений.

Алгоритм и программа созданы для моделирования процессов появления в зоне/ухода из соты мобильных абонентов, периодического занятия ими ресурсов связи, поддерживаемых сотой, а также возможного их попадания в области радио-тени, вследствие чего может происходить преждевременный разрыв с последующей потерей радио-соединений.

Следует отметить, что ряд указанных процессов имеют существенно различающиеся скорости протекания. В результате, установление устойчивых состояний происходит за интервалы времени, различающиеся на несколько порядков. Это заметно осложняет процесс моделирования, так как попытка выделить элементарный квант времени, ориентируясь на самый быстрый из процессов (поток входящих абонентов в зону ~ 10 – 30 единиц/с), приводит к огромным выборкам, необходимым для сбора представительных данных о статистических параметрах медленных процессов («дыхание» количества абонентов в соте, определяемое средним временем пребывания отдельного абонента в ней ~ (1-2) *103 секунд для пешего потока в макро-соте).

На рис.1 показан процесс появления отдельного абонента в соте, возможные акты занятия/освобождения им канала связи, попадание в зону «радио-тени» с потерей соединения и, наконец, выход из зоны (соты).

Состояния отдельного абонента могут быть следующими:

1. Абонент вне соты (состояние «0»).
2. Абонент входит в зону сервирования соты (состояние «1»).
3. Абонент устанавливает соединение в данной соте (состояние «2»).
4. Абонент попадает в зону радио-тени и теряет активное соединение, после чего канал еще какое-то время остается закрепленным за данным абонентом. Этот период будем называть состоянием «3».

5. В период, пока потерянный в зоне радио-тени канал еще не возвращен в число доступных для использования, абонент, связанный с ним, может выйти из соты.

Состояние с момента выхода абонента до момента освобождения потерянного канала, будем называть состоянием 4. Фактически состояние 4 выделяется из состояния 3 по признаку того, что абонент, поддерживающий потерянное соединение уже вышел из соты.

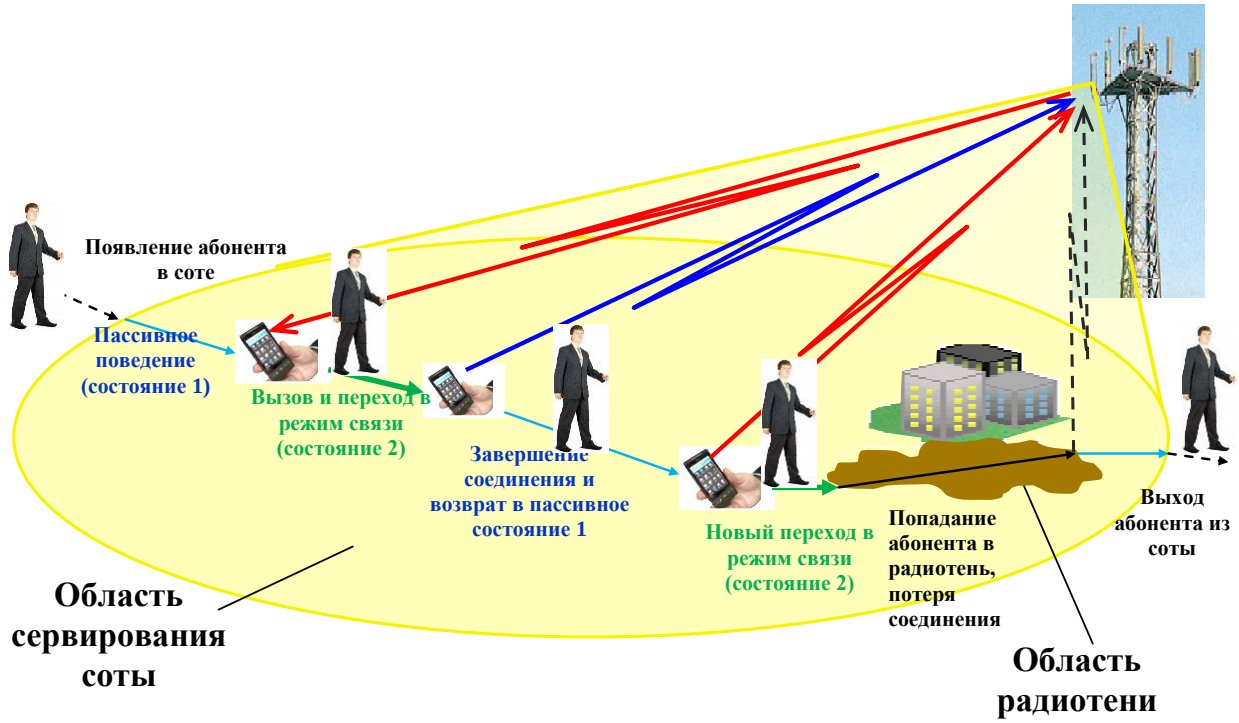

Рисунок 1.

На рис. 2 показан граф возможных переходов между состояниями абонента. Только состояние 4 связано с абонентом не непосредственно, а опосредованно, так как фактически в нем сам абонент уже отсутствует в соте, а остается только неосвобожденный от его соединения канал.

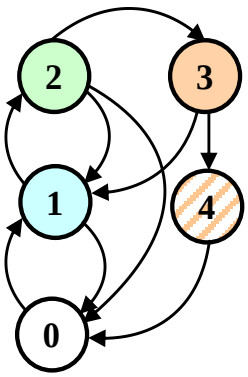

Рисунок 2.

Каждый из возможных переходов на конечном интервале времени происходит с некоторой вероятностью. Для моделирования подобных процессов используется довольно

очевидная техника с названием «сети Петри». Она состоит в том, что в программе создается довольно объемный массив, каждый элемент которого называют «фишкой сети Петри». Все фишки первоначально считают находящимися в состоянии «0». Каждому элементу массива приписывают ряд параметров:

1. Само текущее состояние.
2. Сопутствующие ему характеристики (например, момент перехода фишки в данное состояние, длительность пребывания в нем или момент выхода из него, из какого состояния осуществился вход, в какое состояние выполнится выход и т.д.).

В результате, чтобы провести имитацию поведения отдельных абонентов в соте, достаточно задать статистические модели для вероятностей переходов между состояниями, показанными на рис. 2 и смоделировать поведение фишек соответствующей сети Петри. При этом, сняв необходимые статистические характеристики поведения множества фишек, можно получить интересующие показатели для поведения абонентов в соте.

Базовым элементом программы является моделирование цепочек переходов отдельных фишек (абонентов). Для экономии объема задействованной в программе памяти, а также вычислительной производительности для необходимых преобразований в случаях возникновения перегрузок, в программе реализован принцип формирования цепочек переходов в скользящем окне ограниченного размера. Этот подход потребовал использовать более сложный алгоритм управления цепочками состояний с тремя основными операциями:

1) усечения цепочки состояний слева, путем обрезания на каждом шаге моделирования прошлых переходов, которые уже обработаны и внесены в статистические данные;
2) достройки цепочки справа (в направлении будущего), чтобы на текущем интервале моделирования она была полностью сформирована, и можно было собрать данные о нагрузке и числе абонентов;
3) усечения цепочки справа (по отмененным будущим переходам) от точки наблюдения перегрузки, с последующей попыткой достройки ее от указанного момента перегрузки.

Следующим, более высоким уровнем работы программы является сбор и обработка статистических данных. Накопление и обработка статистических данных, относящихся к нагрузке и числу абонентов в зоне соты, осуществляется на каждом элементарном такте моделирования. Основная идея, положенная в основу такой обработки, состоит в формировании упорядоченного множества моментов, в которые происходит либо изменение состояния какого-нибудь соединения/абонента, либо вход/выход абонента в/из соты. Между такими моментами состояние системы с описательной точки зрения остается неизменным и поэтому время нахождения в этом состоянии накапливается в соответствующей ячейке счетчиков, отвечающей заданной нагрузке и заданному интервалу числа абонентов соты. Для экспериментальной проверки теоретических расчетов для двумерного распределения нагрузки и числа абонентов в макро-соте формировалась гистограмма для совместного распределения нагрузки и числа абонентов в соте. Число абонентов фиксировалось в диапазонах, так как для достоверного формирования оценки плотности в условиях отдельных значений числа абонентов требует выборок огромных объемов, что недоступно для современных персональных вычислительных средств. Параметры моделирования были следующими (рис. 3):

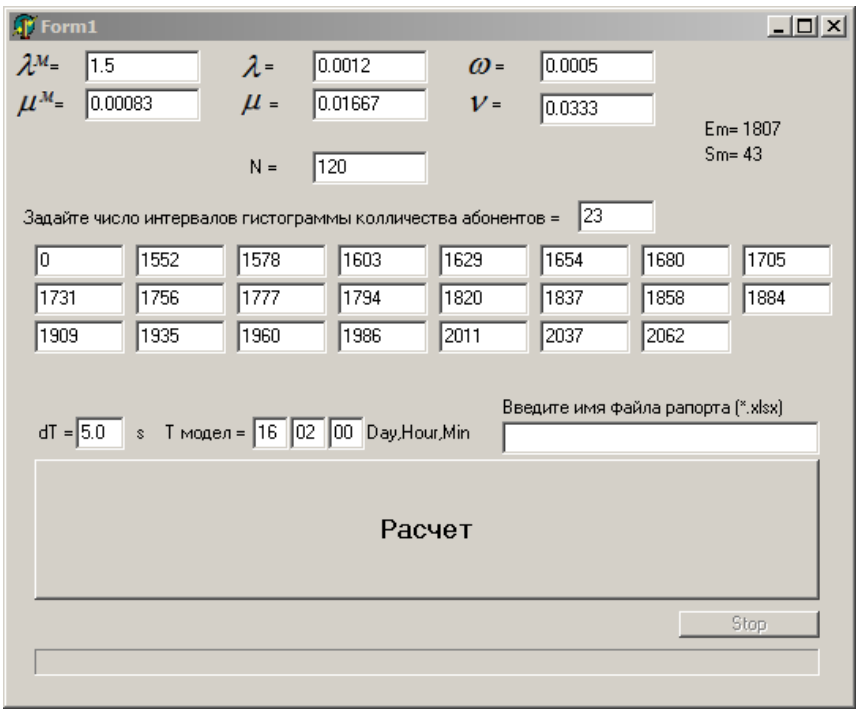

Рисунок 3.

Параметры на рис. 3 полностью соответствуют обозначениям теоретического материала. Дополнительные характеристики связаны с разработанным алгоритмом моделирования:

1. 23 число интервалов, на которые разбиваем весь диапазон числа возможных абонентов в соте [0; +∞).
2. Множество ячеек, содержащее H0 = 0, H1, …, Hlast- границы интервалов разбиения для числа абонентов в соте. Первая граница всегда = 0, а последний интервал всегда [Hlast; +∞).
3. dT – элементарный интервал времени работы соты, используемый при моделировании изменений нагрузки и числа абонентов в соте.
4. T модел – время сбора статистики, используемое при моделировании работы соты. Измеряется в днях, часах и минутах работы соты (это не то время, которое работает программа моделирования, а то, которое моделируется для соты).

Результаты эксперимента по построению плотностей вероятностей распределения числа абонентов и нагрузки отображены на рис. 4-5, приведены для параметров, которые показаны на рис. 3. Для примера на рис 4-5 представлены результаты моделирования для параметра, ω= 0,00015, который задает удельную интенсивность попадания в зону «радио-тени» на отдельное активное соединение. Сравнение теоретический и экспериментальных результатов определения вероятности отказа в обслуживании приведено на рис. 5.

1) ω = 0,00015

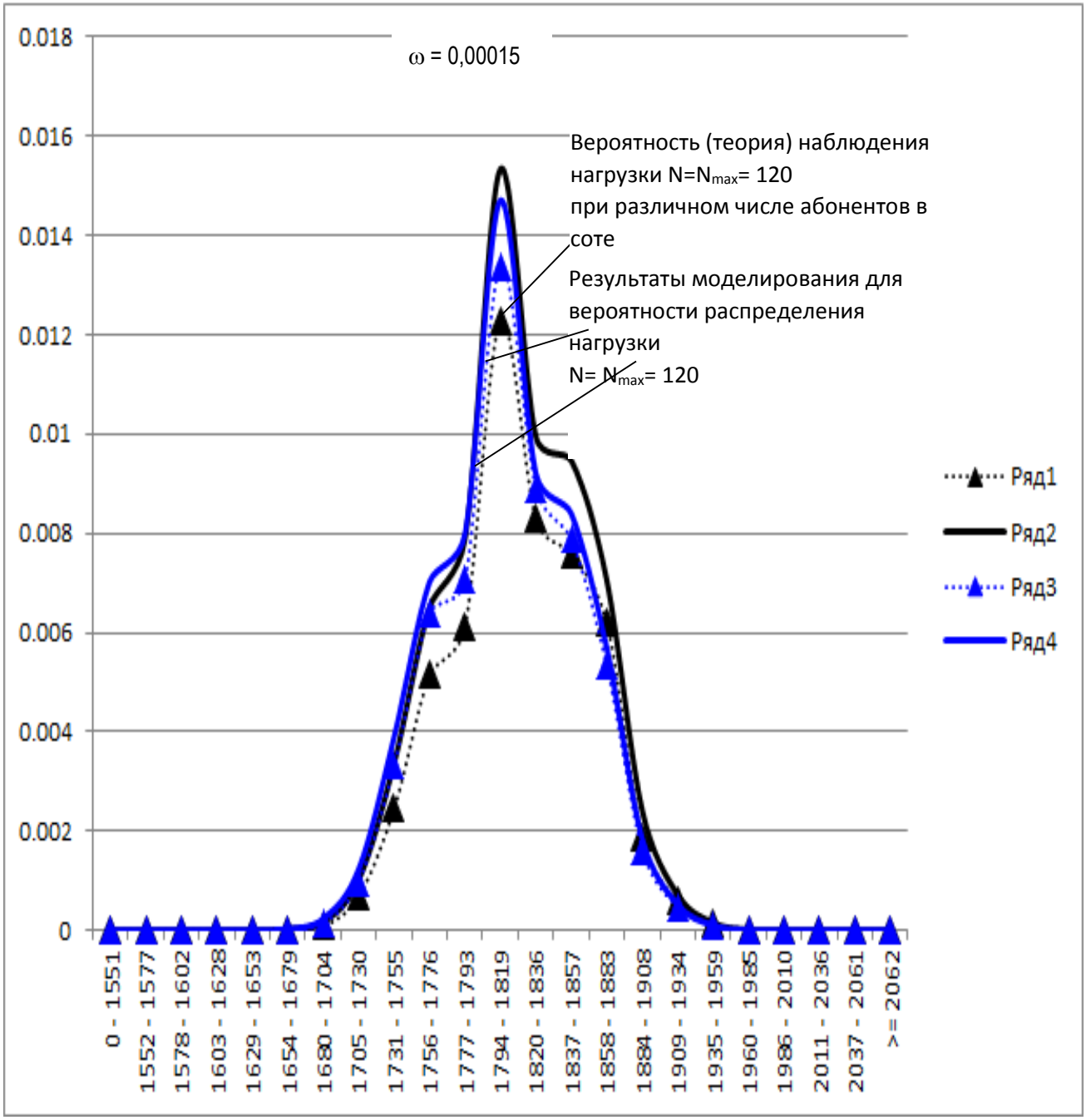
ω = 0,00015
Вероятность (теория) наблюдения нагрузки N=Nmax= 120 при различном числе абонентов в соте
Результаты моделирования для вероятности распределения нагрузки N= Nmax= 120
0.018
0.016
0.014
0.012
0.01
0.008
0.006
0.004
0.002
0
0 - 1551
1552 - 1577
1578 - 1602
1603 - 1628
1629 - 1653
1654 - 1679
1680 - 1704
1705 - 1730
1731 - 1755
1756 - 1776
1777 - 1793
1794 - 1819
1820 - 1836
1837 - 1857
1858 - 1883
1884 - 1908
1909 - 1934
1935 - 1959
1960 - 1985
1986 - 2010
2011 - 2036
2037 - 2061
>= 2062
Ряд1
Ряд2
Ряд3
Ряд4

Рисунок 4.

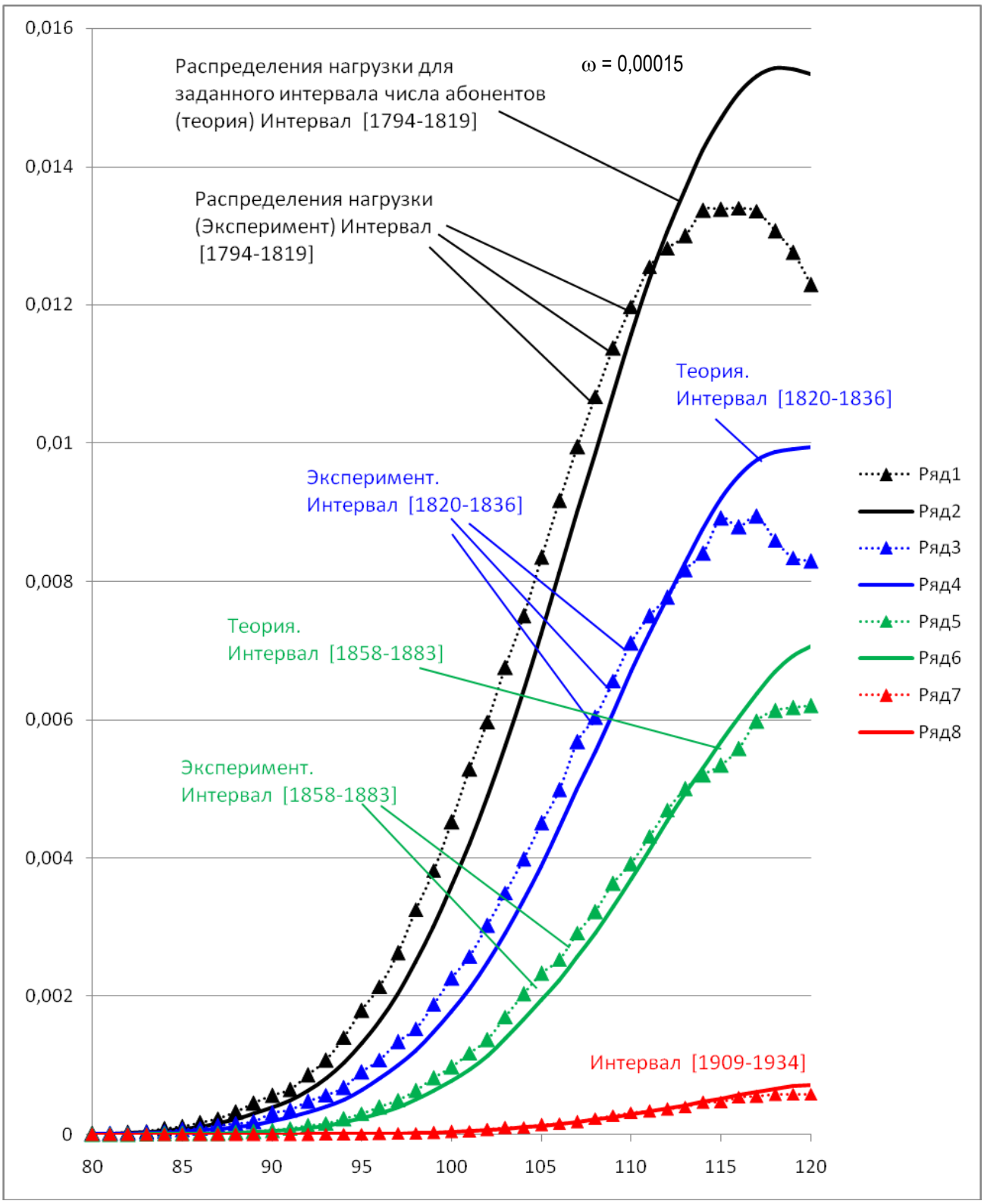
0,016
0,014
0,012
0,01
0,008
0,006
0,004
0,002
0
80
85
90
95
100
105
110
115
120
Распределения нагрузки для заданного интервала числа абонентов (теория) Интервал [1794-1819]
ω = 0,00015
Распределения нагрузки (Эксперимент) Интервал [1794-1819]
Теория. Интервал [1820-1836]
Эксперимент. Интервал [1820-1836]
Теория. Интервал [1858-1883]
Эксперимент. Интервал [1858-1883]
Интервал [1909-1934]
Ряд1
Ряд2
Ряд3
Ряд4
Ряд5
Ряд6
Ряд7
Ряд8

Рисунок 5.

Заключение

1. Разработанный метод моделирования равноскоростных Пуассоновских потоков позволяет за реальное время провести имитационное моделирование и анализ качественных показателей таких систем массового обслуживания как сотовые системы связи, в которых помимо занятости каналов, отказ в обслуживании может произойти из-за замираний сигнала и из-за выхода абонента из зоны обслуживания.
2. Проведенное имитационное моделирование показало хорошее совпадение теоретической формулы расчета потерь и эксперимента, что позволяет сделать вывод о ее применимости в инженерных расчетах.

Литература

1. Кемени Дж., Снелл Дж. Конечные цепи Маркова. – М.: Изд-во Наука, 1970. – 272 с.
2. Шорин О.А., Орехов А.А., Шорин А.О. Качество обслуживания вызовов в сотовых системах связи с учетом замираний // Вестник РАЕН, 2009. – №2. – С. 57-61.

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ И СВЯЗЬ

А. С. Аджемов,
Московский технический университет связи и информатики,
профессор, д. т. н.,
111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8А,
e-mail: mtuci@mtuci.ru
Б. П. Хромой,
Московский технический университет связи и информатики,
профессор, д. т. н.,
111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8А,
e-mail: P_khromoy@rambler.ru

УДК 621.396

Аннотация. Приведена история измерения времени, начиная с работ Аристотеля. Раскрыто значение проблем измерения времени для навигации. Дана характеристика механических часов и хронометров, электрических и атомных часов. Отмечена роль радиосвязи, в частности, спутниковых систем навигации для решения задач навигации и картографии, а также точного измерения времени.

Ключевые слова: измерение времени, навигация, маятниковые часы, хронометр, электрические часы, атомные часы, шкалы времени, передача сигналов точного времени, синхронизация в сетях связи, синхронизация времени через Интернет.

MEASUREMENT OF TIME AND COMMUNICATION

Artem Adjemov,
Moscow technical university of communications and informatics,
professor, doctor of technical sciences,
111024, Moscow, Aviamotornaya St., 8A,
e-mail: mtuci@mtuci.ru
Boris Khromoy,
Moscow technical university of communications and informatics,
professor, doctor of technical sciences,
111024, Moscow, Aviamotornaya St., 8A,
e-mail: P_khromoy@rambler.ru

Annotation. The history of measurement of time, since Aristotle's works is given. Value of problems of measurement of time for navigation is opened. The characteristic of a mechanical clock and chronometers, electric and atomic clock is given. The radio communication role, in particular, of satellite systems of navigation for the solution of problems of navigation and cartography, and also exact measurement of time is noted.

Keywords: measurement of time, navigation, pendulum clock, chronometer, electric clock, atomic clock, time scales, signaling of exact time, synchronization in communication networks, synchronization of time on the Internet.

Человек столкнулся с необходимостью измерений в глубокой древности, на раннем этапе своего общественного развития – в практической жизни: в земледелии, строительстве жилья, дворцов, храмов, в торговле. Людям потребовалось измерять расстояния, площади, объемы, веса, и, разумеется, время.

Д. И. Менделееву принадлежит фраза: "Наука начинается с тех пор, как начинают измерять: точная наука немыслима без меры". Это утверждение подтверждается историей развития науки. Измерения длины, площади и объема, которые были необходимы при строительстве, стимулировали развитие математики. Казалось, что здесь все достаточно просто. Для измерения длины достаточно иметь простой предмет (меру) определенной длины, например, равной длины шага человека среднего роста (годятся локоть, ступня и др.). Далее следует приложить меру к измеряемому предмету и проделать всем известные простейшие операции.

Так же легко измерить площадь. Надо измерить длину и ширину, результаты перемножить. Вот здесь и начинается наука. Во - первых, что значит перемножить. Все знают таблицу умножения, но для десятичной системы счисления. Эта система вошла в употребление сравнительно недавно. А как перемножить два числа в двенадцатеричной системе. На этот вопрос не все дадут убедительный ответ. А ведь двенадцатеричная система использовалась весьма широко. Именно по этой причине, год делится на двенадцать месяцев, на циферблате часов – двенадцать цифр. Используются величины кратные двенадцати, например, 60 сек в минуте, 3600 и т.п. Для выполнения операций сложения, умножения, деления и началась разработка науки, которая получила название «арифметика».

Измерение площади дало толчок появлению такой науки как «геометрия». Площадь прямоугольника определяется произведением длин сторон. А почему произведением? А чему равна площадь равностороннего треугольника, а круга. Все знают, что площадь круга $s = \pi R^2$. А чему равно π, а что такое радиус в квадрате? Вот и появилась наряду с арифметикой наука геометрия (термин греческого происхождения: geometria - ge – земля, metrio – измеряю). В любом учебнике по геометрии используется термин «несоизмеримые отрезки», что подтверждает появление геометрии из потребностей измерений.

История измерения времени

Еще более интересным для развития науки оказалась задача измерения времени. Идея времени воспринимается человеком намного сложнее, чем идея пространства. Универсальные свойства времени - длительность, не повторяемость, необратимость. Необычные свойства времени дали толчок развитию целого раздела философии. Проблема времени обсуждалась в трудах Аристотеля (384 – 322 до н.э.), И. Канта (1724 – 1804 гг.). Эта проблема оставалась актуальной и в более поздние времена. Достаточно упомянуть таких философов, как Ф. Ницше (1844-1900 гг.), П.А. Флоренского (1882-1937 гг.), С.Н. Булгакова (1871 – 1944 гг.), Н.А. Бердяева (1874 – 1948 гг.).

Если от философских проблем определения времени, перейти к задаче измерения времени, то обнаруживаются колоссальное влияние этой задачи на развитие фундаментальных и технических наук. Прежде всего, следует отметить астрономию. Современная астрономия занимается решением разных проблем. На первых этапах её развития основные задачи астрономии заключались в изучении видимых положений и движения светил, с помощью чего осуществлялись высокоточные определения географических координат и времени. Актуальность решения данных задач подтверждается большим количеством известных древних обсерваторий. В период 2000 – 2004 гг. американский спутник «Иконос-2″ сделал снимки тринадцати древнейших обсерваторий Земли. В их число вошли египетский Абу-Симбел, Ангкор-Ват в Камбодже, мексиканские Чичен-Ица, Дзибилчалтун, Майапан,

Теотихуакан и Уксмал, Касса-Ринконада, Пуэбло-Бонито, Ховенвип в США, чилийский остров Пасхи, перуанский Мачу-Пикчу и легендарный Стоунхендж в Великобритании.

Исследователей удивляет необычайно высокий уровень астрономических познаний в глубокой древности, являющихся результатами тончайших и длительных астрономических наблюдений. Так, в древнем Вавилоне могли точно рассчитывать затмения Солнца и расположение планет относительно друг друга. В Шумере время обращения Луны было известно с точностью до 0,4 секунды. Продолжительность года, по их расчетам, составляла 365 дней 6 часов и 11 минут, что отличается от сегодняшних данных всего на 3 минуты. Время обращения Плутона вокруг Солнца составляет, по сегодняшним данным, 90 727 земных суток; в шумерских источниках фигурирует число 90 720.

Астрономы народа майя исчисляли продолжительность лунного месяца с точностью до 0,0004 суток (34 секунды). Время обращения Земли вокруг Солнца у них равнялось 365,242129 суток. С помощью точнейших современных астрономических приборов это число уточнили: 365,242198 суток.

В дальнейшем развитие практической астрономии осуществлялось весьма интенсивно. Первой обсерваторией в современном смысле этого слова был знаменитый музей в Александрии, устроенный Птолемеем II. Ряд таких астрономов как Аристилл, Тимохарис, Гиппарх, Аристарх, Эратосфен, Геминус, Птолемей и другие подняли это учреждение на небывалую высоту. Позднее были созданы обсерватории в Багдаде, Каире, Мараге (Наср-Эддин), Самарканде (Улуг-бег) в Севилье и пр. С начала XVI века в Европе начали возводиться обсерватории в Нюрнберге, в Касселе (1561 г.). В XVI веке знаменитый астроном Тихо Браге всё своё состояние, употребил на постройки и инструменты своей обсерватории Ураниборг на острове Вен, в проливе Эресунн. Первая правительственная обсерватория в Европе – т. н. Круглая башня – была построена в 1637–1656 гг. в Копенгагене. Сама обсерватория помещалась на вершине башни, куда вела винтовая дорога, полого поднимавшаяся внутри стен. Известно, что по этой дороге в 1716 г. Пётр Великий въехал верхом, а Екатерина I в карете, запряжённой шестёркой лошадей.

Парижская обсерватория заложена в 1667 г. и окончена в 1671 г., Гринвичская обсерватория, открыта вслед за Парижской в 1675 г. Далее были открыты обсерватории в городах: Лейдене (1690 г.), Берлине (1711 г.), Болонье (1714 г.), Утрехте (1726 г.), Пизе (1730 г.), Упсале (1739 г.), Стокгольме (1746 г.), Лунде (1753 г.), Милане (1765 г.), Оксфорде (1772 г.), Эдинбурге (1776 г.), Дублине (1783 г.). К концу XVIII века в Европе действовало более 100 обсерваторий, а к началу XX века число их достигло 380.

В России первая астрономическая обсерватория была оборудована в 1692 г. (Холмогоры, близ Архангельска), вторая обсерватория появилась на Руси в 1701 г. в Москве при Навигацкой школе. Первая официальная обсерватория в России основана Петром I, одновременно с академией наук, в 1725 г.

21 июня 1835 г. осуществилась закладка Пулковской обсерватории, а торжественное освящение оконченных зданий – 7 августа 1839 г. Строительство обсерватории было поручено специальной комиссии. Место на вершине Пулковской горы было предложено Николаем I. Проект здания и само его осуществление поручены архитектору А. П. Брюллову, а инструменты одновременно заказаны в Мюнхене Эртелю, Рейхенбаху, Мерцу и Малеру, в Гамбурге – братьям Репсольд. Общая стоимость сооружения достигла 2 100 500 руб.

Все перечисленные сведения, касающиеся древних и современных обсерваторий, свидетельствуют о чрезвычайно высоком интересе, проявляемым к астрономическим

исследованиям во все исторические времена. Возникает вопрос: «А почему?». Объяснений может быть несколько.

В Египте в Мексике жрецам было важно знать время таких важных событий как солнечные и лунные затмения для организации религиозных ритуалов.

Во многих странах урожай сильно зависит от выбора времени для посадки растений. Необходимо было определять время разлива рек (например, Нила в Египте), начало сезона дождей в Мексике и т.п.

Для целей навигации

Перечисленные выше причины повышенного интереса к астрономическим исследованиям имеют практическую основу и все они связаны с измерением времени. Связь с измерением времени очевидна для п.п.1 и 2. Что касается навигации, то её связь с измерением времени не очевидна и об этом пойдет речь в дальнейшем.

Задача навигации с древних времён была связана с мореплаванием. Для рационального и безопасного мореплавания необходимо иметь точную карту и возможность каким-либо путем измерять координаты нахождения судна, т.е. знать широту и долготу. Измерение широты не вызывает трудностей, поскольку для этого достаточно с помощью угломерного прибора измерить максимальный угол положения солнца. Принцип определения долготы был известен еще Гиппарху: разность долгот двух пунктов соответствует разнице местных времен при одновременном наблюдении момента какого-либо одного события в этих пунктах.

Способ этот начал применяться на море в XIII—XV вв., когда научились астрономическими методами определять местное время и появились первые таблицы с предсказаниями моментов начала и конца затмений в различных пунктах Земли. Известно, в частности, что им воспользовался Х. Колумб. Во время второго и четвертого плаваний он определял долготу по лунным затмениям 14 октября 1494 г. и 29 февраля 1504 г. Ошибка в долготе в первом случае была эквивалентна ошибке определения времени 1,5 часа, а во втором – 2,5 часа.

В 1567 г. испанским мореплавателем Менданья де Нейрой были открыты Соломоновы острова, но из-за неточного определения их местоположения они затем на два столетия были “потеряны” и открыты вновь лишь в 1767–1768 гг. экспедицией Бугенвиля.

Иногда на поиски берегов уходили целые недели и даже месяцы и не всегда они венчались успехом. По этой причине капитаны в то время чаще вели корабль не по прямой — самому короткому пути из точки в точку, а ходом шахматного коня. Сначала спускались или поднимались вдоль берега до нужной широты и лишь затем поворачивали на восток или на запад.

В 1514 г. Иоган Вернер из Нюрнберга (1468–1522 гг.) предложил определять долготу по методу “лунных расстояний”, основанному на законах движения Луны по отношению к другим небесным телам. Однако реализовать этот метод в открытом море во времена Вернера было невозможно из-за отсутствия достаточно точных угломерных инструментов и соответствующих астрономических таблиц.

Галилей предлагал использовать для определения долготы затмения четырех спутников Юпитера, которые он обнаружил с помощью изобретенного им телескопа (1610 г.). Они происходили гораздо чаще, чем затмения Луны (от одного до трех почти ежедневно) и длились меньше. Однако и этот способ не нашел распространения из-за незнания точных законов

движения спутников и сложности наблюдений. Телескоп, за который ратовал Галилей, на качающейся палубе был бесполезен.

Таким образом, основные проблемы морской навигации были связаны с измерением времени. Проблема была актуальной, а главное она имела экономическую основу, так как гибель судов приводила к большим потерям.

В 1567 г. испанский король Филипп II назначил вознаграждение тому, кто сможет отыскать простой способ определения долготы в море. В 1598 г. Филипп III повторил обещание о вознаграждении. Солидные суммы предлагали Нидерланды, Португалия и Венеция. Возник ряд проектов. Один из них попал в 1655 г. в руки Гюйгенса. Он быстро понял, что предложенный проект неверен. Но вопрос его заинтересовал, и он занялся конструированием часов. Больше всего, как это видно из писем ученого, его интересовали именно морские часы, которые были бы способны хранить время в течение многих месяцев в любых климатических условиях и при любых движениях корабля.

Первым, идею маятниковых часов, высказал Галилей. Однако довести идею до реальной конструкции удалось лишь Гюйгенсу в 1658 г. Пригодились его работы по теории маятника: в изобретенных им часах пружина создавала силу, приводящую в движение систему колес часов, а маятник обеспечивал равномерность их хода. Работая над часами, Гюйгенс добивался точной изохронности колебаний маятника и создания опорно-анкерного спуска, благодаря которому маятник получает периодические толчки, которые не дают ему остановиться из-за трения и сопротивления воздуха. Под изохронностью понимают независимость периода колебаний от амплитуды колебаний маятника. Это имело важное значение, поскольку нестабильность амплитуды, возникающая при постепенном уменьшении действия заводной пружины, вызывала временные отклонения.

В 1662–1677 гг. “хранители времени” Гюйгенса прошли испытания на море. Часы на судах прикрепляли к столбу и закрывали специальным футляром. Позже, чтобы уменьшить влияние качки, Гюйгенс предложил подвешивать часы в кардановые кольца.

В 1668 г. часы Гюйгенса, выдержав два шторма и морское сражение, позволили определить разность долгот между Тулоном и Критом с ошибкой в 100 километров. Это был несомненный прогресс для того уровня навигации. Однако положительные результаты часто сменяли неудачи. Гюйгенс, тщательно проанализировав результаты всех испытаний, пришел к выводу, что маятник, несмотря на все принятые меры, в условиях корабля “работает” беспорядочно и недостаточно надежен. Даже небольшое изменение длины маятника, например, из-за повышения (понижения) температуры, значительно влияло на точность хода часов. Поэтому в 1674 г. он отказался от него и предложил в качестве регулятора хода использовать балансир – маховое колесо, совершающее с помощью пружины колебательные движения около положения равновесия. Это был значительный шаг вперед. Но прошло еще целых 100 лет, пока удалось изготовить морской хронометр, удовлетворяющий требованиям мореплавателей.

Однако, Гюйгенсу мы обязаны не только приспособлением маятника к часам, но и развитием основ его теории, в частности, определением формулы его движения. Опубликованная в 1673 г. книга ученого “Маятниковые часы” принадлежит к числу самых замечательных трудов по механике, написанных в XVII в. Неслучайно ее ставили в один ряд со знаменитыми “Началами” Ньютона.

Открытие законов маятника позволило не только создать точные измерители времени, но и способствовало целому ряду других открытий и изобретений, в том числе в технике

навигации. Маятник помог установить, что сила тяжести на земной поверхности меняется. В 1672 г. французский астроном Жан Рише обнаружил зависимость хода маятниковых часов от широты. Его наблюдения были опубликованы в 1679 г. Ньютон сумел понять причину изменения хода часов. Он объяснил, что ослабление силы тяжести на экваторе вызвано вращением и сжатием Земли, которое тогда еще не было известно ученым. Таким образом, благодаря маятнику Ньютон, не выходя из кабинета, доказал, что Земля сжата у полюсов и вытянута вдоль экватора, т. е. фигура Земли представляет собой сжатый эллипсоид. Отсюда разность в притяжениях — чем ближе тело, находящееся на поверхности Земли, к ее центру, тем больше притяжение.

Несмотря на успехи в деле совершенствования маятниковых часов проблема навигации оставалась нерешенной. Конец XVII – начало XVIII в. ознаменовались рядом крупных морских катастроф. В 1691 г. у берегов Англии село на мель несколько военных кораблей, принявших в районе Плимута мыс Доуман за мыс Берри-Хид. В 1694 г. из-за ошибки в расчете своего местоположения в Гибралтарском проливе села на мель эскадра Уилера. Ее штурманы ошиблись в счислении, полагая, что, пролив уже пройден.

Наиболее трагичной была гибель ряда кораблей английской эскадры адмирала Клаудисли Шовела, унесшая около 2000 человеческих жизней, в том числе и самого адмирала. В сентябре 1707 г. эскадра из 21 корабля направилась из Средиземного моря к родным берегам. 21 октября она подошла к устью Ла-Манша. В предшествовавшие дни бушевал шторм, солнца не было, уточнить широту моряки не могли, вследствие чего ошиблись в расчете своего места и оказались на камнях вблизи островов Силли.

Гибель большого числа людей и потеря за короткий промежуток времени стольких судов взволновали Англию. Было очевидно, что катастрофы связаны в первую очередь с неточностью карт, некачественными лоциями и главным образом с неумением достаточно точно определять свое местоположение. Проблема долготы обострилась, именно она считалась ключом к обеспечению безопасности плавания.

Вопрос определения долготы стал предметом частых дебатов в английском парламенте, по его решению была создана специальная комиссия, в которую вошли такие выдающиеся ученые, как И. Ньютон, Э. Галлей, Д. Флемстид. Парламент поручил комиссии разработать билль (законопроект), который бы стимулировал работы по обеспечению безопасности плавания и предусматривал крупное вознаграждение человеку или группе лиц, предложивших решение задачи определения долготы на море.

17 июня 1714 г. представленный билль был одобрен парламентом, а 1 августа 1714 г. подписан королевой Англии — Анной. Согласно этому закону автору или авторам, предложившим проект, позволяющий определять долготу с точностью не менее 1° или 60 морских миль, была обещана крупная премия в 10 тысяч фунтов стерлингов; 15 тысяч фунтов стерлингов – если будет обеспечена точность не хуже 40 миль и 20 тысяч – 30 миль (20 тысяч фунтов стерлингов XVII в. эквивалентно почти полумиллиону нынешних). При этом в законе о долготе была сделана существенная оговорка, что предложенный метод должен быть обязательно “проверен и оценен с точки зрения его практичности и полезности на море”. Одновременно с принятием закона комиссия экспертов была преобразована в Совет по изысканию способов определения долготы в море. В него должны были входить, кроме выдающихся ученых, верховный адмирал Великобритании, председатель палаты общин, первый член Совета от военно-морского флота, представитель от министерства торговли, президент королевского общества, королевский астроном и десять членов парламента.

Примеру Англии последовала Франция. В 1716 г. регентом Филиппом, герцогом Орлеанским, за определение долготы был учрежден приз, присуждаемый Французской Академией наук. Принятый закон о долготе и назначенные призы явились хорошим стимулом для активизации работ по обеспечению безопасности плавания. Однако ни одно из поступивших в Совет предложений до 1737 г. полностью одобрено не было.

Премия в соответствии с законом о долготе в общей сумме 22 500 фунтов стерлингов была вручена лишь в середине 70-х гг. XVIII в. восьмидесятилетнему механику Джону Гаррисону, или, как его еще прозвали, Джону Долготе, за создание высокоточных часов-хронометров (от греч. “хронос” – время и “метрос” – измерение), которые позволили, наконец, решить эту проблему веков.

Инженер-кораблестроитель академик А.Н. Крылов как-то раз едко заметил в адрес одного неумеренно восхваляемого учёного, что открытие – это 2% идеи и 98% реализации. Вот и с проблемой определения долготы дело обстояло именно так: все знают, что нужно сделать, но никто не знает, как. Реализация идей определения долготы и была осуществлена Гаррисоном.

Джон Гаррисон, сын сельского плотника из Уэкфильда в Йоркшире, в молодости увлекался часами и добился в этом неплохих результатов – конструкции созданных им часов отличались точным и стабильным ходом. В 1730 г., находясь в Лондоне, он впервые узнал о назначенном парламентом призе и о том, что один из путей решения долготной проблемы лежит в области создания точного “хранителя времени”. Задача показалась ему по силам, и он приступил к работе. Гаррисон начал с решения тех вопросов, которые вставали еще перед Гюйгенсом: надо было снизить до минимума зависимость хода часов от изменения температуры, влажности, качки и хода корабля.

Гаррисон закончил работу над первым хронометром в 1735 г. и представил его в Совет по долготе. Конструкция его была весьма необычна. Маятник заменяли два больших балансирных колеса, которые качались во встречных направлениях, вследствие чего влияние движения корабля на один балансир компенсировалось другим. Сами балансиры, были составными, выполнены из различных материалов для температурной компенсации. Для указания времени были предусмотрены четыре циферблата – для секунд, минут, часов и суток. Хронометр был весьма громоздок и весил более 30 килограммов, хотя многие детали его были изготовлены из дерева.

После испытания хронометра, которые показали неплохие результаты, Гаррисон продолжил работу по его совершенствованию. В 1739 г. был изготовлен второй образец хронометра. Но он мало отличался от первого – был громоздок и тяжел, как и его предшественник (высота около 1,5 метров, а масса почти 50 килограммов). Работа не удовлетворила Гаррисона, но натолкнула на ряд новых идей, и он приступил к изготовлению третьего варианта хронометра, на что ушло 19 лет.

В 1761 г. начались испытания, которые показали высокие качества хронометра. Пока шла подготовка к испытаниям, Гаррисон подготовил четвертый вариант хронометра. Испытания показали хорошие результаты. За 81 день плавания, хронометр накопил ошибку всего 5 секунд. На пути в Англию – ошибка в координатах по прибытии в Портсмут составила всего 16 миль.

Однако окончательное решение по принятию хронометра и выплате вознаграждения в соответствии с биллем от 1714 г., было принято лишь после того как Гаррисон открыл секреты его изготовления, и часовой мастер Леркум Кендэлл сделал с него копию. Эту модель Кендэлла

и три других, изготовленных Дж. Арнольдом, по рекомендации Совета взял в свое второе плавание капитан Дж. Кук. По свидетельству Дж. Кука за время трехлетнего плавания хронометр, изготовленный Кендэллом, зарекомендовал себя великолепно.

Джон Гаррисон скончался 24 марта 1776 г., за восемь месяцев до возвращения Кука из плавания, которое вне всяких сомнений доказало возможность изготовления удовлетворительных по своей точности долготных часов. Часы, сделанные Гаррисоном, являлись опытными образцами и поэтому стоили очень дорого. Эти часы служили образцом для молодых мастеров, конструирующих хронометры, достаточно дешевые, чтобы быть по средствам каждому штурману. В те далекие дни мастер Джон Арнольд, пользовался большим уважением. Вместе со своим сыном Арнольд изготавливал хронометры такого качества, что они в течение 50 лет широко применялись на кораблях всего мира. Проблема долготы таким образом была, наконец, решена.

Во Франции над созданием точного “хранителя времени” работали многие мастера, но больше всего преуспели в этом королевский часовщик Пьер ле Руа (1717—1785 гг.) и Фердинанд Берту (1729—1807 гг.). Их хронометры после многих доработок, наконец, успешно прошли длительные корабельные испытания и показали положительные результаты. В 1773 г. Пьер ле Руа был удостоен за лучшие французские хронометры королевского приза.

Достоинства хронометров, или, как их еще называли, “долготных часов”, были быстро оценены мореплавателями, но внедрялись они на кораблях медленно, так как лишь высококвалифицированные механики могли их изготовить, да и то в небольших количествах. И стоили они очень дорого. Тем не менее, все крупные плавания второй половины XVIII в. совершались уже с хронометрами. Ими пользовались Дж. Кук, Ж. Лаперуз, Д. Антрекасто.

Массовое производство хронометров для навигации было освоено в странах Западной Европы лишь к концу XVIII — началу XIX.

В России были свои выдающиеся мастера по созданию высокоточных часов. Среди них механик Российской академии наук И. П. Кулибин (1735–1818 гг.), Т. И. Волосков (1729–1806 гг.), Л. Ф. Собакин (1746–1818 гг.) и др. Собакин создал астрономические часы, которые по своей сложности не имели равных. Они показывали не только время в часах, минутах и секундах, но также воспроизводили движение Земли вокруг Солнца и Луны вокруг Земли и изменение их расположения относительно неподвижных звезд; движение Солнца по эклиптике с обозначением 12 знаков зодиака, восход и заход Солнца в разных местах; чередование високосных и не високосных годов; изменение фаз Луны, затмения Луны; географические координаты важнейших городов; “вечный” календарь с указанием текущего месяца, количества в нем дней; числа и наименования дня; сведения по политической географии и др. Но это были, конечно, стенные часы большого размера. Морских хронометров русские мастера в то время не изготовляли, и их закупали у иностранных фирм, в основном у английских.

Шесть таких хронометров были установлены на шлюпах “Надежда” и “Нева”, совершивших в 1803–1806 гг. кругосветное плавание под командованием И. Ф. Крузенштерна и Ю. Ф. Лисянского. С помощью хронометров определяли долготу Ф. Ф. Беллинсгаузен и М. П. Лазарев во время экспедиции в Антарктиду в 1820 г. на шлюпах “Восток” и “Мирный”. Так, в своем дневнике М. П. Лазарев отмечал: “Были на Таити для поверения своих хронометров, которые оказались верны, а потому и заключить можем, что открытия наши положены на карты с довольною точностью”.

Закупавшиеся у иностранных фирм хронометры тщательно проверяли в Кронштадтской морской обсерватории, организованной в 1856 г., и затем отправляли их на корабли. Здесь же

проводили исследования по постоянству их хода, чувствительности к изменению температуры, влажности и т. п.

В 1849 г. на Выставке российских мануфактурных изделий в качестве экспоната уже был представлен морской хронометр, изготовленный русским мастером А. Ф. Рогиным. С 1865 г. хронометры начала выпускать расположенная в Петербурге мастерская Августа Эриксона. Изделия этой мастерской получили высокую оценку на ряде промышленных выставок и среди моряков. Они почти вытеснили хронометры, покупаемые за границей. Эта мастерская обслуживала нужды военно-морского флота до 1902 г., когда появилась вторая мастерская Карла Эриксона – однофамильца Августа. Зависимость от импорта с открытием этой мастерской была сведена к минимуму.

Заканчивая историю изобретения и совершенствования морского хронометра следует отметить, что в основу его конструкции, решившей вопросы измерения долготы в морских условиях, был положен не маятниковый, а балансирный механизм, в котором вместо маятника применялось колесо «маховик», колебания которого осуществлялись под воздействием спиральной пружины и анкера. Механизм, основанный на колебаниях подпружиненного тела независимо друг от друга разработали Голландец Христиан Гюйгенс и англичанин Роберт Гук. Точность хода регулируется градусником – рычагом, который выводит из работы некоторую часть спирали. Баланс чувствителен к колебаниям температуры, поэтому колесо и спираль делают из сплавов с небольшим коэффициентом температурного расширения.

Эта конструкция, на которую не влияют внешние механические воздействия, в дальнейшим стала использоваться в широко распространенных наручных часах. Таким образом работы по созданию морского хронометра попутно решили весьма актуальную бытовую проблему и на протяжении многих лет эти часы, производимые многочисленными фирмами в миллионных количествах, были основными «измерителями времени» в быту.

Что касается хронометра Гаррисона, то за прошедшие 250 лет его конструкция мало изменилась (изменилась технология изготовления и применяемые материалы). В настоящее время такой хронометр выпускается Первым Московским часовым заводом под маркой 8МХ.

Электрические часы

Термин электрические часы – относится к часам, в которых электричество используется в качестве источника энергии. Первый прототип электрических часов был продемонстрирован в 1814 г. сэром Францисом Роналдсом. В качестве источника энергии был использован Вольтов столб. Они оказались очень неточными из-за излишней чувствительности к температуре. В 1840 году Александр Бэйн, запатентовал часы с электромагнитным маятником.

В 1880 г. Н. Тесла начал работы по исследованию переменного тока. Можно долго перечислять содержание его многочисленных изобретений, положенных в основу современной энергетики. Применительно к вопросам измерения времени следует отметить изобретенный им электромеханический генератор, и основанные на его принципе работы электрические часы. Им же были начаты работы по исследованию высокочастотных колебаний, положивших начало развитию радиотехники.

Следует отметить, что работы по созданию механических часов и хронометров оказали свое влияние на развитие радиотехники, поскольку разработанная теория колебаний в механических устройствах была применена к электрическому колебательному контуру. Что касается радиотехники, то она повлияла на развитие часов и хронометров в результате

исследования свойств кварца и созданием на его основе высокостабильного кварцевого генератора.

Пьезоэлектрический эффект был впервые открыт братьями Жаком и Пьером Кюри в 1880 г. Поль Ланжевен впервые использовал этот эффект в часовом резонаторе гидролокатора перед первой мировой войной. Первый кристальный резонатор, работающий на сегнетовой соли, был изготовлен в 1917 г. и запатентован в 1918 г. Александром М. Николсоном из компании Bell Telephone Laboratories, хотя это оспаривалось Уолтером Гейтоном Кэди, который изготовил кварцевый резонатор в 1921 г. Некоторые улучшения в кварцевые резонаторы вводились позже Л. Эссеном и Д.В. Пирсом.

Первые стабильные по частоте кварцевые резонаторы были разработаны в 1920–30-х годах. Начиная с 1926 г., кварцевые резонаторы на радиостанциях использовались в качестве задающих несущую частоту элементов. В то же время резко возросло количество компаний, начавших выпускать кварцевые резонаторы; только до 1939 г. в США было выпущено более чем 100 000 ед.

Кварцевые резонаторы начали применяться в генераторах с фиксированной частотой, где необходима высокая стабильность частоты. В частности, в опорных генераторах синтезаторов частот и в радиостанциях для формирования сигнала на промежуточной частоте. Также начали применяются в кварцевых полосовых фильтрах промежуточной частоты супергетеродинных приёмников. Такие фильтры отличаются очень высокой добротностью и стабильностью по сравнению с LC-фильтрами.

Одним из самых популярных видов резонаторов стали резонаторы, применяемые в часовых схемах. Резонансная частота часовых резонаторов 32 768 Гц, поделённая на 15-разрядном двоичном счётчике, даёт интервал времени в 1 секунду.

Первые кварцевые хронометры были построены на ламповых схемах. Начиная с 60-х годов прошлого столетия в ряде стран (Швейцария, Франция, США) велись работы по созданию малогабаритных кварцевых хронометров взамен кварцевых часов, построенных на ламповых схемах. Габариты и вес кварцевых часов удалось довести до таких минимальных размеров, что они стали выполнять функции переносных приборов времени. Особое значение имели успехи, достигнутые в развитии техники микроминиатюризации радиоаппаратуры в полупроводниковой техники, в частности в области новых полупроводниковых приборов на туннельных диодах. На этом фоне немаловажное значение имели открывавшиеся возможности:

а) автономных источников электропитания, обеспечивающих их автономную работу в течение длительного периода (до 1 года и более) и узлов электрической схемы, экономичных по потреблению тока;

б) низкочастотных кварцевых осцилляторов (на частоте 10 кГц и ниже);

в) схем температурной компенсации, где роль термозависящего реактивного элемента выполняет подстроечный конденсатор, ротор которого вращается при деформации биметаллической пластинки или спирали;

г) высокоэкономичных синхронных и шаговых электродвигателей.

Шаговые электродвигатели в часовой технике заменили в электромеханических и электронно-механических приборах времени работу анкерных и храповых спусков для передачи импульсов на стрелку часов или на индикаторное устройство. Эти функции стал выполнять шаговый двигатель. В этом случае исполнительное устройство не имеет кинематической связи с кварцевым осциллятором, и потому последний не расходует

кинетической энергии для приведения в действие исполнительного механизма. Колебания осциллятора становятся более свободными, а ход часов – более точным и стабильным. Вращение выходного вала в этом электродвигателе носит дискретный (шаговый) характер.

Электронный блок кварцевых часов состоит из двух частей. Одна часть, генератор, вырабатывает электрические колебания, которые стабилизируются кварцевым кристаллом на его резонансной частоте. Таким образом, мы имеем генератор электрических колебаний, причем частота этих колебаний очень стабильна. Остается эти равномерные колебания превратить в равномерное же движение стрелок. Генератор вырабатывает 32 768 электрических колебаний в секунду. Это примерно в 10 000 раз больше, чем число колебаний баланса в обыкновенных часах. Ни одно механическое устройство не может работать с такой скоростью. Поэтому другая часть электронной схемы, называемая делителем, преобразует эти колебания в импульсы частотой 1 Герц. Эти импульсы подаются на обмотку шагового электродвигателя.

Двигатель состоит из статора, неподвижно закрепленной на нем катушки с обмоткой и ротора – постоянного магнита, насаженного на ось. При прохождении через катушку электрического импульса возникает магнитное поле, которое поворачивает ротор на пол-оборота. Ротор через систему шестерен вращает стрелки.

Начиная с 60-х годов прошлого века малогабаритные кварцевые хронометры начали выпускаться в разных странах, при том не только радиотехническими фирмами, но и традиционными часовыми фирмами, занятыми изготовлением механических хронометров.

Отметим основное достижение, связанное с внедрением кварцевых хронометров: погрешность в специально спроектированных хронометрах, не превышает 0,3 секунд/месяц. Таким образом, кварцевые хронометры произвели революцию в области навигации, поскольку их точность оказалась на порядок выше точности их механических предшественников при существенно меньшей стоимости. В настоящее время ряд фирм выпускает ручные кварцевые часы.

Применительно к часам, следует, так же отметить низкую стоимость кварцевого резонатора. Так, например, кварцевый резонатор для часов типа 32. 768К-ТС38, разработанный на частоту 32 768 кГц, стоит всего 5 руб.

Все это оказалось возможным благодаря развитию радиотехники, для которой и была создана элементная база, используемая в кварцевых часах.

Атомные часы

Отметки точного времени, связанные с вращением Земли, служили основной единицей практически во всех системах единиц до тех пор, пока не встала проблема определения единицы времени с относительной погрешностью не хуже 10-10. Кроме того, нужен был способ воспроизведения единицы времени, который позволял бы это сделать за промежуток времени, меньший, чем год. По этой причине XII Генеральная конференция по мерам и весам поручила Международному комитету по мерам и весам установить некую молекулярную или атомную частоту, которая должна с 1967 г. стать определением единицы времени в системе СИ. Это означало переход от воспроизведения единицы времени к воспроизведению частоты какого-либо стабильного во времени периодического процесса, поскольку величина обратная частоте – период, имеет размерность времени.

С 1967 г. международная система единиц СИ определяет одну секунду как 9 192 631 770 периодов электромагнитного излучения, возникающего при переходе между двумя

сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133. Согласно этому определению, атом цезия-133 является стандартом для измерений времени и частоты. Точность определения секунды определяет точность определения других основных единиц, таких как, например, вольт или метр, содержащих секунду в своём определении.

Принцип действия атомных часов заключается в формировании с помощью кварцевого резонатора синусоидального колебания с частотой близкой к 9,1926 ГГц. Эти колебания подаются в вакуумную камеру. В вакуумную камеру из нагревателя подается испарившийся металлический цезий. С помощью частотно-фазового компаратора осуществляется сравнение частот генератора и колебаний атомов цезия. При появлении разницы в фазе и частоте колебаний, схема обратной связи подстраивает частоту кварцевого генератора до требуемого значения, повышая тем самым точность частоты генерируемого сигнала и его стабильность.

На основе изложенных выше принципов формирования высокостабильного синусоидального сигнала построен Государственный первичный эталон времени и частоты РФ. Он находится во Всероссийском научно-исследовательском институте физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ), п. Менделеево Московской области. Государственный первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы времени (и частоты) со средним квадратическим отклонением результата измерений, не превышающим (3÷ 5) · 10-15 на интервалах времени (1÷3) месяца.

Многие страны сформировали национальные центры стандартов времени и частоты: Национальный институт стандартов и технологий (NIST), Боулдер (США, Колорадо); Национальный институт передовой промышленной науки и технологии (AIST), Токио (Япония); Федеральное физико-техническое агентство (PTB), Брауншвейг (Германия); Национальная лаборатория метрологии и испытаний (LNE), Париж (Франция).

Достигнутая в настоящее время высокая точность эталонирования времени нужна прежде всего для научных и специальных целей (космическая навигация, радионавигация, связь и др.). Для морской астронавигации требования существенно ниже. Так, для астронавигационных измерений всемирное время достаточно знать с точностью от десятых до сотых долей секунды. Для повседневной деятельности показания судовых морских часов не должны отличаться от точного времени более чем на 0,25 минут.

Подводя итог, можно заключить, что возникшая в связи с морской навигацией проблема точного измерения времени в настоящее время решена. Следует отметить, при реализации атомного эталона времени использовался опыт генерации и подстройки частоты, накопленный в технике связи.

Шкалы времени

Как уже отмечалось, до внедрения атомного эталона времени использовались шкалы времени, основанные на вращении Земли. Общее обозначение этих шкал UT (Universal Time) – всемирное время. Поскольку вращение Земли не стабильно, появляется погрешность. Если требования к допустимой погрешности определяются несколькими сотыми долями секунды, осуществляется уточнение и определяется UTO – среднее солнечное время первого меридиана. UTO не универсально, поскольку зависит от положения обсерватории на поверхности Земли. Его величина определяется из непосредственных астрономических наблюдений. В свою очередь UTO корректируется поправками, связанными с изменением долгот обсерваторий вследствие движения полюсов. Скорректированное таким образом время обозначается как

UT1. В свою очередь UT1 корректируется с учетом эффекта малых сезонных флуктуации в скорости вращения Земли. В этом случае, скорректированное время обозначается как UT2.

Данных какой-нибудь одной службы времени для осуществления коррекций и определения шкалы всемирного времени недостаточно, поскольку эти данные сильно искажены ошибками самих астрономических наблюдений. Поэтому нужно сравнивать материалы различных служб времени, привести их к единой системе и усреднить. В нашей стране эта работа возложена на Всесоюзный научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений.

Наша страна участвует и в работе Международного бюро времени, образованного в 1920 г. в Париже. В начале своей деятельности бюро использовало результаты наблюдений всего восьми служб времени, а в 1976 г. шкала UT1 была определена по материалам наблюдений на 82 астрономических инструментах более 50 служб времени. Шкала всемирного времени РФ практически совпадает со шкалой UT1 Международного бюро времени.

Шкалу времени UT2 можно считать достаточно равномерной на протяжении года или нескольких лет. Но через несколько десятилетий ее равномерность нарушается вследствие медленных вековых и нерегулярных изменений в скорости вращения Земли. Поэтому шкала всемирного времени непригодна для построения теорий движения планет и их спутников. А вычисление траекторий движения планет необходимо при космических исследованиях с помощью летательных аппаратов.

Для определения параметров уравнения движения небесных тел как независимый аргумент вводится эфемеридное время ET (Ephemeris Time). Это – равномерно текущее время ньютоновой механики. Шкала эфемеридного времени задается орбитальным движением тел Солнечной системы. Эфемеридное время определяется из долголетних наблюдений за движением Солнца, Луны и планет, затмений и т.п.

Таким образом из приведенного перечня временных шкал видно, что точное измерение времени на основе определения, параметров вращения Земли является весьма сложной задачей.

С появлением атомных стандартов частоты возникла принципиально новая, не зависящая от вращения Земли и движения тел Солнечной системы, физическая шкала атомного времени. В 1967 г. Международный комитет мер и весов постановил принять за единицу измерения времени в Международной системе единиц (СИ) атомную секунду. Как уже отмечалось ранее, атомный эталон времени РФ вырабатывает колебания с частотой соответствующей резонансной частоте перехода между двумя уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома цезия-133. Продолжительность 9 192631 770 колебаний излучения соответствуют одной секунде.

Атомная секунда выбиралась таким образом, чтобы ее продолжительность была максимально близка к продолжительности эфемеридной. Атомная секунда соответствует эфемеридной с погрешностью ±2*10-9, что было установлено в результате сравнения шкал эфемеридного и атомного времени на протяжении пяти лет. Шкала атомного времени чрезвычайно стабильна, равномерна и легко воспроизводима, однако выбор секунды атомного времени условен, как и начало счета времени в атомной шкале.

Если в основе шкалы времени лежит вращение Земли, то моменты событий устанавливаются по числу циклов (и долей циклов) видимого перемещения Солнца. Эти циклы отсчитываются от некоторого условного начала, например, от "рождества Христова".

Шкала атомного времени также устанавливается путем подсчета числа циклических колебаний сигнала. При этом показания атомных часов можно снять во много тысяч раз точнее и легче, чем показания земных часов. Атомное время обычно отсчитывается от начала того года, когда атомные часы вводятся в эксплуатацию. Сейчас приняты два унифицированных обозначения атомного времени: TA(i)- независимое местное атомное время, вычисленное i-той лабораторией по своим атомным часам; TAI (Time Atomic International) – международная шкала атомного времени.

Независимые национальные шкалы или шкалы отдельных обсерваторий TA(i) появились во второй половине 50-х гг. Национальная шкала атомного времени нашей страны TA(SU) существует с 1962 г. Кроме Государственного эталона времени имеется целая группа атомных часов, выверенных так, чтобы их ход соответствовал колебаниям эталона. Эти часы и задают рабочую шкалу атомного времени. Поскольку рабочих часов несколько, исключается возможность "потери" шкалы атомного времени. Синхронизация атомных эталонов частоты разных стран и обсерваторий осуществляется несколькими способами: по телевизионным сигналам точного времени, по сигналам времени радионавигационных станций, по сигналам, передаваемым искусственными спутниками Земли. Атомные стандарты времени и частоты перевозят для сравнения, из страны в страну самолетами. В этом случае шкалы времени двух обсерваторий удается сравнивать с погрешностью около 10-7 с.

Передача сигналов точного времени

Высокоточные атомные эталоны частоты и времени являются уникальным средствами измерений. Они дорого стоят, обслуживаются квалифицированными специалистами и размещаются в учреждениях метрологической службы. И до изобретения атомного эталона, на протяжении нескольких веков существовала проблема передачи информации о текущем времени от эталона к потребителю. Было предпринято много попыток решить эту задачу. Поскольку до изобретения атомного эталона времени, отсчет времени для измерения долготы осуществлялся на основе движения Земли относительно некоторой исходной точки, возникла необходимость выбора меридиана единого для всех стран.

Сейчас всем хорошо известно, что долгота отсчитывается от нулевого меридиана, проходящего через обсерваторию города Гринвича близ Лондона. Но так было не всегда. Астрономы древности отсчитывали долготу, как правило, от той местности, где они производили наблюдения. Например, Гиппарх за начало брал Родосский меридиан, т. е. долготу острова Родос, где он жил. Его последователь Птолемей нулевым считал меридиан острова Фортуны, многие моряки в течение длительного времени измеряли долготу в счислении от порта, из которого вышло судно.

Необходимость наведения порядка в данном вопросе обострилась в эпоху Великих географических открытий, когда на карты надо было нанести новые земли и уточнить их географические координаты. Королевская обсерватория, сооруженная на высоком холме на месте старого замка в Гринвиче, начала свою работу в 1676 г. Гринвичская обсерватория приобретала известность и мореплаватели при определении долготы все чаще стали ориентироваться на меридиан Гринвича, тем более что многие используемые моряками карты имели британское происхождение. К 1871 г. уже двенадцать стран на морских картах отсчитывали долготы от Гринвичского меридиана.

В октябре 1884 г. в Вашингтоне состоялась Международная меридианная конференция для обсуждения и, если представится возможность, для фиксирования меридиана,

подходящего для использования в качестве нуля долготы и поясного времени на всем земном шаре. При обсуждении были приняты требования, что меридиан должен проходить через одну из наиболее выдающихся обсерваторий, способную постоянно проводить самые точные наблюдения, и при этом не должна возникать необходимость в большой переделке уже изданных карт и пособий.

Больше всего таким требованиям удовлетворял меридиан Гринвича, точнее меридиан, проходящий через ось одного из телескопов Гринвичской обсерватории. Международная меридианная конференция 1884 г. наряду с резолюцией о нулевом меридиане приняла решение применять среднее Гринвичское время в качестве всемирного. Было рекомендовано все альманахи и морские ежегодники выпускать с расчетом на местное время Гринвича.

Для того чтобы точно определить долготу, хронометр должен быть выставлен по Гринвичскому времени и ход его должен постоянно контролироваться. На первом этапе задачу эту решали или астрономическими наблюдениями или сличением с эталонными часами, показывающими Гринвичское время в пункте отхода судна.

Для сличения хронометров с эталонными “хранителями всемирного времени” пользовались переносными часами, так как хронометр не рекомендовалось лишний раз перемещать, чтобы не подвергать его тряске и воздействию изменений окружающей среды. Для выставки переносных часов на заре появления хронометров пользовались сигналами, подаваемыми с берега специально для кораблей, находящихся в гавани. В качестве сигналов использовали выключение прожекторов, спуск флага, выстрел пушки, удары колокола и т. п.

С изобретением электрической связи ситуация существенно изменилась. Электрический импульс, переданный от эталонных часов с помощью телеграфа, мог привести в действие в любом месте сигнальное устройство, пушку, колокол и т. п., расположенные даже на большом расстоянии от обсерватории. Во второй половине XIX в. сигнальные устройства точного времени, приводимые в действие по телеграфу, были установлены во многих крупных морских портах Европы.

В 1862 г. между Пулковской обсерваторией и Петербургом была проложена телеграфная связь, по которой стали передавать сигналы точного времени. По этим сигналам было решено выстрелом из пушки с территории Адмиралтейства «возвещать Петербургу полдень». В 1905 г. командир морского порта С.-Петербурга заявил, что сигнальные выстрелы позволяют проверять судовые хронометры лишь с точностью до 1,5 секунды, что недостаточно для навигационных целей. С тех пор сигналы подавались только для гражданских нужд.

В 1866 г. самый крупный корабль в мире того времени «Грейт Истерн» занимался прокладкой трансатлантического телеграфного кабеля. Во время этих работ по только что проложенному кабелю на «Грейт Истерн» дважды в день принимали по телеграфу сигнал времени из Гринвича, что впервые в мире позволило без визуальных способов наблюдения определять с высокой точностью долготу местонахождения корабля в открытом море. Но это был исключительный случай, поскольку все другие суда не тянули за собой кабель.

Основной прием повышения точности наблюдений и гарантий от неприятностей на случай потери времени из-за остановки часов, мореплаватели возили с собой по несколько хронометров и пользовались средним значением их показаний. Таким же методом повышали точность определения долготы различных географических пунктов. Так, в 1823 г. при определении разности долгот между Дувром и Портсмутом морем перевозили 30 хронометров. При съемке координат Балтийского моря в 1833 г. экспедиция русского географа Ф. Ф.

Шуберта использовала 56 хронометров, а при определении координат Пулковской обсерватории понадобился уже 81 хронометр.

7 мая 1895 г. русский ученый и электротехник А. С. Попов (1859–1906 гг.) продемонстрировал на заседании физического отделения Русского физико-химического общества изобретенный им впервые в мире радиоприемник. Родилась электрическая связь без проводов. Весной 1897 г. дальность радиосвязи достигла 600 метров, а в 1901 г. – уже 150 километров.

Изобретение радио коренным образом изменило всю службу времени, в том числе и на судах. Первыми возможностью передавать сигналы времени по радио для нужд навигации воспользовались американцы. В 1904 г. такие сигналы начала передавать радиослужба ВМС США из штата Навесинка. В январе 1905 г. регулярные передачи полуденных сигналов времени начала радиостанция Вашингтона, а в 1907 г.— радиостанция «Норддойч радио» Германии. В 1908 г. Бюро долгот Франции приняло решение передавать радиосигналы времени с Эйфелевой башни. Регулярные передачи начались 23 мая 1910 г. в полночь. Сигнальный маятник Парижской обсерватории при своем качании замыкал контакт электроцепи и по кабелю приводил в действие реле излучающей радиостанции, установленной на Эйфелевой башне. Ритмические сигналы этой радиостанции позволяли определять ошибки в ходе хронометров с погрешностью до 0,01 секунды. С 1912 г. сигналы времени начала передавать и Гринвичская обсерватория.

Хранение времени значительно упростилось. Моряки теперь могли выверять свои хронометры, не заходя в порт. К тому же отпала необходимость в создании особо точных судовых хронометров, способных хранить Гринвичское время длительно и без проверок.

С каждым годом количество радиостанций, передающих сигналы времени, росло. При этом каждая устанавливала свое время передачи сигналов и их код. Возникла необходимость как-то упорядочить эту работу, и в октябре 1912 г. по инициативе французского Бюро долгот в Париже собралась конференция 16 стран Европы и Америки по вопросу радиотелеграфной передачи времени. В работе конференции приняли участие и три делегата от России.

Конференция утвердила с 1 июля 1913 г. единую систему сигналов времени «Onogo» для радиостанций всех стран, а также рекомендовала такое расписание работ радиостанций, чтобы они не мешали друг другу. Было предусмотрено расписание и для тех радиостанций, которые могут появиться в будущем. При этом исходили из того, что, хотя бы один сигнал времени в сутки может быть получен повсюду на земной поверхности, кроме приполярных областей.

Радио не только позволило посылать в эфир сигнал времени эталонных часов конкретных обсерваторий, но и открывало возможность «объединить» время, вырабатываемое ими, т. е. создать Единую международную систему выработки точного времени, что позволяло ликвидировать несогласие времени разных обсерваторий.

В 1919 г. на конференции в Брюсселе был создан Международный астрономический союз. На съезде этого союза же было учреждено постоянное Международное Бюро времени, в задачу которого входили координация и обобщение работ всех служб времени мира.

В России регулярная передача радиосигналов времени началась с мая 1913 г. Уже в 1914 г. была предпринята попытка уточнить с помощью радиосигналов времени долготу Пулковской обсерватории. В 1920 г. астрономическая обсерватория в Пулкове приступила к регулярной передаче сигналов точного времени. Сигналы передавались ежедневно сначала через Петроградскую радиостанцию «Новая Голландия». С 1921 г. сигналы стали передаваться

и через Московскую Октябрьскую радиостанцию на Ходынке. В 1948 г. в нашей стране была учреждена Межведомственная комиссия единой Службы времени при Государственном комитете стандартов Совета Министров, основными задачами которой являлись решение вопросов, связанных с передачей сигналов точного времени, и координация работ в этой области различных заинтересованных ведомств.

Такова в общих чертах краткая история развития, средств измерения времени и создания единой системы передачи сигналов точного времени с помощью средств связи.

Современные системы навигации

Влияние радиосвязи на развитие систем навигации не ограничилось внесением поправок в показания хронометра с целью увеличения точности определения времени. В настоящее время действуют системы навигации, в которых радиосвязь применяется непосредственно для определения координат объекта. Это хорошо известные спутниковые системы навигации.

Спутниковая система навигации – комплексная электронно-техническая система, состоящая из совокупности наземного и космического оборудования, предназначенная для определения местоположения (географических координат и высоты) и времени, а также параметров движения (скорости и направления движения и т. д.) для наземных, водных и воздушных объектов.

Основные элементы спутниковой системы навигации:

Орбитальная группировка, состоящая из нескольких (от 2 до 30) спутников, излучающих специальные радиосигналы;

Наземная система управления и контроля, включающая блоки измерения текущего положения спутников и передачи на них полученной информации для корректировки информации об орбитах;

Приёмное клиентское оборудование («спутниковые навигаторы»), используемое для определения координат.

Принцип работы спутниковых систем навигации основан на измерении расстояния от антенны на объекте (координаты которого необходимо получить) до спутников, положение которых известно с большой точностью. Таблица положений всех спутников называется альманахом, которым должен располагать любой спутниковый приёмник до начала измерений. Обычно приёмник сохраняет альманах в памяти со времени последнего выключения и, если он не устарел, – мгновенно использует его. Каждый спутник передаёт в своём сигнале весь альманах. Таким образом, зная расстояния до нескольких спутников системы, с помощью обычных геометрических построений, на основе альманаха, можно вычислить положение объекта в пространстве.

Метод измерения расстояния от спутника до антенны приёмника основан на определённости скорости распространения радиоволн. Для определения расстояния достаточно умножить скорость на время прохождения сигнала от спутника до наземного приемника. Для осуществления возможности измерения времени распространяемого радиосигнала каждый спутник навигационной системы излучает сигналы точного времени, используя точно синхронизированные с системным временем атомные часы. При работе спутникового приёмника его часы синхронизируются с системным временем, и при дальнейшем приёме сигналов вычисляется задержка между временем излучения, содержащимся в самом сигнале, и временем приёма сигнала.

Располагая этой информацией, навигационный приёмник вычисляет координаты антенны. Все остальные параметры движения (скорость, курс, пройденное расстояние) вычисляются на основе измерения времени, которое объект затратил на перемещение между двумя или более точками с определёнными координатами.

Новым в системе спутниковой навигации является то, что в ней измеряется не время, а интервал времени между моментом посылки сигнала со спутника и моментом достижения сигналом антенны приемника, находящемся на объекте, чьи координаты подлежат измерению.

В настоящее время действуют системы GPS и ГЛОНАСС.

Система GPS принадлежит министерству обороны США. Этот факт, по мнению некоторых государств, является её главным недостатком. Устройства, поддерживающие навигацию по GPS, являются самыми распространёнными в мире. ГЛОНАСС принадлежит министерству обороны России. В настоящее время эта система интенсивно развивается и модернизируется.

Синхронизация в цифровых системах связи

Все рассмотренные выше использования эталонных сигналов частоты и времени для частотно-временного обеспечения сетей связи общего пользования примеры влияния техники связи были направлены на решение задачи генерации и передачи сигналов точного времени, т.е. для решения задач в других областях техники. Однако решение задачи высокоточного измерения времени и передачи соответствующих сигналов в последнее время оказали существенное влияние на саму технику связи. С переходом на цифровые методы передачи сигналов актуальной стала проблема синхронизации в сетях связи, которая так же связана с измерением времени.

Решению этой задачи способствовали Постановления Правительства РФ от 23 марта 2001 г. № 225 "Об утверждении Положения о Государственной службе времени, частоты и определения параметров вращения Земли" (с изменениями от 2 августа 2005 г., 10 марта, 2 сентября 2009 г., 8 сентября 2010 г., 31 января 2012 г.) и Федерального закона от 03.06.2011 г №107-ФЗ «Об исчислении времени». В результате были разработаны различные методы передачи сигналов точного времени и соответствующая аппаратура.

Основным назначением сетевой синхронизации является обеспечение установки и поддержание определённой тактовой частоты цифровых сигналов. Различают 3 вида синхронизации: по частоте; по фазе; по времени. Наиболее важным типом синхронизации является частотная синхронизация (ЧС), которая означает согласованность генераторов различных цифровых устройств в сети по частоте. В этом случае в идеале все генераторы сети работают с одинаковой частотой, скорость передачи цифровой информации с высокой степенью точности равна скорости приёма, в результате в системе связи нет ошибок, связанных с нарушением синхронизации.

Следует отметить, что применение частотной синхронизации не означает отказа от измерения времени, поскольку величина частоты определяет величину периода, измеряемого в единицах времени. Поэтому устройства, обеспечивающие тактовую синхронизацию, носят название «хронирующие источники», «таймеры».

Если существует разница в частотах источников тактовой синхронизации (хронирующих источников или таймеров) на передающем и принимающем узлах, то происходит накапливание за определенное время разности фаз принимаемой на узле цифровой последовательности и последовательности, генерируемой источником тактовой

синхронизации данного (принимающего) узла. Эта разность может стать соизмеримой с длиной тактового интервала. В этот момент может произойти срыв синхронизации, вызванный либо пропаданием одного импульса (тактового интервала), либо формированием лишнего импульса (тактового интервала).

Решение задачи синхронизации возможно путем установки самого точного хронирующего источника на всех узлах сети. Решение задачи можно удешевить путем установки всего лишь одного высокоточного хронирующего источника в центральном узле сети (например, в центральном офисе) и трансляции его показаний в другие узлы сети (аналогично тому, как это делается, например, службой времени большого города). Для этого нужно не только иметь высокоточный хронирующий источник, но и надежную систему (сеть) распределения сигнала синхронизации на все узлы сети. Однако нарушение в работе сети может привести к потере синхронизации. Поэтому применяется несколько иное решение. Для обеспечения надежной синхронизации применяются:

ПЭГ – первичный эталонный генератор. Обеспечивает получение сигнала эталонной тактовой частоты для синхронизации всей цифровой сети.

ВЗГ – вторичный задающий генератор. Обеспечивает восстановление качества передаваемого по сети синхросигнала, распределение выходного сигнала на необходимое число выходов. В случае пропадания всех сигналов на входе, он переходит в режим запоминания, т.е. запоминает последнюю частоту и поддерживает ее в течение 24 часов до восстановления аварии.

Отметим, что в литературе, посвященной цифровым сетям связи, чаще всего фигурирует термин «тактовая частота синхронизации». Поскольку эталон частоты одновременно является и эталоном времени, используются и термин «временной интервал». Так, например, нормируется параметр: точность установки и поддержания номинала тактовой частоты синхросигналов. А также нормируется максимальная ошибка (погрешность) временного интервала относительно Всемирного координированного времени (МОВИ) и девиация временного интервала (ДВИ).

Важность точности поддержания номинального значения тактовой частоты синхросигналов с помощью ПЭГ и ВЗГ вызвало появление международной классификации (эталонных генераторов) таймеров. Существуют две классификации: одна использует 4 класса точности Stratum n, вторая – 3 класса таймеров по стандартам МСЭ-Т G.811, 812, 813. Кроме этого существуют классификации на уровне организаций связи различных стран, например, классификация блоков систем синхронизации (БСС), предложенная в МС РФ, или британскими стандартами на точность таймера цифровых сетей связи.

Для таймеров класса Stratum n приняты показатели точности и стабильности разделенные на четыре разряда A, B, C и D. В стандарте Stratum n эталонный таймер класса «А» имеет точность n - ≤1·10-11. Следует отметить, что данная цифра, по-видимому, характеризует не точность, а погрешность установки частоты. Такое несоответствие, видимо, связано с тем, что в английском языке нет термина, соответствующего русскому термину «погрешность». Параметры эталонного таймера класса «С» существенно ниже – ≤ 4.6·10-6 (точность), ≤ 3.7· 1·10-7 / сутки (нестабильность). Наихудшие показатели имеет эталонный таймер класса «D» – ≤ 3.2·10-5 (точность).

Для таймеров, определяемых стандартами ITU-T G.811, 812, 813 установлены показатели погрешности: от – ≤1·10-11 (таймер класса G.811) до – ≤1·10-8 (таймер класса G.813).

В РФ структура сети синхронизации является иерархической. Параметры ПЭГ, занимающего первый уровень иерархии должны соответствовать требованиям Рекомендации МСЭ-Т G.811. С целью выполнения требований к показателям синхросигналов в качестве источников обычно используются цезиевые или водородные стандарты частоты, отклонение действительного значения частоты которых от ее номинального значения составляет не более нескольких единиц 10-12. Для надежности формирования синхросигналов в состав ПЭГ обычно входят три первичных эталонных источника (ПЭИ) и вторичный задающий генератор, обеспечивающий выбор исправного ПЭИ с требуемыми характеристиками и формирование необходимого числа синхросигналов на его выходах, являющихся одновременно выходами ПЭГ. ПЭИ может быть на основе цезиевого или водородного стандарта частоты.

Рассматривая задачу формирования синхросигналов с помощью ПЭГ, следует остановиться и на методах их сличения с Государственным эталоном частоты и времени РФ. Передача значения частоты Государственного эталона России к месту сличения осуществляется через различные радиостанции с помощью сигналов точного времени и сигналов эталонных частот. Сигналы времени и сигналы эталонных частот, передаваемые на частотах 66 (6) кГц и 50 кГц, излучаются круглосуточно двумя радиостанциями, расположенными вблизи городов Москва и Иркутск, при этом радиостанция 66(6) кГц охватывает и обеспечивает Европейскую часть стран СНГ, а 50 кГц – Азиатскую.

Кроме сигналов времени и эталонных частот, передаваемых через различные радиостанции, для сличения используются сигналы навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС. Использование сигналов космической навигационной системы ГЛОНАСС позволяет проводить сличение частот практически в любой точке Земного шара.

Однако при этом используется оборудование, которое представляет собой довольно сложные и дорогие устройства, состоящие из СВЧ-антенн, приемных устройств, устройств обработки цифровой информации и специальных вычислителей с пультом управления. Возможно использование сигналов, получаемых с приемников GPS, однако в России они разрешены к использованию лишь как резервные.

В качестве оборудования для сличения используются различные приборы, в том числе и ГОС-2, производства ООО «Стабихрон» (Н. Новгород), который содержит, опорный генератор (приемник компаратор с внешней антенной), обеспечивающий формирование высокостабильных колебаний, синхронизированных с эталонными сигналами частоты и времени. Прибор ГОС-2, содержащий встроенный рубидиевый генератор, имеет суточную погрешность частоты $\pm 5 \cdot 10\text{-}11$.

Среди выпускаемых ПЭИ можно отметить Метроном-300, рассчитанный на работу на транспортных сетях и мобильных сетях 2G/2,5G/3G/4G и удовлетворяющий стандартам G.811, G.812. Синхронизация прибора осуществляется от ГЛОНАСС/GPS, GPS. Прибор комплектуется высокоточным кварцевым генератором с термостатированием, имеет несколько выходов с частотой сигналов синхронизации 2,048Мбит/с (E1) и управляется через Ethernet. Среди ВЗГ широко используется Метроном-1000/3000.

Синхронизация времени через интернет

Получение точного времени из Интернет-источников, происходит с помощью особой технологии. Весь процесс синхронизации времени проводится посредством специального сетевого протокола, называемого NTP (Network Time Protocol). Данный протокол представляет из себя свод различных правил и математических алгоритмов, благодаря которым происходит

точная настройка времени на персональном компьютере с разницей в несколько сотых долей секунды. Существует протокол и для систем, не требующих такой точной синхронизации, который называется SNTP. Разница источника и устройства-приёмника времени по нему может составлять до 1 секунды.

Технология передачи параметров точного времени представляет из себя многослойную структуру, где каждый нижележащий слой электронных устройств синхронизируется с вышележащим. Теоретически чем ниже технологический слой, тем менее точным будет полученное от него время. На практике все зависит от множества параметров, участвующих в системе синхронизации и получить более точное время можно, к примеру, от четвертого слоя устройств, нежели от третьего.

На нулевом уровне цепочки передачи располагаются молекулярные, атомные или квантовые эталонные устройства отчета времени. Эти устройства не передают параметры времени в Интернет напрямую, обычно они подключены к первичному компьютеру посредством высокоскоростного интерфейса с минимальными задержками. Именно эти компьютеры составляют первый слой в технологической цепочке. На втором слое будут располагаться машины, получающие время от первого слоя устройств посредством сетевого соединения, чаще всего через Интернет. Все последующие уровни будут получать информацию о точном времени по тем же сетевым протоколам от вышележащих слоев.

В операционной систем Windows имеется опция автоматической сверки часов через Интернет, которая доступна напротив надписи, «Выполнять синхронизацию с сервером времени в Интернете». Если ее включить, поставив галочку, то периодически время вашего компьютера будет уточняться через Интернет-сервера самой операционной системой. По умолчанию, операционная система Windows обращается к серверам синхронизации только раз в неделю, при условии, что пользователь установил автоматическую проверку времени.

В глобальной сети имеется множество сервисов показа точного времени, которые помогают в настройке часов на точное время, вплоть до одной секунды.

Среди них TIME.IS - многофункциональный сервис показа точного времени. Помимо основного своего назначения позволяет свериться с часами различных временных зон, узнать календарные сведения текущего дня, произвести тонкую настройку формата вывода времени на экран посредством сайта и стиль отображения, вывести календарь текущего года, узнать время в любом из городов земного шара и многое другое. Можно воспользоваться сервисом SKOLKO.IN.

Помимо информации о точном времени, здесь можно найти данные о времени восхода и заката солнца в вашем регионе. В сервисе DIRECT-TIME.RU даются сведения о точном времени, и обеспечивается возможность его сравнения с часами вашей системы. Однако имеется небольшое меню с дополнительными функциями, например, с секундомером, конвертером дат и картой часовых поясов.

Измерение временных сдвигов в системах мобильной связи

В современной технике связи помимо решения задач синхронизации временные измерения осуществляются и для решения других задач. Все системы подвижной связи второго и последующих поколений используют множественные доступы с временным разделением каналов (TDMA). При применении TDMA каждый частотный канал разделяется

во времени на временные интервалы, которые поочередно предоставляются нескольким абонентам.

В GSM формируется 8 информационных каналов. В принципе можно было бы за счет уменьшения длительности импульсов выполнить мультиплексирование, например, 20 информационных каналов и получить существенный выигрыш. Однако этот вариант не используется, чтобы не допустить попадания импульсов одного информационного канала в «чужой» временной интервал. Такое смещение возможно из-за задержки сигнала, принимаемого от мобильной станции, которая в случае сот с большим радиусом, может быть значительной. Чтобы избежать наложения импульсов, аппаратура базовой станции измеряет величину задержки (фактически это эквивалентно измерению расстояния от мобильной станции до базовой) и даёт команду мобильной станции начинать передавать сигнал раньше на время упреждения Δt. Для определения необходимой величины Δt используется синхросигнал, передаваемый в нулевом временном интервале. Базовая станция измеряет время задержки в приходе пакета доступа – $2\Delta t$ делит полученную величину задержки пополам и передаёт на мобильную станцию команду: «передавать сигнал со временем упреждения равным Δt».

Подводя итог, следует отметить, что проблема точного измерения времени для решения задач навигации и картографии, решена благодаря развитию техники связи. В свою очередь решение этой задачи оказало большое влияние на развитие современных цифровых систем телекоммуникаций.

Заключение

Подводя итог, следует отметить, что задача точного измерения времени на протяжении многих лет носила глобальный характер. В решении этой проблемы были заинтересованы все станы. Точное определение координат обеспечивало морскую навигацию, определение границ государств, строительство автомобильных и железных дорог, водных каналов. Теория колебаний, разработанная для построения точных механических часов, была в дальнейшем трансформирована в теорию колебаний электрического контура и использована в радиотехнике. Техника связи, вначале проводная (телеграф), а затем беспроводная (радио) обеспечили возможность передачи сигналов точного времени от первичного эталона вначале на территории морских портов, а затем по всему Земному шару. Развитие в радиотехнике теории и практики генерации высокочастотных стабильных по частоте электрических сигналов позволило создать «часы» на много порядков превышающих точность механических морских хронометров, на создание которых человечество потратило около 400 лет. И наконец, современные системы навигации GPS и ГЛОНАСС, основанные на высокоточном измерении времени прохождения сигнала от спутника до объекта и обеспечивающие не только определение координат, но и скорости и курса подвижного объекта были бы невозможны без радиосвязи.

Литература

1. Хауз. Д. Гринвическое время и открытие долготы. – М.: Изд-во Мир, 1983. – 240 с.
2. Постановления Правительства РФ от 23 марта 2001 г. № 225 "Об утверждении Положения о Государственной службе времени, частоты и определения параметров вращения Земли" (с

изменениями от 2 августа 2005 г., 10 марта, 2 сентября 2009 г., 8 сентября 2010 г., 31 января 2012 г.)
3. Федеральный закон РФ от 03.06.2011 г №107-ФЗ «Об исчислении времени».
4. Завельский Ф.С. Время и его измерение. – М.: Изд-во Наука, 1987. – 258 с.
5. Шебшаевич В. С., Дмитриев П. П., Иванцев Н. В. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. – М.: Изд-во Радио и связь, 1993. – 408 с.
6. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. – М.: Изд-во Горячая линия–Телеком, 2005. – 271 с.

III. РЕГУЛЯТОРНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ И ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ВЗИМАНИЯ ПЛАТЫ ЗА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА В РФ

Е. Е. Володина,
Московский технический университет связи и информатики,
профессор кафедры «Экономика связи», к. э. н,
111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8А,
e-mail: evolodina@list.ru
Е. Е. Девяткин,
ФГУП НИИР,
руководитель лаборатории Научно-технического центра (RTC) анализа электромагнитной совместимости, к. э. н,
105064, Москва, ул. Казакова, д. 16,
e-mail: deugene@list.ru

УДК 654.01

Аннотация. Рассматривается проблема совершенствования механизма определения и взимания платы за использование радиочастотного спектра в России. Приведены научно-методические подходы к формированию ставки в рамках существующей методики определения платы за использование спектра. Проводятся анализ и оценка результатов взимания платы, как для операторов, так и для государства. Авторами сделаны предложения по модернизации в части ставок и поправочных коэффициентов, отражающих реальную ситуацию на рынке радиочастотного спектра российских пользователей.

Ключевые слова: радиочастотный спектр, государственное управление, метод, плата за использование спектра, коэффициент, предложения.

IMPROVEMENT OF THE SPECTRUM PRICING METHODS IN THE RUSSIAN FEDERATION

Elena Volodina,
Moscow technical university of communications and informatics,
professor of "Communication Economics", Ph.D.,
111024, Moscow, Aviamotornaya St., 8A,
e-mail: evolodina@list.ru
Evgeniy Devyatkin,
NIIR FSUE,
the Head of the laboratory Research and technology Center (RTC) of EMC Analysis, Ph.D.,
105064, Moscow, Kazakova str, 16,
e-mail: deugene@list.ru

Annotation. The article considers the problem of improving the mechanism for establishing fees for the radiofrequency spectrum use in Russia, its collection and distribution. Scientific and methodical approaches to the formation of the spectrum fee rate within the framework of the existing method are discovered. The analysis and evaluation of the results of its implementation, both for operators and for the state are conducted. The authors made suggestions for upgrades in parts of the rates and correction coefficients reflecting the real situation on the Russian radiofrequency spectrum users market.

Keywords: radiofrequency spectrum, state management, method, spectrum fee, coefficient, suggestions.

В Российской Федерации в настоящее время в рамках государственной системы управления радиочастотным спектром применяется широко распространенный за рубежом экономический подход к стимулированию рационального использования радиочастотного спектра на основе взимания платы.

На основании Федерального закона "О связи" Правительством Российской Федерации 16 марта 2011 г. было принято постановление №171 «Об установлении размеров разовой платы и ежегодной платы за использование в Российской Федерации радиочастотного спектра и взимания такой платы» и утверждены «Правила установления размеров разовой платы и ежегодной платы за использование в Российской Федерации радиочастотного спектра и взимания такой платы» [1]. Сама методика расчета размеров разовой и ежегодной платы за использование радиочастотного спектра (далее – Методика) [2] была введена приказом Минкомсвязи России №164 30.06.2011 и вступила в действие с 01.01.2012 г.

В то же время вопросы реализации методики и ее совершенствования не сходят с повестки дня органов управления в области использования РЧС.

Проблема совершенствования механизма установления размеров платы за использование РЧС, ее взимания и распределения представляет значительный интерес для всех участников рынка и требует постоянной аналитической работы в практической области применения, действующей на данный момент методики, оценки результатов её реализации как для операторов связи, так и для государства.

Характеристика применяемого метода определения платы за пользование РЧС

Если более точно и полно сформулировать основную цель введения платы за использование РЧС, то это – создание таких экономических условий, при которых частотный ресурс будет максимально эффективно использоваться в экономике и социальной сфере, а также для нужд государственного управления, обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка. Кроме того, при таких условиях должно быть обеспечено внедрение перспективных технологий и стандартов, проведение конверсии радиочастотного спектра. Обеспечить достижение такой цели возможно лишь на основе многостороннего учета различных факторов и методических подходов. Научно-методическое обоснование величины платы может базироваться как на затратных, так и рыночных моделях. Но при этом уровень финансирования должен гарантировать, что государственная система управления РЧС будет эффективна на существующем этапе развития телекоммуникационного рынка. В данной области исходя из противоречивых интересов пользователей РЧС и регулирующих органов за рубежом и в России используются различные методические подходы к определению платы за РЧС.

В основе новой методики, принятой в РФ [2] комплексно применены затратные и рыночные подходы.

Затратный подход заключается в необходимости учета и компенсации затрат на управление спектром в целях обеспечения системы контроля радиочастот, конверсии радиочастотного спектра и финансирования мероприятий по переводу действующих радиоэлектронных средств в другие полосы радиочастот.

Рыночный подход позволяет стимулировать эффективное использование РЧС и формировать рациональный спрос на частотный ресурс. В частности, предлагаемая методика стимулирует пользователей:

- экономно и эффективно использовать радиочастотный ресурс.
- работать в относительно свободных высокочастотных участках радиочастотного спектра.
- развивать свой бизнес в удаленных и малонаселенных регионах страны.
- повышать спектральную эффективность оборудования за счет внедрения перспективных радио-технологий.

Методика включает в себя ставки и коэффициенты, дифференцируемые в зависимости от используемых диапазонов радиочастот, количества используемых радиочастот (радиочастотных каналов) и технологий, применяемых при использовании радиочастотного спектра.

Впервые в РФ плата за использование радиочастотного спектра кроме ежегодной включает и разовую плату. Под разовой платой следует понимать затраты операторов, связанные с доступом к радиочастотному спектру, т.е. в соответствии с действующим законодательством – за получение разрешения на пользование РЧС, а под ежегодной – плату за текущую эксплуатацию (пользование) РЧС.

Ставки разовой и ежегодной платы устанавливаются на основе затратного подхода, стимулирование эффективного использования РЧС осуществляется на основе коэффициентов. Подробно содержание методики и характеристика параметров взимания платы изложены в [3].

В целом используемый подход можно назвать компенсационно-стимулирующим, поскольку он исходит из экономических интересов государства по эффективному управлению ограниченным производственным ресурсом на основе компенсации затрат [4] по его управлению и стимулированию инновационного развития инфокоммуникаций.

Содержание изменений, внесенных в Методику расчета разовой и ежегодной платы за использование РЧС в России

В процессе реализации методики приказами Минкомсвязи России и Роскомнадзора, а также Постановлением Правительства РФ в ее текст вносились изменения, касающиеся в основном значений ставок платы и коэффициентов, а также редакторские правки, позволяющие устранить неточности и неоднозначность толкования формулировок. Рассмотрим основные нормативно-правовые акты, в соответствии с которыми существенно менялись условия взимания и величина платы.

Так, приказом Минкомсвязи России от 22 декабря 2011 г. №352 [5] в первоначальный вариант методики были внесены следующие изменения:

• Ставка для расчета разовой платы за использование радиочастотного спектра была снижена с 800 руб. до 300 руб.

• В случае, когда в разрешении на использование радиочастот (радиочастотных каналов) указана только используемая полоса частот коэффициент $K_{ншпи}$ =1.

• Перечень полос частот, которые используются РЭС гражданского назначения в технологических сетях железнодорожной связи, дополнен полосой частот 154,9875-156,0125 МГц.

• Таблица 7 Методики, определяющая коэффициент социальной направленности внедрения технологии, была дополнена РЭС системы радиотелефонной связи «Алтай», а также ретрансляторами и радиомаяками любительской службы. Коэффициент социальной направленности для них установлен равным 0,3.

В апреле 2012 года Постановлением правительства РФ от 05.04.2012 № 285 [6] был установлен порядок определения размера разовой платы в случае изменения условий использования радиочастот/радиочастотных каналов по заявлению пользователя, а также в случае продления срока действия или переоформления разрешения.

Приказом Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 20 апреля 2012 № 121 [7] в Методику были внесены следующие поправки:

Таблица 7 Методики, определяющая коэффициент социальной направленности внедрения технологии, была дополнена технологией беспроводного доступа Wi-Fi (стандарт серии IEEE 802.11), а также системой радиотелефонной связи «Actionet». Для радиоэлектронных средств, использующих технологию Wi-Fi, коэффициент, учитывающий степень социальной направленности внедрения технологии установлен равным 0,1. Для РЭС системы радиотелефонной связи «Actionet» он установлен равным 0,3.

Коэффициент, учитывающий численность населения в месте установки РЭС для г. Москва, снижен с 1,2 до 0,6.

Основную роль в реализации Методики выполняет Роскомнадзор [1].

Роскомнадзор в установленном порядке формирует и издает приказы, согласно которым обеспечивается:

Установление размеров ежегодной платы за использование в Российской Федерации радиочастотного спектра в случаях изменений расчетных коэффициентов или внесения изменений в Методику расчета размеров разовой платы и ежегодной платы за использование в Российской Федерации радиочастотного спектра.

Зачет излишне уплаченных за текущий квартал года денежных средств в счет внесения ежегодной платы за последующие периоды оплаты.

Прекращение во внесудебном порядке разрешений на использование радиочастот или радиочастотных каналов в связи с невнесением пользователями радиочастотным спектром платы за его использование в установленные сроки.

В результате внесения изменений в Методику определения размеров разовой и ежегодной платы за использование радиочастотного спектра для крупных операторов сотовой связи во втором полугодии размер платы сократился на 10% - 17,5% по сравнению с началом 2012 г.

В конце I квартала 2012 г. Приказом Роскомнадзора было прекращено действие около 1,8% неоплаченных разрешений, а количество пользователей радиочастотным спектром сократилось примерно на 9,5%.

По итогам первого полугодия 2012 года суммарный объем платы за использование радиочастотного спектра, установленный приказами Роскомнадзора составил 8339,85 млн руб. Из них 7416,65 млн руб. – объем ежегодной платы, 589 млн. руб. – объем разовой платы, 334,2

млн руб. – объем ежегодной платы за первый период использования спектра. В качестве платы за использование РЧС в Федеральный бюджет было внесено в общей сложности 8043 млн руб., что составляет 96% от запланированной суммы.

Очередное мероприятие, посвященное совершенствованию Методики было проведено 3 июля 2012 г. Роскомнадзор провел расширенное совещание, на котором обсуждались предложения по внесению изменений в постановление Правительства РФ № 171 «Об установлении размеров разовой и ежегодной платы за использование в Российской Федерации радиочастотного спектра и взимания такой платы», в постановление Правительства РФ № 359 «О порядке регистрации радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств», а также в приказ Минкомсвязи России № 164 «Об утверждении Методики расчета размеров разовой и ежегодной платы за использование в Российской Федерации радиочастотного спектра».

В совещании приняли участие представители ФГУП «РТРС», ОАО «ВымпелКоммуникации», ОАО «МТС», ОАО «МегаФон», группа компаний «Теле-2 Россия», радиочастотной службы, ФГУП «НИИР», Национальная радиоассоциация.

Было предложено внести следующие изменения в порядок определения размеров разовой платы и ежегодной платы за использование радиочастотного спектра на территории Российской Федерации.

Освободить от платы за использование радиочастот или радиочастотных каналов в Российской Федерации дипломатические представительства/ консульские учреждения.

Поручить радиочастотной службе расчет размеров разовой платы и ежегодной платы, направление уведомлений о необходимости внесения платы, доведение информации о внесении платы до Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

В случае переоформления лицензии исключить двойное взимание ежегодной платы за квартал, в течение которого решение было переоформлено.

Округление полученных результатов до двух знаков после запятой (копеек) производить только при расчете $П_{Г(КВ)}$.

Методика дополнена указаниями по определению коэффициента, учитывающего количество используемых радиочастот (радиочастотных каналов) ($K_{РЧ}$) в случае указания в частотно-территориальном плане базовых станций, которые могут использоваться как в стационарном, так и мобильном (перевозимом) режимах работы с одинаковым числом радиочастотных каналов и при наличии в разрешении рекомендованных для переназначения радиочастот (радиочастотных каналов).

Пункт 9 дополнен указаниями по расчету количества используемых радиочастот для систем MMDS.

Пункт 9 дополнен указаниями по определению количества используемых радиочастот для РЭС цифровых систем беспроводного доступа технологии DECT в случае наличия в разрешении запрещенных к использованию каналов.

Для радиоастрономических приемных устройств (предназначенных только для приема радиоастрономических сигналов) $K_{НШПИ}$ установлен равным 0.

Внесены поправки в перечень технологий, используемых для обеспечения безопасности жизнедеятельности граждан РФ, в том числе при чрезвычайных ситуациях.

Дополнить п. 7 Методики в части учета сезонного высокочастотного расписания, для передатчиков КВ радиосвязи.

Заключение

Безусловно, проведенные мероприятия, направленные на модернизацию российской нормативно-правовой и методической базы определения и взимания платы за использование РЧС, свидетельствуют о процессах либерализации в области управления РЧС и отражают открытый диалог регулятора и пользователей спектра. Внесенные изменения в Методику принесли положительные результаты и с точки зрения государства и с точки зрения операторов. Хотелось бы надеяться, что этот диалог будет продолжен и обеспечит полную прозрачность применяемой методики и взаимные интересы сторон.

Литература

1. Постановление правительства от 16 марта 2011г. № 171 «Об установлении размеров разовой платы и ежегодной платы за использование в Российской Федерации радиочастотного спектра и взимания такой платы».
2. URL http://minsvyaz.ru
3. Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 22 декабря 2011 № 352 г. Москва «О внесении изменений в Методику расчета размеров разовой платы и ежегодной платы за использование в Российской Федерации радиочастотного спектра, утвержденную приказом Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 30 июня 2011 г. № 164».
4. Постановление Правительства РФ от 05.04.2012 № 285 «О внесении изменений в Правила установления размеров разовой платы и ежегодной платы за использование в Российской Федерации радиочастотного спектра и взимания такой платы».
5. Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 20 апреля 2012 № 121 «О внесении изменений в Методику расчета размеров разовой платы и ежегодной платы за использование в Российской Федерации радиочастотного спектра, утвержденную приказом Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 30.06.2011 № 164»

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ РАЦИОНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСВОБОЖДАЕМЫХ ПОЛОС РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ПРИ ВНЕДРЕНИИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А. Ю. Плосский,
Московский технический университет связи и информатики,
аспирант,
111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8А,
e-mail: aplossky@gmail.com

УДК 654.01

Аннотация. В данной статье на основе изучения зарубежных и отечественных основ управления использованием РЧС автором сформирована и проанализирована система принципов для выбора критериев рационального распределения Цифрового Дивиденда. Рассматриваются три группы принципов: технические, регламентные и социально-экономические.

Ключевые слова: радиочастотный спектр, Цифровой Дивиденд, LTE, система принципов.

DEVELOPMENT OF PRINCIPLES OF RATIONAL DISTRIBUTION OF RELEASED FREQUENCY BAND OF SPECTRUM BY THE IMPLEMENTATION OF DIGITAL TELEVISION IN THE RUSSIAN FEDERATION.

Arseniy Plosskiy,
Moscow technical university of communications and informatics,
graduate student,
111024, Moscow, Aviamotornaya St., 8A,
email: aplossky@gmail.com

Annotation. Ensures the forming of system of principles for rational distribution of Digital Dividend. In this article studying of foreign and national basics of spectrum management, author analyzed and formulated the system of principles for selection the criteria of rational distribution of Digital Dividend. There are 3 groups of principles: technical, regulatory and socio-economical.

Keywords: radio frequency spectrum, Digital Dividend, LTE, system of principles.

Изучение зарубежных и отечественных основ управления использованием РЧС позволяют сформировать систему принципов для выбора критериев рационального распределения Цифрового Дивиденда, которая условно разделена на взаимосвязанные группы. На рис. 1 и 2 представлены совокупность и содержание принципов рационального распределения РЧР, которая закладывает основные правила и указания для оптимального распределения высвобождаемых полос радиочастотного спектра при внедрении НЭЦ ТВ [1].

Рисунок 1.

К технической группе принципов относятся технические основы использования РЧР в рассматриваемых диапазонах. Принципы данной группы содержат технические аспекты, влияющие на распределение диапазонов частот 174-230 и 470-862 МГц. Регламентная группа содержит принципы, в основе которых лежат государственные и международные решения в области управлении использованием РЧС, которые отвечают требованиям современности. В экономической группе представлены принципы, которые отражают экономическую эффективность распределения РЧС.

Техническую группу принципов можно назвать группой ограничений. Принципы отражают технические и технологические параметры, как технологий, так и РЧС. Одними из главных технических принципов, влияющих на распределение РЧР рассматриваемых диапазонов, являются необходимость учёта ограниченности радиочастотного ресурса и необходимость обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) РЭС разных служб. Оба принципа отражают вероятность того, что при распределении РЧР невозможно будет удовлетворить потребность всех операторов различных услуг связи, а, следовательно, и полностью удовлетворить потребность рынков услуг связи.

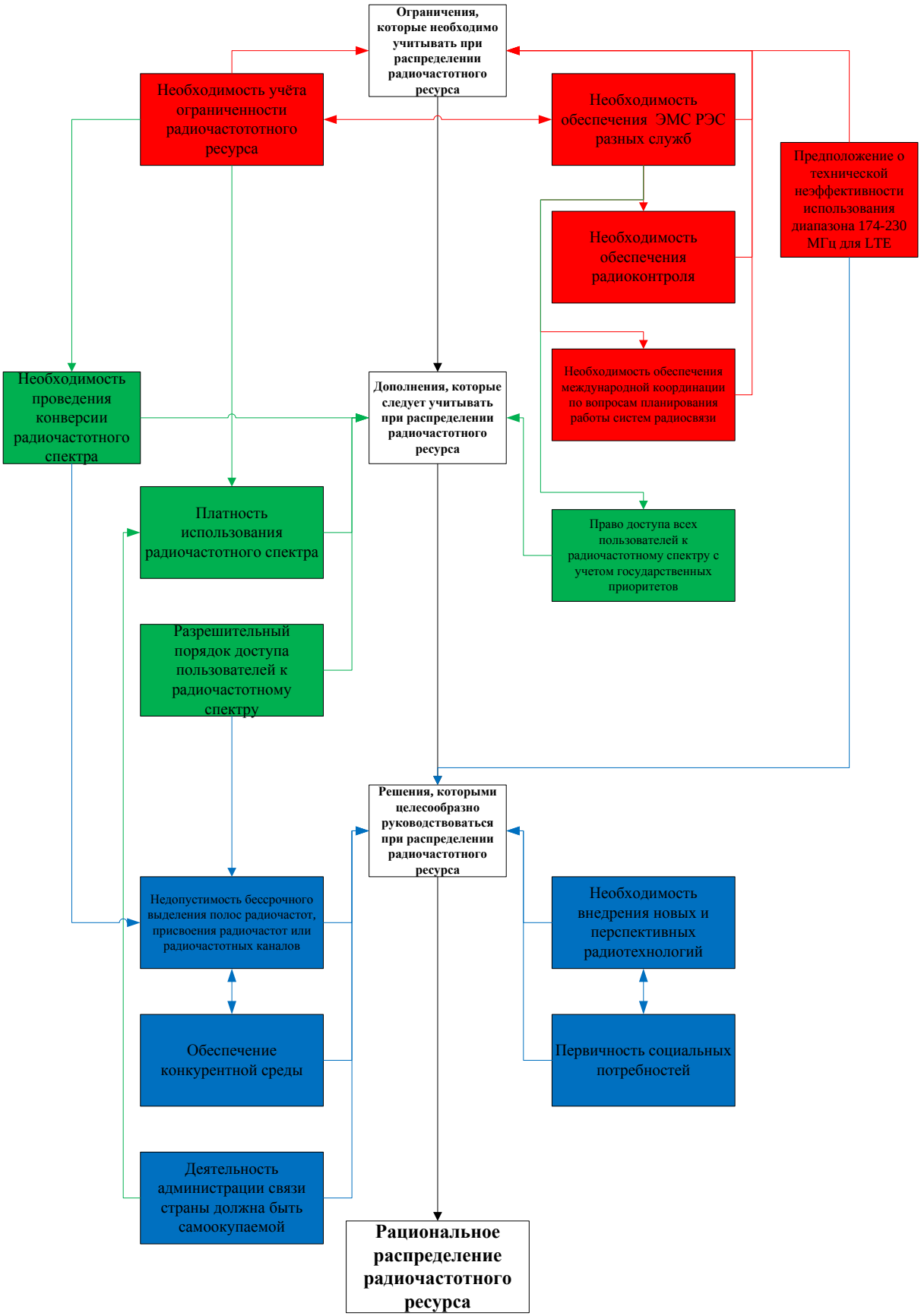
Ограничения, которые необходимо учитывать при распределении радиочастотного ресурса
Необходимость учёта ограниченности радиочастототного ресурса
Необходимость обеспечения ЭМС РЭС разных служб
Предположение о технической неэффективности использования диапазона 174-230 МГц для LTE
Необходимость обеспечения радиоконтроля
Необходимость обеспечения международной координации по вопросам планирования работы систем радиосвязи
Необходимость проведения конверсии радиочастотного спектра
Дополнения, которые следует учитывать при распределении радиочастотного ресурса
Платность использования радиочастотного спектра
Право доступа всех пользователей к радиочастотному спектру с учетом государственных приоритетов
Разрешительный порядок доступа пользователей к радиочастотному спектру
Решения, которыми целесообразно руководствоваться при распределении радиочастотного ресурса
Недопустимость бессрочного выделения полос радиочастот, присвоения радиочастот или радиочастотных каналов
Необходимость внедрения новых и перспективных радиотехнологий
Обеспечение конкурентной среды
Первичность социальных потребностей
Деятельность администрации связи страны должна быть самоокупаемой
Рациональное распределение радиочастотного ресурса

Рисунок 2.

Ещё одним техническим принципом, которым руководствуется автор, является предположение о технической неэффективности использования метрового диапазона (174-230 МГц) для организации мобильного широкополосного доступа при помощи технологии LTE. Это предположение строится на том, что данный диапазон очень плотно занят различными технологиями, что приводит к сложности обеспечения ЭМС. Кроме того, распределение этого диапазона частот для НЭЦТВ обладает гораздо большим экономическим эффектом, нежели чем для ПС. Это объясняется тем фактом, что строительство инфраструктуры для НЭЦТВ в метровом диапазоне (174-230 МГц) обойдётся дешевле, чем строительство в дециметровом (470-862). При этом качество, как программ, так и вещания в целом, будет одинаковым. Для организации сетей связи по стандарту LTE затраты оператора связи на строительство сети будут практически одинаковы для обоих случаев, что связано с необходимостью выдерживать высокую нагрузку на сеть. И наконец, для реализации высвобождаемых полос частот необходимо соблюдать принципы необходимости обеспечения радиоконтроля и приграничной (международной) координации по вопросам планирования работы систем радиосвязи. Обеспечение радиоконтроля обеспечивает защиту принципа необходимости организации электромагнитной совместимости (ЭМС) РЭС разных служб, как и международная координация. Эти принципы принадлежат не только технической ограничительной группе, но и регламентарной.

Регламентарная группа содержит в себе принципы, отражающие современные решения по вопросам управления использованием РЧС и распределения РЧР. Эту группу можно назвать группой дополнений. К таковым в Российской Федерации относятся:

- разрешительный порядок доступа пользователей к радиочастотному спектру;
- право доступа всех пользователей к радиочастотному спектру с учетом государственных приоритетов, в том числе обеспечения радиочастотным спектром радиослужб Российской Федерации в целях обеспечения безопасности граждан, обеспечения связи для нужд органов государственной власти, обороны страны и безопасности государства, правопорядка, экологической безопасности, предотвращения чрезвычайных ситуаций техногенного характера;
- платность использования радиочастотного спектра;
- необходимость проведения конверсии радиочастотного спектра.

Анализируя этот ряд принципов можно выделить следующее:

- РЧР является собственностью государства. Права на его использование выдаются операторам связи посредством конкурсов, а не аукционов. У данного решения есть свои достоинства и недостатки, описанные выше в пункте 2.1 диссертации. Следует лишь подчеркнуть, что конкурсная система очень сильно зависит от объективности составителей конкурсов для обеспечения справедливого и конкурентного проведения конкурсов на частоты. Также необходимо подчеркнуть, что государство определяет, для каких служб и для каких конкретных технологий распределяется радиочастотный ресурс. На конкурс выносятся полосы частот в соответствие с этим решением и в конкурсе участвуют операторы соответствующих услуг;
- распределение РЧР должно согласовываться с принципами необходимости обеспечения радиоконтроля и приграничной (международной) координации по вопросам планирования работы систем радиосвязи, однако решение о распределении

одних и тех же полос частот в каждой стране принимается самостоятельно администрациями связи;

- при распределении частот, необходимо учитывать интересы Минобороны в рамках реализации принципов технической группы, однако при возможности проводить конверсию РЧС от правительственного и совместного использования к гражданскому (коммерческому);
- операторы связи платят за использование РЧР на протяжении всего действия их лицензии. Лицензии выдаются на определённый срок, что позволяет выполнять ряд принципов социально-экономической группы.

Социально-экономическую группу системы принципов распределения РЧР можно назвать группой выбора. Если технические и регламентарные принципы ограничивают круг возможных решений о распределении, то принципы экономической группы являются определяющими эти решения. Регламентарный принцип платности использования радиочастотного спектра частично ограничивает возможности распределения (например, из-за платы за спектр слабо развито любительское радио), однако обеспечивает реализацию принципа экономической группы – деятельность администрация связи страны должна быть самоокупаемой. Самоокупаемость деятельности администрации связи позволит государству лучше обеспечивать такие убыточные, но необходимые функции, как радиоконтроль. Кроме того, достаточная финансовая независимость регулятора позволяет быстрее проводить конкурсы на частоты, что позволяет оперативно наполнять рынки связи новыми услугами. Принцип недопустимости бессрочного выделения полос радиочастот, присвоения радиочастот или радиочастотных каналов также ограничивает возможности распределения (невозможно передать весь частотный ресурс одному оператору, который сможет более эффективно его использовать с точки зрения принципов необходимости организации электромагнитной совместимости (ЭМС) РЭС разных служб и необходимости обеспечения радиоконтроля), однако обеспечивает принципы обеспечения конкурентной среды и необходимость внедрения новых и перспективных радиотехнологий. Обеспечение конкурентной среды подразумевает под собой сдерживание естественной монополизации на рынках услуг связи, а внедрение новых и перспективных радиотехнологий позволяет лучше и больше обеспечить рынки связи новыми услугами, а также следовать научно-техническому прогрессу.

Государство определяет, для каких служб и для каких конкретных технологий распределяется радиочастотный ресурс. Вместе с принципом разрешительного порядка доступа пользователей к радиочастотному спектру, этот принцип позволяет сформулировать важнейший принцип экономической группы – первичность социальных потребностей. Под этим принципом понимается необходимость социально-направленного подхода, при котором распределение высвобождаемых полос частот опирается в первую очередь на потребности населения в тех или иных услугах связи, а уже во вторую очередь – на коммерческий эффект.

Литература

1. Костин В.Н., Тишина Н.А. Статистические методы и модели: Учебное пособие. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 138 с.

2.Кузнецов Д.Ю., Трошина Т.Л. Кластерный анализ и его применение // Ярославский педагогический вестник, – 2006. – С. 6 – 7.

3. Володина. Е. Е., Плосский А. Ю. Экономическое обоснование вариантов организации региональной транспортной сети для наземного эфирного цифрового телевидения // – М.: T-Comm, 2011. – №10.
4. Володина. Е. Е., Девяткин. Е. Е., Веерпалу. Д. В. Схемы мониторинга мероприятий по развитию цифрового наземного телерадиовещания в России // Материалы XXXI конференции РАЕН «Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». – 2012, – С. 48-55.

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ КУРСА ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ 1G -4G В МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

М. С. Лохвицкий,
Московский технический университет связи и информатики,
заместитель директора института повышения квалификации, к.т.н.,
111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8А,
e-mail: msl2@mtuci2.ru

УДК 621.391.2

Аннотация. В связи с переходом компаний операторов мобильной связи на системы 4-го поколения, перед ними стоит задача переподготовки специалистов. Подготовка технических специалистов должна проходить, по нашему мнению, в специализированных учебных центрах фирм вендеров оборудования. Остальные сотрудники компаний могут проходить переподготовку дистанционно. Предлагается программа курса дистанционного обучения в ИПК МТУСИ.

Ключевые слова: мобильная связь, 4-ое поколение, переподготовка специалистов, дистанционное обучение, ИПК МТУСИ.

THE EXPERIENCE OF THE DISTANCE LEARNING COURSE: 1G-4G IN MOBILE COMMUNICATION

Mikhail Lokhvitskiy,
Moscow technical university of communications and informatics,
vice director of advance training telecommunications institute, p. h. d.
111024, Moscow, Aviamotornaya St., 8A,
e-mail: msl2@mtuci2.ru

Annotation. Due to the transition operators of mobile communication systems to 4th generation systems, they should solve the problem of retraining. In our opinion The training of technicians should be in specialized training centers of firms, vendors of equipment. The rest of the employees can undergo training remotely. We offer a program distance learning course in ATTI of MTUCI.

Keywords: mobile Communications, 4th generation, refresher training, distance learning, IPK MTUCI.

Одной из актуальных задач, стоящих перед компаниями мобильной связи является переход к 4-му поколению мобильной связи. В связи с этим перед учебными центрами стоит задача подготовки и переподготовки кадров, способных справиться с поставленными задачами.

Современное оборудование характеризуется высокой надежностью, поэтому существенно уменьшается количество технического и инженерного персонала, которое не

обходимо для его обслуживания с одновременным увеличением уровня квалификации этих специалистов. По нашему мнению, подготовка таких специалистов должна проводится в специализированных учебных центрах, например, при фирмах – вендоров оборудования. С другой стороны, резко увеличивается число людей, которые работают в компаниях мобильной связи, но в подразделениях не связанных непосредственно с оборудованием. Тем не менее, эти работники должно четко представлять, основные принципы работы телекоммуникационной системы. Работники должны знать основные понятия сотовой связи: конфигурация сот, хэндовер. роуминг и т.д. Как правило, большинство работников этой категории не имеют не только связного образования, но и базового технического. С учётом выше сказанного в ИПК МТУСИ был разработан курс дистанционного обучения по основам мобильной связи. Курс рассчитан для неспециалистов в области связи. Курс сделан с большим числом цветных иллюстраций с элементами мультимедиа. Основная упор в курсе делается на стандарты GSM, UMTS и LTE. Для того, чтобы было, понятно, как построен курс мы приведем здесь его содержание.

Содержание курса

1. Разновидности сетей подвижной телефонной связи, этапы их развития.
2. Основные принципы построения сетей сотовой связи
3. Эффект замирания сигнала по радиоканалу при многолучевом распространении сигнала по радиоканалу.
4. Методы множественного доступа
4.1 Множественный доступ с частотным разделением каналов
4.2 Множественный доступ с временным разделением каналов
4.3 Множественный доступ с кодовым разделением каналов
5. Спектр сигнала и спектр GSM
5.1 Понятие спектра сигнала
5.2 Спектр GSM
6. Структура сети сотовой подвижной связи
6.1 Подсистема базовой станции BSS
6.1.1 Процедура Хэндовер
6.2. Подсистема сети NSS
6.3. Подсистема эксплуатации и обслуживания OSS
7. Особенности преобразования речевого, сигнала в цифровой в сотовой связи.
7.1 Преобразование речи
7.2 Канальное кодирование
7.2.1 Блочное кодирование
7.2.2 Свёрточное кодирование
7.3 Перемежение
7.4 Кодирование и перемежение в стандарте GSM
8. Структура TDMA кадров в стандарте GSM
9. Алгоритмы обучения в сотовой связи.
10. Организация физических и логических каналов
11. Основные функции, принципы функционирования сети.
11.1 Аутентификация
11.2 Шифрование
11.3 Основные услуги сети

11.4 Дополнительные виды услуг
12. Сценарии установления соединений в стандарте GSM
12.1 Включение подвижной станции
12.2 Вызов на мобильную станцию
12.3 Вызов, исходящий от мобильной станции
12.4 Состояния мобильной станции и их корректировка
12.4.1 Отключённая мобильная станция
12.4.2 Мобильная станция в режиме ожидания
12.4.3 Мобильная станция в режиме ожидания. Корректировка зоны местоположения
13. Развитие сетей GSM.
13.1 Высокоскоростная передача данных HSCSD.
13.2. Пакетная передача данных GPRS
13.3 Технология EDGE
14. Мобильная связь 3-го поколения
14.1 Семейство стандартов IMT-2000
14.2 Технологии HSDPA и HSUPA
14.3 Системы радиодоступа Wi-Fi и WiMAX
15. Мобильная связь 4-го поколения
15.1 Радиочастотный спектр LTE
15.2. Функции и технологические возможности LTE-Advanced
15.3. Специфика использования спектра для LTE-Advanced – агрегация несущих
15.4. Структура сети LTE
15.5. Метод доступа OFDM

Литература

1. Лохвицкий М.С., Мардер Н.С. Сотовая связь: от поколения к поколению. – М.: Изд-во Икар, 2014. – 236 с.
2. Шахгильдян В.В., Лохвицкий М.С. Методы адаптивного приема сигналов. – М.: Изд-во Связь, 1974. – 160 с.
3. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура. – М.: Изд-во Экотрендз, 2010. – 284 с.
4. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. М.: Мобильные ТелеСистемы – Эко-трендз, 1997. – 237 с.