

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра радиотехнических устройств

**К.Л. Горбачев, В.М. Козел**

***РАСЧЕТ РАДИОЧАСТОТНОГО РЕСУРСА,  
НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ***

Учебное пособие  
по курсу «Системы мобильной радиосвязи»  
для студентов специальности «Радиотехника»  
всех форм обучения

Минск 2005

УДК 621.396.2 (075.8)

ББК 32.884.1 я 73

Г 67

Рецензент:  
зав. НИЛ 1.7 НИЧ БГУИР,  
канд. техн. наук В.И. Мордачев

**Горбачев К.Л.**

Г 67      Расчет радиочастотного ресурса, необходимого для функционирования системы подвижной связи: Учеб. пособие по курсу «Системы мобильной радиосвязи» для студ. спец. «Радиотехника» всех форм обуч. / К.Л. Горбачев, В.М. Козел. – Мн.: БГУИР, 2005. – 28 с.  
ISBN 985-444-835-5

В пособии изложена методика расчета радиочастотного ресурса, необходимого для функционирования системы подвижной связи с заданными параметрами (виды и качество предоставляемых услуг подвижной связи, зона обслуживания и др.), приведены параметры эффективности использования радиочастотного ресурса системой связи. В качестве примера приведен расчет радиочастотного ресурса, необходимого для развертывания в г. Минске системы подвижной связи 3-го поколения.

**УДК 621.396.2 (075.8)**  
**ББК 32.884.1 я 73**

ISBN 985-444-835-5

© Горбачев К.Л., Козел В.М., 2005  
© БГУИР, 2005

## СОДЕРЖАНИЕ

### ВВЕДЕНИЕ

#### 1. МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАДИОЧАСТОТНОГО РЕСУРСА СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

- 1.1. Базовое соотношение для расчета РЧР СПС
- 1.2. Расчет географических параметров СПС
- 1.3. Расчет трафика, образуемого пользователями СПС
- 1.4. Расчет технических параметров СПС, определяющих ее емкость
- 1.5. Расчет суммарного РЧР

#### 2. ПРИМЕР РАСЧЕТА РЧР, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ СПС 3-го ПОКОЛЕНИЯ (IMT-2000) в г. МИНСКЕ

- 2.1. Принципы построения и предоставляемые услуги связи СПС 3-го поколения (IMT-2000)
- 2.2. Исходные данные для расчета РЧР, необходимого для развертывания СПС 3-го поколения (IMT-2000)
- 2.3. Расчет минимально необходимого РЧР СПС 3-го поколения (IMT-2000) в г.Минске

#### 3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЧР

- 3.1. Коэффициент использования РЧР
- 3.2. Эффективность использования РЧР
- 3.3. Относительная эффективность использования РЧР

## ВВЕДЕНИЕ

Радиочастотный ресурс (РЧР) является ключевым параметром системы подвижной связи (СПС), связанным как с основными возможностями СПС с точки зрения предоставления услуг подвижной связи, так и с используемыми технологиями обработки и передачи информации.

РЧР можно определить как диапазон/полосу частот (непрерывный или в виде набора непересекающихся поддиапазонов/подполос), заданный в пределах определенного пространства (или площади) и в течение определенного времени (обычно диапазон/полоса частот выделяется СПС в течение непрерывного времени). Таким образом, РЧР характеризуется тремя параметрами: частотой, пространством и временем.

При неизменной величине выделенного РЧР разработчику СПС приходится искать компромисс между качеством реализуемых услуг подвижной связи, емкостью (максимальным количеством обслуживаемых пользователей) системы связи и сложностью обработки информации в канале связи. С другой стороны, повышение емкости СПС при неизменном качестве услуг и способе обработки информации в канале связи требует увеличения используемого РЧР.

В последние годы с ростом числа вводимых в эксплуатацию различных систем радиосвязи, в первую очередь СПС, обострилась проблема нехватки и, следовательно, рационального использования РЧР. Соответственно возникла задача расчета РЧР, необходимого для развертывания СПС с заданными параметрами, а также расчета параметров СПС по известному выделенному РЧР.

Методика расчета РЧР, необходимого для полноценного функционирования наземного сегмента СПС, определена Международным союзом электросвязи (МСЭ) в Рекомендации ITU-R M.1390 «Methodology For The Calculation Of IMT-2000 Terrestrial Spectrum Requirements» для систем подвижной связи 3-го поколения (СПС стандарта IMT-2000), однако может быть использована для СПС любого стандарта.

# 1. МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАДИОЧАСТОТНОГО РЕСУРСА СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

## 1.1. Базовое соотношение для расчета РЧР СПС

Радиочастотный ресурс (РЧР), необходимый для полноценного функционирования наземного сегмента системы подвижной связи, определяется следующим образом:

$$F_{\text{Тerr}} = \beta \cdot \sum \alpha_{es} \cdot F_{es} = \beta \cdot \sum \frac{\alpha_{es} \cdot T_{es}}{S_{es}} \quad [\text{МГц}], \quad (1)$$

где  $\beta$  – корректирующий множитель;

$\alpha_{es}$  – весовой множитель;

$T_{es}$  – трафик на элементарную ячейку зоны обслуживания, (кбит/с)/ячейка;

$S_{es}$  – спектральная емкость СПС, (кбит/с)/МГц/ячейка.

Индексы «e» и «s» во входящих в выражение (1) переменных относятся соответственно к условиям эксплуатации СПС и предоставляемым услугам подвижной связи.

Расчет необходимого РЧР зависит от четырех основных групп параметров:

- географическое расположение зоны обслуживания СПС, конфигурация и размеры элементарной ячейки (соты);
- трафик, образуемый пользователями услуг подвижной связи;
- технические параметры СПС, характеризующие ее емкость;
- корректирующие коэффициенты, зависящие от условий эксплуатации СПС.

## 1.2. Расчет географических параметров СПС

Расчет географических параметров при определении РЧР СПС осуществляется в приведенной ниже последовательности.

- Выбор условий эксплуатации сети (индекс «е» в переменных выражения (1)). Условия эксплуатации зависят от комбинации параметров плотности пользователей в зоне обслуживания и их мобильности, как показано в табл.1.1.

Таблица 1.1

Мобильность пользователей (Mobility)	Стационарные/в помещении (In-building/Home)	Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)	Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)
Плотность пользователей (Density)			
Деловой центр города (Dense Urban)			
Город (Urban)			
Пригород (Suburban)			
Сельская местность (Rural)			

С точки зрения плотности пользователей различают следующие возможные области зоны обслуживания СПС: деловой центр города (Dense Urban), город (Urban), пригород (Suburban), сельская местность (Rural). По мобильности (возможной скорости передвижения во время сеанса связи) пользователи делятся на следующие типы:

- стационарные/в помещении (In-building/Home);
- малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian) – возможная скорость передвижения не более 10 км/ч;
- высокая подвижность/автомобили (Vehicular) – возможная скорость передвижения до 250 км/ч.

Для любого типа зоны обслуживания возможны все три типа пользователей, соответственно расчет необходимого РЧР может быть произведен для всех комбинаций условий эксплуатации сети. Однако очевидно, что наибольшее значение РЧР получается для областей с максимальной плотностью пользователей. Поэтому

му расчет РЧР можно провести только для зоны обслуживания СПС с максимальной плотностью пользователей (например, если в зону обслуживания СПС входят крупные города, то расчет РЧР можно провести для делового центра города/города).

- Выбор направления рассчитываемого канала связи: от базовой станции к абонентскому терминалу (Downlink) или от абонентского терминала к базовой станции (Uplink). Учет направления канала связи обусловлен возможной несимметричностью трафика ряда услуг подвижной связи, реализуемой СПС (например, передача мультимедиа, где асимметричность трафика может достигать по данным различных источников от 16:1 до 200:1).

- Выбор конфигурации и размеров элементарной ячейки (соты) зоны обслуживания СПС. Обычно используется два типа сот: круговая элементарная ячейка со всенаправленной антенной базовой станции, характеризуемая диаметром/радиусом, либо шестиугольная со всенаправленной или секторизованной антенной базовой станции, характеризуемая радиусом описанной окружности.

- Расчет площади элементарной ячейки (соты) зоны обслуживания –  $Cell\_Area_e$  [км<sup>2</sup>].

Площадь круговой ячейки радиусом  $R$  равна:

$$S = \pi \cdot R^2. \quad (2)$$

Площадь шестиугольной ячейки с радиусом описанной окружности  $R$  и площади секторов для 120°- и 60°-секторной антенны базовой станции соответственно равны:

$$S_{360} = \frac{3}{2} \cdot \sqrt{3} \cdot R^2, \quad (3)$$

$$S_{120} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot R^2, \quad (4)$$

$$S_{60} = \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot R^2. \quad (5)$$

### 1.3. Расчет трафика, образуемого пользователями СПС

Расчет трафика, образуемого пользователями, при определении необходимого РЧР СПС осуществляется в такой последовательности.

- Выбор услуги подвижной связи (индекс «s» в переменных выражения (1)) и соответственно скорости передачи информации в рассчитываемом канале связи –  $Net\_User\_Bit\_Rate_s$  [кбит/с].

Современными СПС могут предоставляются следующие услуги подвижной связи (на примере СПС стандарта IMT-2000):

- голосовая связь (Speech/S);
- короткие сообщения (Simple Message/SM);
- передача данных (Switched Data/SD);
- среднескоростная мультимедиа (Medium Multimedia/MMM);
- высокоскоростная мультимедиа (High Multimedia/HMM);
- интерактивная мультимедиа (High Interactive Multimedia/HIMM).

Соответственно расчет РЧР ведется для всех предоставляемых услуг.

- Определение плотности населения (потенциальных пользователей) в зоне обслуживания –  $Population\_Density_e$  [чел./км<sup>2</sup>].

Плотность населения определяется для выбранной зоны обслуживания на основе демографических данных. В табл. 1.2 приведены примеры плотности населения для западноевропейских стран, используемые для расчетов необходимого РЧР СПС Международным союзом электросвязи (МСЭ) и Европейской ассоциацией операторов СПС стандарта IMT-2000 (UMTS Forum).

Таблица 1.2

Условия эксплуатации сети	Плотность населения по данным МСЭ, чел./км <sup>2</sup>	Плотность населения по данным UMTS Forum, чел./км <sup>2</sup>
Деловой центр города/город, в помещении (CBD/Urban in building)	250 000	180 000
Пригород, в помещении или на улице (Suburban in building or on street)	---	7 200

Условия эксплуатации сети	Плотность населения по данным МСЭ, чел./км <sup>2</sup>	Плотность населения по данным UMTS Forum, чел./км <sup>2</sup>
Жилые районы города, в помещении (Home in building)	---	380
Город/пешеходы (Urban pedestrian)	100 000	108 000
Город/автомобили (Urban vehicular)	3 000	2 780
Сельская местность, внутри и вне помещения (Rural in- & out-door)	---	36

- Определение процента пользователей услуг подвижной связи от общей численности населения (потенциальных пользователей) –  $Penetration\_Rate_{es}$  [%].

Процент пользователей услуг подвижной связи обычно прогнозируется на основе имеющихся данных динамики роста пользователей уже функционирующих СПС.

- Расчет числа пользователей услуг подвижной связи в элементарной ячейке (cote) зоны обслуживания СПС –  $Users\_Cell_{es}$  [чел.]:

$$Users\_Cell_{es} = Population\_Density_e \cdot Penetration\_Rate_{es} \cdot Cell\_Area_e. \quad (6)$$

- Определение исходных данных параметров трафика, образуемого пользователями услуг подвижной связи:

- 1) число вызовов (заявок) в час наибольшей загрузки –  $Busy\_Hour\_Call\_Attempts_{es}$ ;

- 2) эффективная продолжительность вызова (сеанса связи) –  $Effective\_Call\_Duration_{es}$  [с];

- 3) корректирующий множитель активности абонента –  $Activity\_Factor_{es}$ .

- Расчет трафика, образуемого одним пользователем СПС –  $Traffic/Users_{es}$  [вызов·с]:

$$Traffic / User_{es} = Busy\_Hour\_Call\_Attempts_{es} \times Effective\_Call\_Duration_{es} \cdot Activity\_Factor_{es}. \quad (7)$$

Трафик может быть выражен в эрлангах (Эрл), где Эрл = вызов·с/3600.

- Расчет прогнозируемого трафика на элементарную ячейку (соту) зоны обслуживания СПС –  $Offered\_Traffic/Cell_{es}$  [вызов·с/ячейка]:

$$Offered\_Traffic / Cell_{es} = Traffic / User_{es} \cdot Users / Cell_{es}. \quad (8)$$

Прогнозируемый трафик может быть выражен в эрлангах, где Эрл = вызов·с/3600.

- Выбор метода и параметров расчета качества обслуживания (GOS – Grade of Service), являющихся основой для расчета числа каналов связи, необходимых для реализации заданной интенсивности трафика.

В соответствии с рекомендациями МСЭ в расчете РЧР используются два метода определения числа каналов связи, необходимых для реализации заданной интенсивности трафика:

- для коммутируемых каналов связи (голосовая связь/Speech, передача данных/Switched Data, интерактивная мультимедиа/High Interactive Multimedia) используется модель обслуживания Erlang-B с блокированием вызовов. Для СПС общего пользования процент блокируемых вызовов обычно принимается равным 2;

- для каналов связи с пакетной передачей информации (короткие сообщения/Simple Message, среднескоростная мультимедиа/Medium Multimedia, высокоскоростная мультимедиа/High Multimedia) необходимое число каналов связи определяется как ближайшее большее целое от интенсивности трафика в эрлангах на кластер.

- Выбор конфигурации сети связи с точки зрения повторного использования радиоканалов – размерность кластера  $Group\_Size_{es}$ .

Под кластером понимается совокупность элементарных ячеек (сот), в которых без повторения используются все каналы связи, выделенные СПС. Используемая при построении сети СПС размерность кластера определяется минимальным отношением (сигнал/соканальная помеха) для приемника абонентской станции СПС и типом используемой на базовых станциях сети антенны (всенаправленная/секторная).

- Расчет прогнозируемого трафика на группу элементарных ячеек (сот), образующих кластер [Эрл]:

$$Offered\_Traffic / Cell_{es} \cdot Group\_Size_{es}. \quad (9)$$

#### 1.4. Расчет технических параметров СПС, определяющих ее емкость

Расчет технических параметров СПС, определяющих ее емкость, при определении необходимого РЧР осуществляется в приведенной ниже последовательности.

- Расчет числа каналов связи на группу (кластер) элементарных ячеек (сот) зоны обслуживания  $Service\_Channels/Group_{es}$ , необходимых для реализации прогнозируемого трафика  $Offered\_Traffic/Cell_{es} \cdot Group\_Size_{es}$ . Расчет производится по выбранному методу и параметрам качества обслуживания.

- Расчет числа каналов связи на элементарную ячейку (соту) зоны обслуживания  $Service\_Channels/Cell_{es}$ , необходимых для реализации заданного трафика  $Offered\_Traffic/Cell_{es}$ :

$$Service\_Channels/Cell_{es} = \frac{Service\_Channels/Group_{es}}{Group\_Size_{es}}. \quad (10)$$

- Определение скорости передачи информации в канале связи для различных видов услуг подвижной связи –  $Service\_Channel\_Bit\_Rate_{es}$  [кбит/с]. Данные берутся из технических параметров СПС.

- Расчет трафика на элементарную ячейку зоны обслуживания –  $T_{es}$  [(кбит/с)/ячейка]:

$$T_{es} = Service\_Channels/Cell_{es} \cdot Service\_Channel\_Bit\_Rate_{es}. \quad (11)$$

- Определение спектральной емкости СПС –  $S_{es}$  [(кбит/с)/МГц/ячейка].

Спектральная емкость  $S_{es}$  является ключевым параметром при расчете РЧР и представляет собой комплексный показатель, учитывающий вид модуляции сигнала, используемые методы разделения каналов связи, качество предоставляемых услуг и другие технические параметры. Под спектральной емкостью СПС с услугами подвижной связи смешанного типа понимается минимальная скорость передачи информации [(кбит/с)/МГц/ячейка], при которой одной из услуг соответствует  $x$  % обслуживаемых пользователей, а любой другой из предоставляемых услуг соответствует не менее  $x$  % обслуживаемых пользователей (рис. 1.1). Факти-

чески при таком определении под спектральной емкостью СПС понимают предельную скорость передачи информации, с которой  $x$  % пользователей в системе обеспечиваются всеми видами из предоставляемых услуг подвижной связи.

Например, спектральная емкость системы сотовой связи стандарта GSM – 67 (кбит/с)/МГц/ячейка для речевого канала связи и 73 (кбит/с)/МГц/ячейка для остальных услуг.

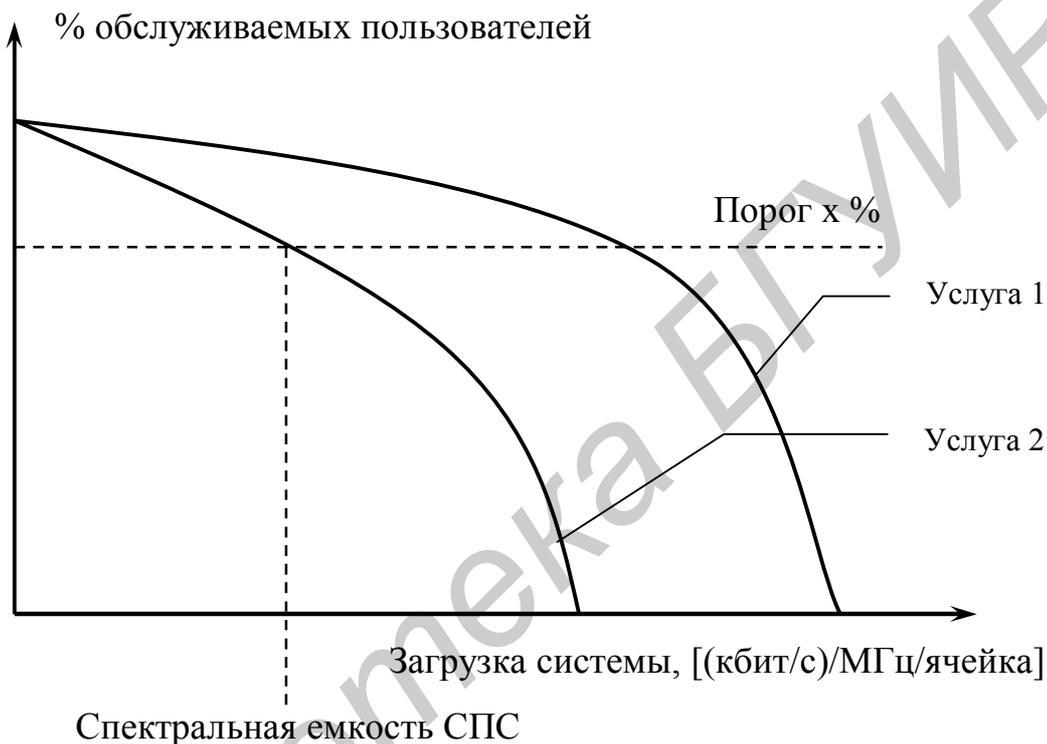


Рис.1.1. Спектральная емкость СПС

### 1.5. Расчет суммарного РЧР

Расчет суммарного РЧР СПС осуществляется в такой последовательности.

- Расчет необходимого РЧР для выбранных условий эксплуатации сети СПС и предоставляемых услуг подвижной связи (соответственно по индексам «e» и «s» переменных в выражениях (6) – (11)), а также для направления канала связи (Uplink и Downlink):

$$F_{es} = \frac{T_{es}}{S_{es}} \quad [\text{МГц}]. \quad (12)$$

Расчет повторяется по всем определенным условиям эксплуатации сети СПС, предоставляемым услугам подвижной связи и направлению канала связи.

- Определение весового множителя  $\alpha_{es}$  для каждой составляющей  $F_{es}$  суммарного РЧР. Весовой множитель  $\alpha_{es}$  может варьироваться в пределах от 0 до 1 и предназначен для учета следующих моментов при реализации СПС:

- перекрывание элементарных зон обслуживания;
- неравномерность поступления заявок (вызовов) в течение часа наибольшей нагрузки, для которого рассчитывается РЧР.

- Определение корректирующего множителя  $\beta$ . Корректирующий множитель  $\beta$  предназначен для учета различных факторов, приводящих к увеличению необходимого РЧР СПС:

- наличие нескольких операторов однопользовательских сетей СПС, что приводит к снижению спектральной емкости сети и эффективности обслуживания пользователей за счет неравномерного распределения последних между операторами;

- необходимость введения защитных полос частот для обеспечения условий электромагнитной совместимости с однопользовательскими и иными радиоэлектронными службами;

- дискретность РЧР, образованного радиоканалами фиксированной ширины.

При равномерном распределении пользователей между СПС нескольких операторов корректирующий множитель  $\beta$  может быть рассчитан по выражению [3]:

$$\beta = \frac{n \cdot S(E_s/n)}{S(E_s)}, \quad (13)$$

где  $n$  – число операторов сетей СПС;

$E_s$  – интенсивность прогнозируемого трафика на группу элементарных ячеек (сот) для передачи речевой информации;

$S(E_s)$  – число каналов связи, необходимых для реализации прогнозируемого трафика  $E_s$ , рассчитанное по модели обслуживания Erlang-B с вероятностью блокирования вызова 2 %.

- Расчет суммарного необходимого РЧР СПС:

$$F_{\text{Терр}} = \beta \cdot \sum \alpha_{es} \cdot F_{es} \quad [\text{МГц}]. \quad (14)$$

## **2. ПРИМЕР РАСЧЕТА РЧР, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ СПС 3-го ПОКОЛЕНИЯ (ИМТ-2000) в г. МИНСКЕ**

### **2.1. Принципы построения и предоставляемые услуги связи СПС 3-го поколения (ИМТ-2000)**

Система подвижной связи ИМТ-2000 (International Mobile Telecommunication - 2000), ранее известная как FPLMTS (Future Public Land Mobile Telephone System), представляет собой глобальную СПС общего пользования 3-го поколения, которая будет включать несколько международных региональных и национальных систем с возможностью всемирного роуминга. Развертывание СПС 3-го поколения в Европе началось с 2002 г.

Вопросы, связанные с разработкой и аспектами внедрения системы ИМТ-2000, рассматриваются в рамках Международного союза электросвязи (МСЭ) начиная с 1985 г., разработка европейского подхода к созданию ИМТ-2000 в рамках Европейского института стандартизации электросвязи (ETSI) начата с 1990 г. В рамках Европейского союза система подвижной связи 3-го поколения получила название UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), а технология радиоинтерфейса наземного сегмента UMTS, разработанная ETSI, – UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA).

Основные положения системы ИМТ-2000 определены Рекомендацией МСЭ М.687-2 «International Mobile Telecommunications-2000 (ИМТ-2000)»:

1. Высокая степень унификации оборудования в глобальном масштабе.
2. Совместимость услуг связи системы ИМТ-2000 с услугами сетей проводной связи, в первую очередь с ISDN.
3. Высокое качество обслуживания пользователей.
4. Удобное портативное абонентское оборудование.
5. Всемирный роуминг.
6. Высокая гибкость сетей ИМТ-2000 к возможности поддержания вновь появляющихся видов услуг связи.

## 7. Предоставление услуг мультимедиа.

Основным факторами, обусловившими эволюцию от существующих СПС 2-го поколения (например стандарта GSM) к IMT-2000, стали рост потребностей в услугах высокоскоростной передачи данных и необходимость в повышении эффективности использования РЧР. До недавнего времени передача голосовой информации была основным видом услуг в СПС. По мере того, как технологический прогресс обуславливает возможность реализации дополнительных услуг связи, предоставляемых проводными сетями связи, возникает и возрастает спрос на аналогичные услуги и в СПС. В табл. 2.1 приведены услуги связи, реализованные и планируемые к предоставлению в IMT-2000.

Требования к скорости передачи мультимедиа для системы IMT-2000 выбирались в соответствии с требованиями к цифровым сетям с интеграцией служб ISDN:

- Скорость передачи 144 кбит/с предусмотрена для организации канала интерактивного мультимедиа (High Interactive Multimedia/НИММ) для уровня макросот, обеспечивающего 100 %-е покрытие территории и обслуживание абонентов с высокими скоростями передвижения (до 250 км/ч).
- Скорость передачи 384 кбит/с предусмотрена для организации канала среднескоростного мультимедиа (Medium Multimedia/МММ) для уровня микросот, обеспечивающего локальное покрытие отдельных областей территории с высокими требованиями по загрузке и обслуживанию абонентов с малыми и средними скоростями передвижения (более 10 км/ч).
- Скорость передачи 2000 кбит/с предусмотрена для организации канала высокоскоростного мультимедиа (High Multimedia/НММ) для уровня пикосот, обеспечивающего покрытие отдельных помещений внутри зданий и обслуживание в основном стационарных или перемещающихся внутри зданий абонентов.

Таблица 2.1

Услуга связи	Скорость передачи информации, downlink/uplink, кбит/с	Тип соединения	Особенность трафика
Голосовая связь (Speech/S)	16/16	Коммутируемый (CS - Circuit Switch)	Симметричный
Передача коротких сообщений (Simple Message/SM)	14/14	Пакетный (PS - Packet Switch)	Симметричный
Передача данных (Switched Data/SD)	64/64	CS	Симметричный
Среднескоростная мультимедиа (Medium Multimedia/MMM)	384/64	PS	Несимметричный
Высокоскоростная мультимедиа (High Multimedia/HMM)	2000/128	PS	Несимметричный
Интерактивная мультимедиа (High Interactive Multimedia/HIMM)	128/128	PS	Симметричный

Необходимо отметить, что каналы среднескоростного мультимедиа (Medium Multimedia/MMM) и высокоскоростного мультимедиа (High Multimedia/HMM) характеризуются резкой асимметрией трафика в направлениях базовая станция – абонентский терминал (downlink) и абонентский терминал – базовая станция (uplink). По оценкам различных источников асимметрия этих каналов составляет соответственно 6:1 – 40:1 и 16:1 – 200:1.

Приведенные данные о скоростях передачи информации в ИМТ-2000 соответствуют первой фазе развития (до 2005 г.). Вторая фаза развития сетей ИМТ-2000 (2010 г.) предполагает повышение скорости канала высокоскоростного мультимедиа до 10 Мбит/с.

Наземный сегмент систем ИМТ-2000 будет строиться в соответствии с иерархической многоуровневой структурой: макросоты, микросоты и пикосоты (рис. 2.1). На каждом иерархическом уровне предполагается использовать свой

радиоканал, несущая частота которого отлична от несущих частот радиоканалов остальных уровней.

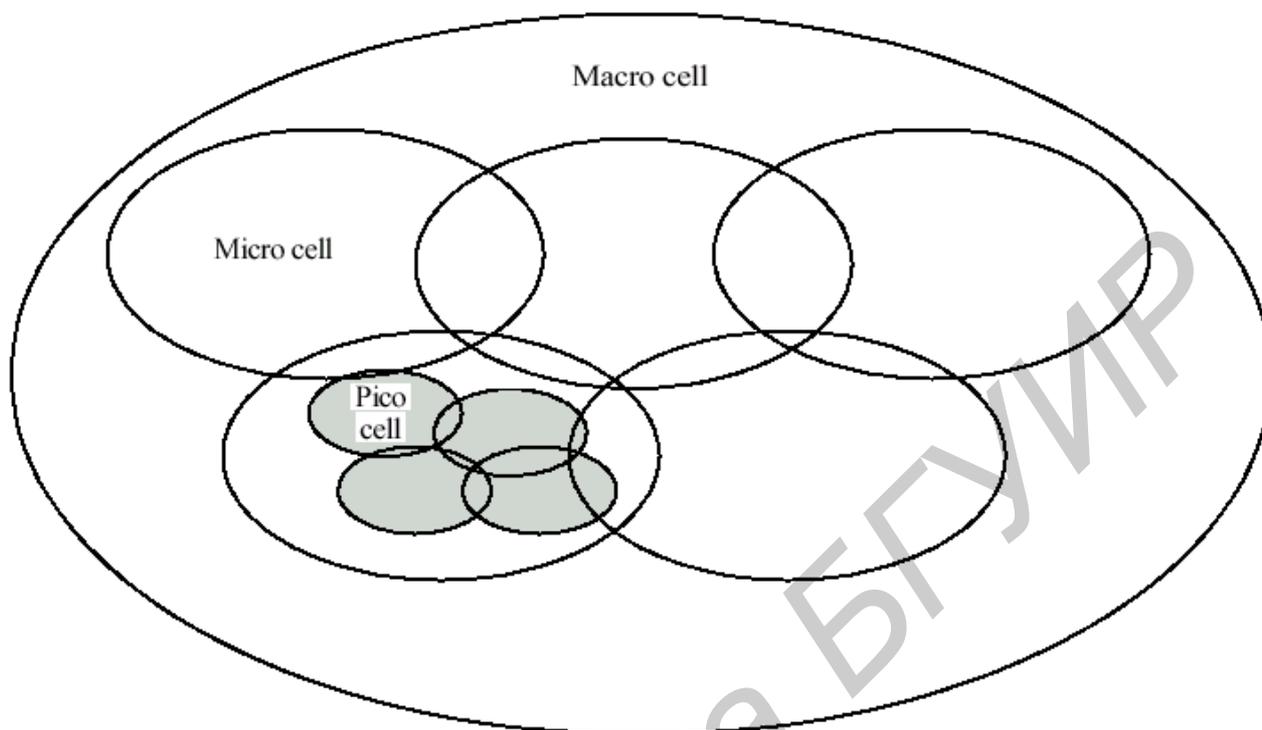


Рис. 2.1. Иерархическая структура построения зоны обслуживания системы подвижной связи 3-го поколения (IMT-2000)

Макросоты будут использоваться для обслуживания высокоскоростных абонентов и обеспечения сплошного покрытия зоны обслуживания. Микросоты будут использоваться для обслуживания абонентов вне помещений путем покрытия отдельных улиц, что обеспечивает дополнительную емкость сети подвижной связи для обработки трафика, не поддерживаемого макросотами. Микросоты будут обслуживать либо локальные площадные области, либо максимально приближаться к форме улиц и повторять их топографию. Пикосоты будут использоваться для обеспечения покрытия внутри помещений и в тех зданиях, где отмечается повышенный спрос на услуги высокоскоростной мультимедиа. Отличительной особенностью построения системы IMT-2000 является территориальное совпадение макросот, микросот и пикосот.

## 2.2. Исходные данные для расчета РЧР, необходимого для развертывания СПС 3-го поколения (IMT-2000)

Поскольку наибольшее значение необходимого РЧР получается для областей с максимальной плотностью пользователей, расчет производится для города и по всем трем типам подвижности пользователей – стационарные/в помещении, пешеходы и автомобили.

Расчет РЧР производится исходя из следующих исходных данных:

- учитываются два направления канала связи: от абонентского терминала к базовой станции (Uplink) и от базовой станции к абонентскому терминалу (Downlink);
- используются два типа элементарной ячейки (соты) зоны обслуживания – круговая со всенаправленной антенной базовой станции внутри помещений с радиусом 75 м и шестиугольная с секторизованной антенной (120°) базовой станции вне помещений с радиусом описанной окружности 700 м;
- учитываются все услуги, предоставляемые СПС 3-го поколения (табл. 2.1);
- плотность пользователей в зоне обслуживания принята равной 180 000 чел./км<sup>2</sup> (город, пользователи стационарные или в помещении), 108 000 чел./км<sup>2</sup> (город, пешеходы) и 2780 чел./км<sup>2</sup> (город, автомобили);
- предполагается, что пользователи услуги голосовой связи составляют 30 % от общего числа населения. Процент пользователей других услуг подвижной связи, реализуемых в сетях 3-го поколения, определяется пропорционально прогнозируемым данным МСЭ для 2005 г.;
- параметры трафика взяты равными прогнозируемым на 2005 г. Европейской ассоциацией операторов СПС стандарта IMT-2000 (UMTS Forum);
- используется два метода расчета числа каналов связи, необходимых для реализации заданной интенсивности трафика – для коммутируемых каналов связи используется модель обслуживания Erlang B с блокированием вызовов, процент блокируемых вызовов принимается равным 2 %, для каналов связи с пакетной пе-

редачей информации необходимое число каналов связи определяется как ближайшее большее целое от интенсивности трафика в эрлах на кластер;

- используется размерность кластера, равная 7, для всех типов элементарных ячеек (сот);
- используются скорости передачи информации в канале связи согласно табл. 2.1;
- используется спектральная емкость системы сотовой связи стандарта GSM – 67 кбит/с/МГц/ячейка для речевого канала связи и 73 кбит/с/МГц/ячейка для остальных услуг;
- весовой множитель  $\alpha_{ес}$  принимается равным 1;
- корректирующий множитель  $\beta$  рассчитывается согласно (13) для случая 1, 2 и 3 операторов.

### 2.3. Расчет минимально необходимого РЧР СПС 3-го поколения (IMT-2000) в г. Минске

Выбор условий эксплуатации сети подвижной связи			
Мобильность пользователей (Mobility)	Стационарные/в помещении (In-building/Home)	Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)	Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)
Плотность пользователей (Density)			
Город (Urban)	X	X	X

Выбор направления рассчитываемого канала связи						
Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
Направление канала связи	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink

Выбор конфигурации и размеров элементарной ячейки (соты) зоны обслуживания сети подвижной связи			
Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)	Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)	Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)
Конфигурация элементарной ячейки (соты)	Круговая ячейка, антенна базовой станции всенаправленная, радиус ячейки 75 м	Шестиугольная ячейка, антенна базовой станции трехсекторная (120°), радиус описанной окружности 700 м	

<b>Расчет площади элементарной ячейки (соты) сети подвижной связи</b>			
	Стационарные/в помещении (In-building/Home)	Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)	Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)
Площадь элементарной ячейки (соты), км <sup>2</sup>	17,7·10 <sup>-3</sup>	0,424	

<b>Выбор услуг подвижной связи</b>						
Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Голосовая связь (Speech/S)	X	X	X	X	X	X
Короткие сообщения (Simple Message/SM)	X	X	X	X	X	X
Передача данных (Switched Data/SD)	X	X	X	X	X	X
Среднескоростная мультимедиа (Medium Multimedia/MMM)			X	X		
Высокоскоростная мультимедиа (High Multimedia/HMM)	X	X				
Интерактивная мультимедиа (High Interactive Multimedia/HIMM)	X	X	X	X	X	X

<b>Определение плотности потенциальных пользователей</b>			
Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)	Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)	Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)
Плотность потенциальных пользователей, чел./км <sup>2</sup>	180000	108000	2780

### Определение процента пользователей услуг подвижной связи

Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Вид услуги						
S	30	30	30	30	30	30
SM	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
SD	5	5	5	5	5	5
MMM			3,85	3,85		
HMM	2,5	2,5				
HIMM	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25

### Расчет числа пользователей услуг подвижной связи в элементарной ячейке (cote) зоны обслуживания

Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Вид услуги						
S	956	956	13738	13738	354	354
SM	399	399	5724	5724	148	148
SD	160	160	2290	2290	59	59
MMM			1763	1763		
HMM	80	80				
HIMM	16	16	115	115	3	3

### Параметры трафика, образуемого пользователями услуг подвижной связи: число вызовов (заявок) в час наибольшей загрузки

Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Вид услуги						
S	1	1	0,6	0,6	0,6	0,6
SM	0,06	0,06	0,03	0,03	0,002	0,002
SD	0,06	0,06	0,03	0,03	0,002	0,002
MMM			0,06	0,06		
HMM	0,12	0,12				
HIMM	0,12	0,12	0,06	0,06	0,004	0,004

<b>Параметры трафика, образуемого пользователями услуг подвижной связи: эффективная продолжительность вызова (сеанса связи), с</b>						
Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Вид услуги						
S	120	120	120	120	120	120
SM	30	30	30	30	30	30
SD	156	156	156	156	156	156
MMM			14	14		
HMM	54	54				
HIMM	180	180	180	180	180	180

<b>Параметры трафика, образуемого пользователями услуг подвижной связи: корректирующий множитель активности абонента</b>						
Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Вид услуги						
S	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
SM	1	1	1	1	1	1
SD	1	1	1	1	1	1
MMM			1	1		
HMM	1	1				
HIMM	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

<b>Расчет трафика, образуемого одним пользователем, вызов·с</b>						
Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Вид услуги						
S	60	60	36	36	36	36
SM	1,8	1,8	0,9	0,9	0,06	0,06
SD	9,36	9,36	4,68	4,68	0,312	0,312
MMM			0,84	0,84		
HMM	6,48	6,48				
HIMM	17,28	17,28	8,64	8,64	0,576	0,576

<b>Расчет прогнозируемого трафика на элементарную ячейку (соту) зоны обслуживания, вызов'с/ячейка</b>						
Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Вид услуги						
S	57360	57360	494568	494568	12744	12744
SM	718,2	718,2	5151,6	5151,6	8,88	8,88
SD	1540,8	1540,8	10717,2	10717,2	18,41	18,41
MMM			1480,92	1480,92		
HMM	518,4	518,4				
HIMM	276,48	276,48	993,6	993,6	1,73	1,73

<b>Расчет прогнозируемого трафика на группу элементарных ячеек (сот), образующих кластер (7 сот на кластер), Эрл</b>						
Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Вид услуги						
S	111,53	111,53	961,66	961,66	24,78	24,78
SM	1,4	1,4	10,02	10,02	0,017	0,017
SD	3	3	20,84	20,84	0,036	0,036
MMM			2,88	2,88		
HMM	1	1				
HIMM	0,54	0,54	1,93	1,93	0,003	0,003

<b>Расчет числа каналов связи на группу (кластер) элементарных ячеек (сот) зоны обслуживания, необходимых для реализации прогнозируемого трафика</b>						
Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Вид услуги						
S	126	126	971	971	34	34
SM	2	2	10	10	1	1
SD	8	8	29	29	2	2
MMM			3	3		
HMM	1	1				
HIMM	3	3	6	6	1	1

<b>Расчет числа каналов связи на элементарную ячейку (соту) зоны обслуживания, необходимых для реализации заданного трафика</b>						
Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Вид услуги						
S	18	18	138,7	138,7	4,86	4,86
SM	0,29	0,29	1,43	1,43	0,14	0,14
SD	1,14	1,14	4,14	4,14	0,29	0,29
MMM			0,43	0,43		
HMM	0,14	0,14				
HIMM	0,43	0,43	0,86	0,86	0,14	0,14

<b>Скорость передачи информации в канале связи для различных видов услуг подвижной связи, кбит/с</b>						
Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Вид услуги						
S	16	16	16	16	16	16
SM	14	14	14	14	14	14
SD	64	64	64	64	64	64
MMM			64	384		
HMM	128	2000				
HIMM	128	128	128	128	128	128

<b>Расчет трафика на элементарную ячейку зоны обслуживания, кбит/с/ячейка</b>						
Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Вид услуги						
S	288	288	2219,2	2219,2	77,76	77,76
SM	4,06	4,06	20,02	20,02	1,96	1,96
SD	72,96	72,96	264,96	264,96	18,56	18,56
MMM			27,52	165,12		
HMM	17,92	280				
HIMM	55,04	55,04	110,08	110,08	17,92	17,92

<b>Спектральная емкость системы связи, кбит/с/МГц/ячейка (согласно Рекомендации МСЭ-R М.1390)</b>						
Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
С	67	67	67	67	67	67
SM	73	73	73	73	73	73
SD	73	73	73	73	73	73
MMM	73	73	73	73	73	73
HMM	73	73	73	73	73	73
HIMM	73	73	73	73	73	73

<b>Расчет составляющих необходимого РЧР</b>						
Условия эксплуатации сети	Стационарные/в помещении (In-building/Home)		Малая и средняя подвижность/пешеходы (Pedestrian)		Высокая подвижность/автомобили (Vehicular)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
С	4,3	4,3	33,12	33,12	1,16	1,16
SM	0,06	0,06	0,27	0,27	0,03	0,03
SD	1	1	3,63	3,63	0,25	0,25
MMM			0,38	2,26		
HMM	0,25	3,84				
HIMM	0,75	0,75	1,51	1,51	0,25	0,25

<b>Расчет суммарного РЧР сети подвижной связи, 1 оператор (весовой множитель <math>\alpha_{es} = 1</math>, корректирующий множитель <math>\beta = 1</math>)</b>	
Суммарный РЧР, МГц	<b>99,39</b>
РЧР для услуг передачи мультимедиа (MMM и HMM), МГц	<b>6,73</b>

<b>Расчет суммарного РЧР сети подвижной связи, 2 оператора (весовой множитель <math>\alpha_{es} = 1</math>, корректирующий множитель <math>\beta = 1,02</math>)</b>	
Суммарный РЧР, МГц	<b>101,38</b>
РЧР для услуг передачи мультимедиа (MMM и HMM), МГц	<b>6,86</b>

<b>Расчет суммарного РЧР сети подвижной связи, 3 оператора (весовой множитель <math>\alpha_{es} = 1</math>, корректирующий множитель <math>\beta = 1,04</math>)</b>	
Суммарный РЧР, МГц	<b>103,37</b>
РЧР для услуг передачи мультимедиа (MMM и HMM), МГц	<b>7</b>

### 3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЧР

При анализе существующей или проектируемой СПС либо при сравнении нескольких СПС аналогичного назначения возникает проблема комплексной оценки качества системы связи, в том числе и эффективности использования РЧР. Параметры использования РЧР системой подвижной связи определены МСЭ в Рекомендации ITU-R SM.1046-1 «Definition of Spectrum Use and Efficiency of a Radio System».

#### 3.1. Коэффициент использования РЧР

Коэффициент использования РЧР (SUF – Spectrum Utilization Factor) определяется следующим образом:

$$SUF = B \cdot S \cdot T, \quad (15)$$

где  $B$  – диапазон/полоса частот, выделенный системе связи [МГц];

$S$  – объем пространства (обычно площадь территории), в пределах которого системе связи выделен диапазон частот  $B$  [км<sup>3</sup>] или [км<sup>2</sup>];

$T$  – нормированное время работы системы связи. Если диапазон частот выделен системе связи в постоянное использование, то  $T = 1$ .

С точки зрения электромагнитной совместимости (ЭМС) систем связи параметр  $S$  в (15) целесообразно определять не как площадь зоны обслуживания СПС (территорию, в пределах которой напряженность электромагнитного поля передатчиков системы связи достаточна для приема передаваемой информации с заданным качеством), а как площадь зоны помех СПС (территорию, в пределах которой напряженность электромагнитного поля передатчиков системы связи больше величины, при которой создается неприемлемая помеха другим системам связи). С этой же точки зрения параметр  $B$  в (15) целесообразно определять как занимаемую полосу частот (полосу частот, в пределах которой сосредоточена заданная часть мощности излучаемого сигнала, обычно 99 %), т.е. полосу частот с учетом реальной огибающей спектра передатчиков СПС.

Очевидно, что с учетом вышесказанного на эффективность использования системой связи РЧР влияет множество факторов – направленность антенн передатчиков и приемников, нормирование внеполосных излучений передатчиков, ограничение мощности передатчиков до минимально необходимой величины и т.д.

### 3.2. Эффективность использования РЧР

Эффективность использования РЧР (SUE – Spectrum Utilization Efficiency) определяется следующим образом:

$$SUE = \frac{M}{SUF} = \frac{M}{B \cdot S \cdot T}, \quad (16)$$

где  $M$  – суммарная (по всем каналам связи) реализуемая скорость передачи информации или интенсивность трафика в системе связи.

### 3.3. Относительная эффективность использования РЧР

Относительная эффективность использования РЧР (RSE – Relative Spectrum Efficiency) может применяться для сравнения однотипных СПС, предоставляющих одинаковые услуги подвижной связи. Относительная эффективность использования РЧР определяется как отношение эффективностей использования РЧР:

$$RSE = \frac{SUE_a}{SUE_b}. \quad (17)$$

При сравнении нескольких СПС удобно оценивать их эффективность использования РЧР относительно некоторой «стандартной» системы связи. В качестве такой СПС выбирается система связи, обладающая одним или несколькими из следующих признаков:

- система связи, обладающая теоретически максимальной эффективностью использования РЧР;
- наиболее простая система связи, параметры которой широко известны;

- система связи, получившая наибольшее распространение и ставшая фактическим стандартом СПС.

Относительная эффективность использования РЧР RSE принимает положительные вещественные значения в общем случае от 0 до  $+\infty$ . Если в качестве «стандартной» СПС выбрана система связи, обладающая теоретически максимальной эффективностью использования РЧР, то RSE принимает значения от 0 до 1.

Согласно рекомендации Европейского комитета по радиосвязи (ERC – European Radiocommunications Committee) за «стандартную» СПС принимается аналоговая система подвижной связи первого поколения с шириной радиоканала 25 кГц. При этом существующие и перспективные СПС делятся на три категории:

- А -  $0,5 \leq RSE < 1,5$ ;
- В -  $1,5 \leq RSE < 2,5$ ;
- С -  $RSE > 2,5$ .

Учебное издание

**Горбачев Константин Леонидович,  
Козел Виктор Михайлович**

**РАСЧЕТ РАДИОЧАСТОТНОГО РЕСУРСА,  
НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ**

Учебное пособие  
по курсу «Системы мобильной радиосвязи»  
для студентов специальности «Радиотехника»  
всех форм обучения

Редактор Т.А. Лейко  
Корректор Н.В. Гриневич

---

Подписано в печать 30.09.05.  
Гарнитура «Таймс».  
Уч.-изд. л. 1,4.

Формат 60x84 1/16.  
Печать ризографическая.  
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 1,86.  
Заказ 210.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.  
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0131518 от 30.04.2004.  
220013, Минск, П. Бровка, 6