

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1768

Методика расчета потребностей в спектре для будущего развития наземного сегмента ИМТ-2000 и последующих систем

(2006)

1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации описана методика расчета оценки потребностей в спектре для наземной связи для будущего развития ИМТ-2000 и последующих систем.

Представлен системный подход, при котором используются категория услуг (комбинация вида услуги и класса трафика), среда предоставления услуг (комбинация условий пользования услугой и плотности электросвязи), радиосреда, анализ рыночных данных и оценка трафика на основании этих категорий и типов среды, распределение трафика между группами методов радиодоступа (RATG), расчет требуемой пропускной способности системы и определение суммарных потребностей в спектре. Данная методика применима как к трафику с коммутацией каналов, так и к трафику с коммутацией пакетов и пригодна для большого числа услуг.

2 Базовая информация

Порядок оценки потребностей в спектре для применений радиосвязи, описанный в Рекомендации МСЭ-R М.1390, рассматривался в качестве основы для случая одной системы и одного рыночного сценария. По мере конвергенции подвижной и фиксированной связи и формирования многосетевой среды, а также поддерживающих факторов, таких как бесшовное межсетевое взаимодействие между разными дополняющими системами доступа, описанных в Рекомендации МСЭ-R М.1645, столь простой подход более не является пригодным.

Потребности в спектре для наземных сегментов ИМТ-2000 были проанализированы в Отчете МСЭ-R М.2023 до ВКР-2000 с помощью методики расчета потребностей в спектре, изложенной в Рекомендации МСЭ-R М.1390, базирующейся на смешанных сетях, в которых используются технологии 2G и ИМТ-2000. Эта методика разработана, в основном, на базе модели с коммутацией каналов. Как указано в Рекомендации МСЭ-R М.1645, в будущем основная часть трафика будет приходиться не на ориентированную на речь связь, а на мультимедийную связь. Разработка сетей и систем будет ориентирована на экономичную передачу пакетных данных. Следовательно, существовала необходимость в разработке настоящей Рекомендации для определения потребностей в спектре для будущего развития ИМТ-2000 и последующих систем с учетом новых требований рынка и сценариев развертывания сетей.

3 Относящиеся к данной теме Рекомендации и Отчеты

Рекомендация МСЭ-R М.1390 – Методология расчета требуемого спектра для наземной составляющей ИМТ-2000.

Recommendation ITU-R M.1645 – Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000.

Report ITU-R M.2038 – Technology trends.

Report ITU-R M.2072 – World mobile telecommunication market forecast.

Report ITU-R M.2074 – Radio aspects for the terrestrial component of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что группы методов радиодоступа (RATG), пригодные для будущего развития IMT-2000 и последующих систем, могут характеризоваться разными требованиями к ширине полосы канала и, вследствие этого, по-разному влиять на возможности использования основной частоты;
- b) что приведенная в Приложении 1 методика признана достаточно гибкой, для того чтобы быть пригодной как для глобального обзора, так и для определения уникальных потребностей региональных рынков в спектре, необходимом для наземной связи;
- c) что постоянно происходит конвергенция и межсетевое взаимодействие функциональных возможностей служб в сетях фиксированной, подвижной связи и радиовещательных сетях;
- d) что весь рынок электросвязи будет обеспечиваться различными средствами связи в определениях служб и сетей согласно Рекомендации МСЭ-R M.1645;
- e) что другие механизмы доставки могут совместно поддерживать некоторые пользовательские приложения и передавать их трафик;
- f) что следует учитывать распределение трафика между соответствующими другими группами методов радиодоступа (RAT);
- g) что в Резолюции 228 (Пересм. ВКР-03) МСЭ-R предлагается сообщить результаты исследований потребностей в спектре для будущего развития IMT-2000 и последующих систем;
- h) что вследствие этого необходимый спектр должен рассчитываться только для групп RATG, которые будут участвовать в будущем развитии IMT-2000 и последующих систем;
- j) что методика расчета потребностей в спектре для будущего развития IMT-2000 и последующих систем с 2010 года и далее должна:
 - i) учитывать, что будущее развитие IMT-2000 и последующих систем будет, как предполагается, поддерживать возможности, описанные в Рекомендации МСЭ-R M.1645, рисунок 2;
 - ii) быть пригодной для сложного набора услуг, обуславливающего различия в ширине полосы и качестве обслуживания и значительно более высокие битовые скорости по сравнению с IMT-2000;
 - iii) обладать возможностью моделирования систем, в состав которых входят несколько взаимодействующих сетей, гибкостью для обработки разных комбинаций групп RAT в разных условиях, а также возможностью обеспечения линий вверх и линий вниз услуги в рамках разных методов радиодоступа;
 - iv) использовать рыночные данные, которые могут быть собраны в качестве входных данных, для прогнозирования трафика;
 - v) обладать гибкостью для учета как появляющихся технологий, так и усовершенствованных вариантов IMT-2000;
 - vi) учитывать факторы практического внедрения сетей;
 - vii) представлять результаты в простой для понимания и достоверной форме;
 - viii) быть реализуемой и проверяемой в течение предписанного срока;
 - ix) быть пригодной для использования в ходе собраний МСЭ-R для расчета необходимых средств и проведения анализа;
 - x) быть не более сложной, чем это оправдано неопределенностью входных данных;
 - xi) учитывать повышение эффективности использования спектра вследствие технических достижений, используемых в усовершенствованных вариантах IMT-2000 и последующих систем,

признавая,

- a) что в будущем основная часть трафика будет приходиться не на ориентированную на речь связь, а на мультимедийную связь;
- b) что сети и системы будут разрабатываться для обеспечения экономичной передачи пакетных данных;
- c) что по мере расширения многообразия услуг все менее обоснованным будет становиться рассмотрение простых значений пикового трафика, которые будут применяться в разных видах среды, разных географических областях и в разное время суток,

рекомендует

1 чтобы методика, приведенная в Приложении 1, использовалась администрациями, желающими оценить потребности в спектре для будущего развития наземного сегмента ИМТ-2000 и последующих систем.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Данная методика является общей методикой, которая может использоваться в разных рыночных условиях и для разных вариантов архитектуры сотовых систем. Следует проявлять осторожность при выборе входных параметров в целях отражения потребностей конкретных стран и регионов.

Приложение 1

1 Введение

В прошлом оценка потребностей в спектре беспроводных применений рассматривалась в качестве основы для случая одной системы и одного рыночного сценария. По мере конвергенции подвижной и фиксированной связи и формирования многосетевой среды, а также поддерживающих факторов, таких как бесшовное межсетевое взаимодействие между разными дополняющими системами доступа, описанных в Рекомендации МСЭ-R М.1645, столь простой подход более не является пригодным. Для оценки потребностей в частотах должны разрабатываться и применяться новые модели, позволяющие принимать во внимание пространственную и временную корреляцию между услугами электросвязи, а также учитывать требования рынка и сценарии развертывания сетей.

2 Концепция ИМТ-2000, будущее развитие ИМТ-2000 и последующих систем

В Рекомендации МСЭ-R М.1645 представлена следующая высокоуровневая концепция будущего развития ИМТ-2000 и последующих систем:

- *Будущее развитие ИМТ-2000:* Концепцией будущего развития ИМТ-2000 является устойчивая и постоянная эволюция. Например, существующие значения пропускной способности некоторых радиоинтерфейсов наземной связи уже увеличиваются до 10 Мбит/с и ожидается их дальнейшее увеличение до примерно 30 Мбит/с примерно к 2005 году.
- *Новые значения пропускной способности систем после ИМТ-2000:* Для систем после ИМТ-2000 примерно в 2010 году может потребоваться новая технология беспроводного доступа для наземного компонента. Это станет дополнением расширенных систем ИМТ-2000 и других систем радиосвязи. Прогнозируется, что около 2010 года возникнет необходимость в перспективном(ых) новом(ых) радиоинтерфейсе(ах) для поддержки скоростей передачи данных примерно до 100 Мбит/с для применений высокой мобильности, таких как подвижный доступ, и примерно до 1 Гбит/с для применений низкой мобильности, таких как кочевой/локальный беспроводный доступ.

Эти значения скорости передачи данных и взаимосвязь с уровнем мобильности (см. рисунок 1) следует рассматривать в качестве целевых показателей для исследования и изучения базовых технологий, необходимых для реализации данной концепции. В основу спецификаций и проектов будущих систем будут положены результаты этих исследований. Прогнозируемые требования к скорости передачи данных обуславливают дополнительный спектр, который потребуется для обеспечения новых возможностей систем после IMT-2000. Достижение указанных значений скорости передачи данных предполагает определенные технические достижения и ожидается, что технически возможным это станет в сроки, определенных выше. Возможно, что потоки по линии вверх и по линии вниз могут характеризоваться разными значениями максимальной скорости передачи.

- *Взаимосвязь систем IMT-2000, последующих систем и других систем доступа:* По мере развития систем IMT-2000 и последующих систем будет продолжаться развитие взаимосвязи между разными системами радиодоступа и системами связи, например беспроводными персональными сетями (ПВС), локальными сетями (ЛВС), цифровым радиовещанием и фиксированным беспроводным доступом (ФБД).

На рисунке 1 показаны возможности систем IMT-2000 и последующих систем. Эти системы доступа будут подсоединены к общей, гибкой и бесшовной базовой сети.



Область темно-серого цвета обозначает существующие возможности, область серого цвета обозначает усовершенствования IMT-2000, а область светло-серого цвета — новые возможности систем после IMT-2000.

Степень мобильности в рамках данного рисунка определяется следующим образом: низкая мобильность охватывает скорость движения пешехода, высокая мобильность охватывает высокие скорости, присущие автомагистралям и скоростным поездам (от 60 км/ч до ~250 км/ч и более).

3 Ограничения методики, представленной в Рекомендации МСЭ-R M.1390

МСЭ-R принял в Рекомендации МСЭ-R M.1390 методику, базирующуюся на смешанных сетях, построенных по технологии 2G и IMT-2000. Моделью обеспечения услуги в рамках этой методики является архитектура трафика на базе передачи речевых сигналов, включая службу коротких сообщений и ряд услуг, в которых реализованы более высокие скорости передачи данных по сравнению с характерными для простой модели на базе пиковой нагрузки. Оценка спектра, требуемого для обеспечения проектируемого на 2005 и 2010 годы трафика, выполнена в Отчете МСЭ-R M.2023 с использованием Рекомендации МСЭ-R M.1390.

Как указано в Рекомендации МСЭ-R M.1645, в будущем основная часть трафика будет приходиться не на ориентированную на речь связь, а на мультимедийную связь. Доминирующим станет трафик передачи данных на базе IP. Вследствие этого, разработка сетей и систем будет ориентирована на экономичную передачу пакетных данных. Кроме того, по мере расширения многообразия услуг все менее обоснованным будет становиться рассмотрение значений, выведенных на основе простой модели пиковой нагрузки, которые будут применяться в разных видах среды, разных географических областях и в разное время суток. Также исчезнут основания для рассмотрения услуги и среды независимо друг от друга при получении оценки суммарного трафика.

Согласно методике Рекомендации МСЭ-R M.1390 каждый вид среды и услуга в каждой среде рассматриваются независимо, так что пиковый трафик для каждой услуги в каждой среде просто суммируется для получения общей оценки спектра. В Рекомендации МСЭ-R M.1390 не учитывается тот факт, что использование отдельных услуг взаимосвязано. Следовательно, статистические данные по трафику для нескольких услуг должны объединяться, по крайней мере, в ряде случаев. В Рекомендации МСЭ-R M.1390 по существу требуется, чтобы до применения этой методики были определены сота, характеризующаяся пиковым трафиком, и пиковый трафик для каждой услуги в пределах этой соты в часы пик.

Вследствие этого, необходимо провести анализ следующих ограничений, с тем чтобы определить более динамичную методику:

- в рамках данной методики требуется, чтобы пиковый трафик для каждой услуги в какой-либо среде возникал в той же занятой соте, а также требуется, чтобы часы пик были теми же для каждой услуги в пределах соты;
- в ряде случаев также было бы уместным не рассматривать различные виды среды независимо. Согласно методике Рекомендации МСЭ-R M.1390 предполагается, что занятая сота для каждой среды находится в той же географической области. После того, как будут реализованы несколько географически перекрывающихся видов среды, пользователи и операторы, скорее всего, будут отдавать предпочтение одной среде перед другими. По мере усложнения архитектуры сетей возможным станет также миграция спектра из среды, характеризующейся меньшей занятостью, в среду с большей занятостью.

Ограничениями, которые могут не допустить применение методики Рекомендации МСЭ-R M.1390 для рассмотрения потребностей в спектре для будущего развития систем IMT-2000 и последующих систем, являются следующие:

- уделение основного внимания исключительно сотовым сетям;
- концепция часов пик вместо рассмотрения доступа, зависящего от времени;
- недостаточный учет применений на базе коммутации пакетов;
- допущение, что системные возможности являются теми же для всех видов среды и требований к мобильности;
- простота допущений относительно повышения эффективности использования спектра;
- независимое рассмотрение различных видов среды;
- совпадающие часы пик для всех применений и видов среды с простым взвешиванием для корректировки неодновременного трафика в часы пик;
- отсутствие учета сетевого взаимодействия между разными сетями доступа.

4 Предварительная информация, необходимая для применения данной методики

4.1 Прогноз в отношении услуг и рынка

Начинать рассмотрение любых вопросов, касающихся спектра для ИМТ-2000 и последующих систем, следует с анализа ожидаемого объема сбыта услуг беспроводной связи в период между 2010 и 2020 годами. Ключевым фактором в этом отношении является рыночный прогноз числа пользователей систем ИМТ-2000 и последующих систем. Данная методика разработана для широкого диапазона приложений. Необходимый формат представления рыночной информации определен в п. 5.5. Пример пригодной рыночной информации в данном формате можно найти в Отчете МСЭ-R М.2072.

4.2 Технические соображения

В методике использован нейтральный в технологическом отношении подход при проведении технических исследований методов радиодоступа и используется классификация RATG, определенная в Отчете МСЭ-R М.2074. Для применения методики расчета спектра в качестве входных данных требуются технические параметры, характеризующие разные группы RAT. Благодаря подходу на основе RATG, технический анализ оценки спектра может быть выполнен легко и без обращения к детальной спецификации радиоинтерфейсов как существующих, так и будущих систем подвижной связи. Технический анализ включает определения RATG и радиопараметры, связанные с RATG, которые используются на разных этапах применения методики. Были учтены технологические аспекты радиосвязи и значения радиопараметров, такие как эффективность использования спектра, и их описание содержится в Отчете МСЭ-R М.2074.

4.3 Группы RAT

В рамках данной методики рассматривается весь рынок наземной связи, которая будет обеспечиваться различными средствами связи, в определениях услуг и сетей согласно Рекомендации МСЭ-R М.1645. Существует ряд групп RAT, которые могут быть определены. Согласно настоящей методике весь трафик, прогнозируемый для всего рынка наземной связи, распределяется между следующими определенными группами RAT:

Группа 1: Системы, предшествующие ИМТ, ИМТ-2000 и ее усовершенствованные варианты.

Эта группа охватывает цифровые сотовые системы подвижной связи, системы ИМТ-2000 и их усовершенствованные варианты.

Группа 2: Системы после ИМТ-2000, представленные на рисунке 2 Рекомендации МСЭ-R М.1645 (например, технологии "новый подвижный доступ" и "новый кочевой/локальный беспроводный доступ"), но не включающие системы, описание которых уже имеется в каких-либо других группах RAT.

Группа 3: Существующие радиосети ЛВС и их усовершенствованные варианты.

Группа 4: Цифровые подвижные ширококвещательные системы и их усовершенствованные варианты.

Эта группа охватывает системы, предназначенные для вещания для приема на мобильные и портативные терминалы.

5 Методика расчета требуемого спектра

5.1 Сфера применения методики расчета спектра для реализации концепции ИМТ-2000, будущего развития ИМТ-2000 и последующих систем

С помощью методики расчета спектра вычисляется требуемый спектр для RATG1 и RATG2, которые соответствуют будущему развитию ИМТ-2000 и последующих систем. При применении методики учитываются прогнозы в отношении трафика для RATG1 и RATG2, а также других соответствующих групп RAT в той степени, в которой эти другие группы RAT могут обеспечивать некоторые приложения совместно, поскольку, как отмечается в Резолюции 228 (Пересм. ВКР-03), служебные функциональные возможности все более сближаются и взаимодействуют. Вместе с тем, в пункте 1.4 повестки дня ВКР-07 МСЭ-R предлагается проводить исследование потребностей в спектре групп

RAT только для будущего развития IMT-2000 и последующих систем. Следовательно, расчет требуемого спектра выполняется для RATG1 и RATG2.

5.2 Подход к расчету спектра

Техническая составляющая оценки потребностей в спектре для подвижной связи должна базироваться на четырех основополагающих факторах:

- определение услуг;
- ожидаемый объем сбыта;
- техническая и эксплуатационная база;
- алгоритм расчета спектра.

5.3 Общая схема методики

Общая блок-схема методики расчета требуемого спектра представлена на рисунке 2.

Шаг 1: представление различных определений, используемых в рамках методики, которые приведены в п. 5.4.

Шаг 2: анализ рыночных данных, которые могут быть взяты из Отчета МСЭ-R М.2072. Анализ рыночных данных представлен в п. 5.5.

Шаг 3: расчет значений для применения методики согласно п. 5.5.2.6.

Шаг 4: распределение трафика между разными группами RAT и радиосредами в рамках RATG согласно п. 5.6.

Шаг 5: определение требуемой пропускной способности системы для передачи предлагаемого трафика. Алгоритмы расчета пропускной способности приводятся отдельно для категорий услуг с коммутацией каналов и с коммутацией пакетов в п. 6.1 и п. 6.2, соответственно.

Шаг 6: расчет потребностей в спектре для RATG1 и RATG2 согласно п. 6.3.

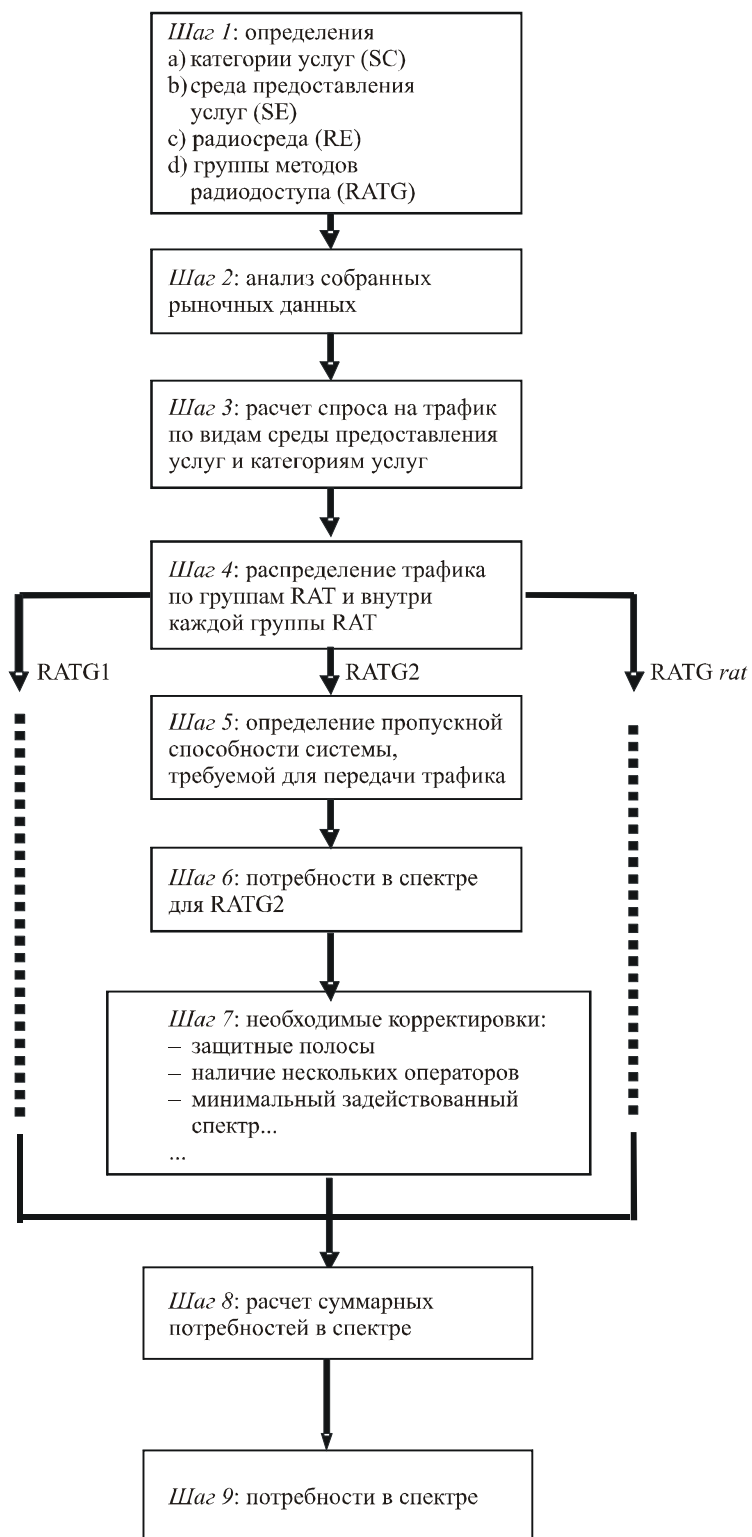
Шаг 7: выполнение необходимых корректировок для учета практики развертывания сетей согласно п. 7.

Шаг 8: расчет суммарного требуемого спектра согласно п. 8.

Шаг 9: представление потребностей в спектре для RATG1 и RATG2 в качестве выходных данных.

РИСУНОК 2

Блок-схема общей методики расчета спектра



5.4 Определения

В данном разделе определяются все необходимые входные параметры и связанное с ними распределение по категориям.

В последующих разделах приводятся таблицы требуемых для данной методики параметров. Значения параметров в этих таблицах должны рассматриваться в качестве примеров, как это указано в соответствующих таблицах.

Во-первых, вводятся виды услуг и классы трафика для отражения вероятных пиковых скоростей передачи данных и вероятного профиля трафика для данной услуги. Категория услуги определяется как комбинация вида услуги и класса трафика.

Среда предоставления услуги определяется для классификации областей, в которых находится пользователь при оценке услуги и профиля трафика данной географической области. Среда предоставления услуги определяется как комбинация условий пользования услугой и плотности электросвязи.

Радиосреда определяется для отражения инфраструктуры радиосвязи, которая используется для предоставления услуг пользователям в среде предоставления услуги. Радиосреда определяется, с тем чтобы учесть разные схемы развертывания радиосетей.

Разные группы RAT определяются для учета более широкого рынка наземной связи, доступного для предоставления услуг.

5.4.1 Категории услуг

Категория услуги (SC) определяется как комбинация вида услуги и класса трафика, см. таблицу 1.

ТАБЛИЦА 1
Определение категорий услуг

Вид услуги \ Класс трафика	Разговорный	Потоковый	Интерактивный	Фоновый
Мультимедиа со сверхвысокой скоростью передачи	SC1	SC6	SC11	SC16
Мультимедиа с высокой скоростью передачи	SC2	SC7	SC12	SC17
Мультимедиа со средней скоростью передачи	SC3	SC8	SC13	SC18
Данные и мультимедиа с низкой скоростью передачи	SC4	SC9	SC14	SC19
Данные с очень низкой скоростью передачи ⁽¹⁾	SC5	SC10	SC15	SC20

⁽¹⁾ Этот вид услуги включает передачу речи и коротких сообщений (SMS).

5.4.1.1 Виды услуг

Пиковые битовые скорости используются для определения категорий видов услуг. Возможно объединение услуг, для которых требуются одинаковые скорости передачи данных, в общую категорию. Услуги подразделяются на пять видов услуг, см. таблицу 2.

ТАБЛИЦА 2

Виды услуг и их пиковые битовые скорости

Вид услуги	Пиковая битовая скорость
Данные с очень низкой скоростью передачи	< 16 кбит/с
Данные и мультимедиа с низкой скоростью передачи	< 144 кбит/с
Мультимедиа со средней скоростью передачи	< 2 Мбит/с
Мультимедиа с высокой скоростью передачи	< 30 Мбит/с
Мультимедиа со сверхвысокой скоростью передачи	От 30 Мбит/с до 100 Мбит/с/1 Гбит/с

a) Данные с очень низкой скоростью передачи

Для этого вида услуги требуются пиковые битовые скорости до 16 кбит/с. Начиная с 2010 года возникнет спрос на приложения передачи речи и простых коротких сообщений, характеризующиеся такими весьма низкими значениями скорости передачи данных. Кроме того, ожидается, что некоторые применения в области сенсорной связи и/или телеметрии с очень низкой битовой скоростью передачи данных также попадут в эту категорию, как повсеместно распространенная связь.

b) Данные и мультимедиа с низкой скоростью передачи

Данный вид услуги поддерживает скорости передачи данных до 144 кбит/с. Здесь учитываются приложения передачи данных, предшествующие IMT-2000.

c) Мультимедиа со средней скоростью передачи

Данный вид услуги поддерживает пиковые битовые скорости до 2 Мбит/с. Для него потребуется устойчивая совместимость с имеющимися в настоящее время приложениями IMT-2000.

d) Мультимедиа с высокой скоростью передачи

Данный вид услуги объединяет приложения, характеризующиеся высокой скоростью передачи данных, включая услуги мультимедийного потокового видео, которые обеспечиваются службой xDSL в системах фиксированной проводной связи.

e) Мультимедиа со сверхвысокой скоростью передачи

Данный вид услуги объединяет мультимедийные приложения, характеризующиеся сверхвысокими скоростями передачи данных, которые в настоящее время обеспечиваются услугами FTTH (оптическое волокно до дома) в случае систем проводной связи.

5.4.1.2 Классы трафика

В настоящей методике используются классы трафика, представленные в Рекомендации МСЭ-R М.1079, которые определяют четыре класса качества обслуживания (QoS) IMT-2000 с точки зрения пользователя:

- разговорный класс обслуживания;
- интерактивный класс обслуживания;
- потоковый класс обслуживания;
- фоновый класс обслуживания.

Главным фактором, определяющим различия между этими классами, является степень чувствительности приложений к задержкам: разговорный класс характеризует приложения, весьма чувствительные к задержкам, а фоновый класс представляет наименее чувствительный к задержкам класс QoS.

Для классов трафика, определенных на основании Рекомендации МСЭ-R М.1079, разговорный и потоковый классы обеспечиваются передачей с коммутацией каналов, а фоновый и интерактивный классы – передачей с коммутацией пакетов.

а) Разговорный класс

Наиболее известным применением этой схемы является телефонный разговор. Но с появлением интернета и мультимедийных средств такая схема будет востребована в ряде новых областей применения, например передача голоса по протоколу Интернет (VoIP) и средства видеоконференцсвязи. Разговор в реальном времени всегда происходит между представителями (или группами) "живых" конечных пользователей (людей). Схема разговора в реальном времени характеризуется временем передачи, которое должно быть невелико по причине:

- разговорного характера схемы;
- того, что одновременно с этим между информационными элементами потока должна сохраняться такая же временная связь (вариация), как для потоков в реальном времени.

Максимальная задержка передачи задается исходя из возможностей человеческого восприятия в режиме видео и аудио. Следовательно, предел допустимой задержки передачи весьма строг, поскольку неспособность обеспечить достаточно малую задержку передачи повлечет за собой неприемлемую потерю качества. Таким образом, требуется, чтобы задержка передачи была значительно меньшей, и это требование является значительно более жестким по сравнению с двусторонней задержкой в случае применений на базе интерактивного трафика.

б) Интерактивный класс

Данная схема применяется в том случае, когда конечный пользователь, будь то машина или человек, запрашивает данные у удаленного оборудования (например, сервера) в онлайн-режиме. Примерами взаимодействия человека с удаленным оборудованием могут служить: просмотр веб-страниц, поиск данных в базе данных, доступ к серверу. Примерами взаимодействия машины с удаленным оборудованием могут служить запрос записей измерений и автоматический запрос данных из базы данных (телемашины).

Интерактивный трафик – это другая классическая схема передачи данных, которая на общем уровне характеризуется схемой запрос-ответ для конечного пользователя. В пункте назначения сообщения имеется объект, ожидающий поступления сообщения (ответа) в пределах определенного времени. Время двусторонней задержки, таким образом, является одним из ключевых атрибутов. Другой характеристикой является то, что должна осуществляться прозрачная передача содержимого пакетов (с низким BER).

Интерактивный трафик – основные характеристики QoS:

- схема запрос-ответ;
- сохранение содержимого полезной нагрузки.

в) Поточковый класс

В случае, когда пользователь смотрит видеопередачу (или слушает аудиопередачу) в режиме реального времени, применима схема потоков в реальном времени. Поток данных в реальном времени всегда предназначен адресату-человеку. Это односторонняя передача.

Эта схема является новой в области передачи данных и обуславливает ряд новых требований как к системам электросвязи, так и к системам передачи данных. Она характеризуется временными связями (вариацией) между информационными элементами (например, выборки, пакеты) потока, которые должны быть сохранены, хотя она не содержит требований относительно малых задержек передачи.

Вариация задержки сквозного потока должна быть ограничена, чтобы сохранить временную связь (вариацию) между информационными элементами потока. Но так как поток в точке приема (в оборудовании пользователя) обычно согласован по времени, максимальная допустимая вариация задержки в передающем средстве задается возможностью функции согласования по времени, характерной для данного применения. Таким образом, допустимая вариация задержки является намного большей, чем вариация задержки, задаваемая пределами человеческого восприятия.

Потоки в реальном времени – основные характеристики QoS:

- односторонний непрерывный поток;
- сохранение временной связи (вариации) между информационными элементами потока.

d) Фоновый класс

Данная схема применяется в том случае, когда конечный пользователь, как правило, компьютер, отправляет и получает файлы данных в фоновом режиме. Примерами могут служить осуществляемые в фоновом режиме отправления по электронной почте, передачи службы коротких сообщений, загрузка баз данных и прием записей измерений.

Фоновый трафик является одной из классических схем передачи данных, в которой общий уровень характеризуется отсутствием какого-либо параметра у адресата, ожидающего получения данных в пределах определенного времени, за исключением ограничения на величину задержки, поскольку данные становятся непригодными в практическом аспекте, в случае если они получены слишком поздно. Таким образом, данная сема является до некоторой степени малочувствительной к времени доставки. Другой характеристикой является то, что должна осуществляться прозрачная передача содержимого пакета (с низким BER).

Фоновый трафик – основные характеристики QoS:

- адресат не ожидает данных в определенное время;
- сохранение содержимого полезной нагрузки.

Приложение на базе фонового трафика не переносит информацию о задержке. В принципе, единственным требованием к приложениям в этой категории является доставка информации к пользователю практически без ошибок. Вместе с тем подчеркивается, что все-таки существует ограничение на задержку, поскольку данные становятся непригодными в практическом аспекте, в случае если они получены слишком поздно.

5.4.1.3 Параметры категории услуг

Категории услуг характеризуются параметрами, получаемыми либо по результатам исследования рынка или из других источников. Следующие параметры получены из отчета МСЭ-R М.2072:

- плотность размещения пользователей (пользователи/км²);
- скорость поступления сеансов на пользователя (сеансы/(с · пользователь));
- средняя битовая скорость услуги (бит/с);
- средняя продолжительность сеанса связи (с/сеанс);
- коэффициент мобильности.

Первые четыре параметра характеризуют спрос на различные категории услуг, а параметр мобильности используется в распределении трафика в п. 5.6. Мобильность терминала тесно связана со сценариями использования приложений. В Рекомендации МСЭ-R М.1390 мобильность определяется следующим образом:

- внутри здания;
- пешеход;
- автомобиль.

Требования зависят от скорости перемещения подвижных станций. По данным изучения рынка в Отчете МСЭ-R М.2072 классы мобильности делятся на категории следующим образом:

- стационарные режим (0 км/час);
- низкая скорость (> 0 км/час и < 4 км/час);
- высокая скорость (> 4 км/час и < 100 км/час);
- сверхвысокая скорость (>100 км/час и < 250 км/час).

Пределы изменений в этих категориях должны быть связаны с типичными характеристиками сотовых сетей радиосвязи. Для малых сот минимальное время нахождения пользователя в пределах соты между передачами обслуживания должно быть значительно большим, чем время инициирования передачи обслуживания и время выполнения передачи обслуживания. Следовательно, в случае малых сот размер соты ограничивает максимальную поддерживаемую скорость. По этой причине пикосоты ограничиваются, как правило, поддержкой скоростей, характерных для пешехода (до 3–10 км/час), микросоты – поддержкой скорости движения городского транспорта, составляющей 50 км/час, и макросоты подвижных сотовых сетей радиосвязи охватывают

оставшийся диапазон скоростей движения пользователя. Что касается применения классов мобильности в данной методике, то, исходя из изучения рынка, классы мобильности интерпретируются по-новому следующим образом:

- стационарный режим/скорость пешехода (0–4 км/час);
- низкая скорость (> 4 км/час и < 50 км/час);
- высокая скорость (> 50 км/час).

Трафик класса мобильности "высокая скорость", полученный по результатам изучения рынка, разделяется на классы мобильности "низкая скорость" и "высокая скорость" для применения в данной методике. Такое разделение необходимо для учета атрибутов рассматриваемых сред предоставления услуг, введенных в п. 5.4.2, которые могут обуславливать различные значения коэффициентов разделения J_m в разных средах предоставления услуг m . В таблицах 3 и 4 представлено преобразование трафика в классы мобильности, при этом значения J_m являются лишь примерами:

ТАБЛИЦА 3

Преобразование классов мобильности

Класс мобильности согласно изучению рынка	Класс мобильности для применения в методике
Стационарный режим	Стационарный режим/скорость пешехода
Низкая скорость	
Высокая скорость	Низкая скорость (коэффициент J_m)
	Высокая скорость (коэффициент $1 - J_m$)
Сверхвысокая скорость	

ТАБЛИЦА 4

Значения J для преобразования классов мобильности в различные среды предоставления услуг

Среда предоставления услуг m	Значение J_m
1	1
2	1
3	1
4	1
5	0,5
6	0

В дополнение к параметрам категории услуг, связанных с изучением рынка, которые рассчитываются в п. 5.5.2, для применения данной методики требуются параметры, которые нельзя получить из Отчета МСЭ-R М.2072. Эти параметры перечислены в таблице 5, и они необходимы при расчете пропускной способности, см. п. 6.

ТАБЛИЦА 5

Параметры категорий услуг как входные данные для алгоритма расчета спектра

Категория услуг	SC1	SC2		–		SC20
Средний размер пакета (бит/пакет)		–		–		
Момент второго порядка ⁽¹⁾ для размера пакета ((бит/пакет) ²)		–		–		
Допустимое среднее время задержки пакета (с)		–		–		
Допустимый коэффициент блокирования (%)		–		–		

(1) Момент второго порядка случайной переменной является скалярной величиной, связанной с дисперсией этой случайной переменной.

5.4.2 Среда предоставления услуг

Среда предоставления услуг определяет общие условия использования и объема услуг.

Среда предоставления услуг (SE) определяется как комбинация условий пользования услугами и плотности электросвязи.

5.4.2.1 Условия пользования услугами

Условия пользования услугами определяются как общее поведение пользователей в данной зоне обслуживания.

Условия пользования услугами подразделяются на категории в зависимости от области, в которой пользователи используют одинаковые услуги и ожидают обеспечения одинакового качества обслуживания. В рамках данной методики используются следующие виды условий пользования услугой:

- в жилом доме;
- в офисе;
- в зоне общего пользования.

5.4.2.2 Плотность электросвязи

Согласно определению в Рекомендации МСЭ-R М.1390 плотность населения и количество устройств на одного человека также являются важными факторами при рассмотрении среды предоставления услуг. Вследствие этого географическая зона подразделяется в соответствии с этими факторами на категории, определяемые плотностью электросвязи.

Каждый параметр плотности электросвязи характеризуется плотностью населения и плотностью распространения устройств связи. Существуют следующие категории плотности электросвязи:

- густонаселенный город;
- пригород;
- сельская местность.

5.4.2.3 Определение и атрибуты среды предоставления услуг

Среда предоставления услуг определяется для комбинаций плотности электросвязи и условий пользования услугой, определенных в таблице 6.

Для более полного описания каждой среды предоставления услуг в таблице 7 показаны возможные группы пользователей и примеры применения каждой SE.

Потребности в спектре должны быть сначала рассчитаны отдельно для каждого показателя плотности электросвязи. Окончательные потребности в спектре определяются как максимальные потребности в спектре для трех зон плотности электросвязи (густонаселенный город, пригород и сельская местность).

ТАБЛИЦА 6
Определение среды предоставления услуг

Плотность электросвязи Условия пользования услугами	Густонаселенный город	Пригород	Сельская местность
В жилом доме	SE1	SE4	SE6
В офисе	SE2	SE5	
В зоне общего пользования	SE3		

ТАБЛИЦА 7

Примеры групп пользователей и приложений в разбивке по видам среды предоставления услуг

	Группы пользователей	Приложения
SE1	Частные пользователи, корпоративные пользователи	Голосовая связь, доступ в интернет, игры, электронная коммерция, дистанционное обучение, мультимедиа
SE2	Корпоративные пользователи, малые и средние предприятия	Голосовая связь, доступ в интернет, видеоконференцсвязь, электронная коммерция, мобильный бизнес
SE3	Частные пользователи, корпоративные пользователи, пользователи услуг общего пользования (например, водители автобусов, сотрудники аварийных служб), туристы, продавцы	Голосовая связь, доступ в интернет, видеоконференцсвязь, мобильный бизнес, информация для туристов, электронная коммерция
SE4	Частные пользователи, корпоративные пользователи	Голосовая связь, доступ в интернет, игры, электронная коммерция, мультимедиа, дистанционное обучение
SE5	Корпоративные пользователи, предприятия	Голосовая связь, доступ в интернет, электронная коммерция, видеоконференцсвязь, мобильный бизнес
SE6	Частные пользователи, фермерское хозяйство, пользователи услуг общего пользования	Голосовая связь, информационные приложения

5.4.3 Радиосреда (RE)

RE определяется по слоям сот в сети, имеющей иерархическую сотовую структуру, т. е. макро-, микро-, пикосоты и "горячие точки". В данной методики зоны сот разных типов радиосреды используются в качестве входных данных для расчетов. Зона соты непосредственно определяет потребности в спектре, обуславливаемые объемом трафика. Как правило, необходимо находить компромисс между затратами на развертывание сети и требуемым спектром. Кроме ограничений размеров, связанных с двумя этими факторами, существуют и ограничения технического характера. Верхний технический предел определяется условиями распространения, ограничениями мощности передачи терминала и, в меньшей степени, величиной задержки.

Нижние пределы размеров соты определяются по возрастанию нежелательных помех, например слишком частое возникновение условий прямой видимости между создающими помехи сотами. Нижний предел предполагается пренебрежимо малым по сравнению с ограничениями, накладываемыми затратами на развертывание сот.

Поскольку развертывание микро-, пикосот и "горячих точек" не различается в разных областях плотности электросвязи, делается допущение, что в рамках метода расчета спектра для этих слоев может использоваться та же "максимальная" площадь соты. Вместе с тем, в случае макросот действуют иные условия, плотность электросвязи влияет на планируемую площадь соты и на развертывание базовых станций. Вследствие этого, в расчетах требуемого спектра площадь

макросоты является зависящей от плотности электросвязи. Примеры максимальной площади соты для каждой RE и плотности электросвязи представлены в таблице 8. Значения площади соты – это характеристические значения для рассматриваемых категорий плотности электросвязи.

ТАБЛИЦА 8

Пример максимальной площади соты в зависимости от RE (км²)*

RE	Плотность электросвязи		
	Густонаселенный город	Пригород	Сельская местность
Макросота	0,65	1,5	8,0
Микросота ⁽¹⁾	0,1	0,1	0,1
Пикосота ⁽¹⁾	1,6E-3	1,6E-3	1,6E-3
"Горячая точка" ⁽¹⁾	6,5E-5	6,5E-5	6,5E-5

* Данный пример не применим к случаю крупной зоны с низкой плотностью электросвязи.

(1) Предполагается, что размер соты в этих видах среды не зависит от плотности электросвязи.

Наличие радиосреды зависит от среды предоставления услуг. На практике лишь определенный процент X общей площади конкретной среды предоставления услуг охвачен каждой радиосредой, например пикосотами. В свете этого в таблице 9 определены доли охвата населения для каждой радиосреды в каждой среде предоставления услуг. Значения в таблице 9 являются примерами. В таблице 9 также определены возможные комбинации SE и RE. Для определенных комбинаций процент охвата населения может быть нулевым, это значит, что конкретная RE не развернута в конкретной SE. Процент охвата населения используется при распределении трафика между RE в п. 5.6.

ТАБЛИЦА 9

Пример процента охвата населения для различных типов среды развертывания радиосети в каждой SE

SE	RE			
	Макросота	Микросота	Пикосота	"Горячая точка"
SE1	100	0	0	80
SE2	100	0	20	80
SE3	100	80	20	10
SE4	100	0	0	80
SE5	100	20	20	20
SE6	100	0	10	50

5.4.4 Группы RAT

В рамках данной методики рассматривается весь рынок наземной связи, которая будет обеспечиваться различными средствами связи, в определениях услуг и сетей согласно Рекомендации МСЭ-R М.1645. Существует ряд групп RAT, которые могут быть определены. Согласно настоящей методике весь трафик, прогнозируемый для всего рынка наземной связи, распределяется между следующими определенными группами RAT:

Группа 1: Системы, предшествующие IMT, IMT-2000 и ее усовершенствованные варианты.

Эта группа охватывает цифровые сотовые системы подвижной связи, системы IMT-2000 и их усовершенствованные варианты.

Группа 2: Системы после IMT-2000, представленные на рисунке 2 Рекомендации МСЭ-R М.1645 (например, технологии "новый подвижный доступ" и "новый кочевой/локальный беспроводный доступ"), но не включающие системы, описание которых уже имеется в каких-либо других группах RAT.

Группа 3: Существующие радиосети ЛВС и их усовершенствованные варианты.

Группа 4: Цифровые подвижные ширококвещательные системы и их усовершенствованные варианты.

Эта группа охватывает системы, предназначенные для вещания для приема на мобильные и портативные терминалы.

Все четыре группы RAT рассматриваются до шага 4 представленной на рисунке 2 блок-схемы методики, а с шага 5 и далее учитываются только RATG1 и RATG2.

Каждая RATG характеризуется параметрами, представленными в таблицах 10a–10d. Допускается. Что эти параметры одинаковы для линий вверх и линий вниз, поэтому для каждого параметра требуется лишь одно значение.

Для некоторых категорий услуг могут обеспечиваться дальнейшие преимущества благодаря применению в рамках конкретной RATG режимов многоадресной передачи для приема на мобильные устройства. Многоадресная передача для приема на мобильные устройства должна трактоваться как передача, предназначенная для группы приемников. Необходимо наличие линии вверх, например для управления группой. К примерам услуг, которые могут эффективно предоставляться в режимах многоадресной передачи для приема на мобильные средства, относятся услуги типа мобильного ТВ и услуги по передаче сообщений с низкой скоростью передачи. Поскольку эффективность использования спектра в этих двух режимах может существенно различаться, необходимы отдельные значения эффективности использования спектра по зонам.

ТАБЛИЦА 10a

Пример требуемых радиопараметров для RATG1

Атрибут	RATG1				
	Значение				
	Единица	Макросота	Микросота	Пикосота	"Горячая точка" ⁽¹⁾
Скорость передачи прикладных данных	Мбит/с	1	1	2,5	–
Поддерживаемые классы мобильности		Стационарный режим/ скорость пешехода, низкая скорость, высокая скорость	Стационарный режим/ скорость пешехода, низкая скорость	Стационарный режим/ скорость пешехода	–
Ширина полосы несущей (CBW)	МГц	До 5	До 5	До 5	–
Защитная полоса частот между операторами	МГц	0	0	0	–
Минимальная задействованная полоса на оператора для RE (где $n = 1$ или 2)	МГц	$n \cdot \text{CBW}$	$n \cdot \text{CBW}$	$n \cdot \text{CBW}$	–
Число перекрывающихся развертываемых сетей	Число	5	5	5	–
Возможность гибкого использования спектра (FSU)	Булева переменная	Нет	Нет	Нет	–
Запас FSU	Множитель	1	1	1	
Типичная рабочая частота	МГц	< 2 700	< 2 700	< 2 700	–
Поддержка многоадресной передачи	Булева переменная	Да	Да	Да	–

⁽¹⁾ Радиосреда "горячая точка" не относится к RATG1.

Данный пример не применим к случаю крупной зоны с низкой плотностью электросвязи.

ТАБЛИЦА 10b

Пример требуемых радиопараметров для RATG2

Атрибут	RATG2				
	Значение				
	Единица	Макросота	Микросота	Пикосота	"Горячая точка"
Скорость передачи прикладных данных	Мбит/с	50	100	1 000	1 000
Поддерживаемые классы мобильности		Стационарный режим/ скорость пешехода, низкая скорость, высокая скорость	Стационарный режим/ скорость пешехода, низкая скорость	Стационарный режим/ скорость пешехода	Стационарный режим/ скорость пешехода
Защитная полоса частот между операторами	МГц	0	0	0	0
Минимальная задействованная полоса на оператора для RE	МГц	50–100	50–100	100	100
Число перекрывающихся развертываемых сетей	Число	1–4	1–4	1–4	1–4
Возможность гибкого использования спектра (FSU)	Булева переменная	Да	Да	Да	Да
Запас FSU	Множитель	1	1	1	1
Зоновая эффективность использования спектра	бит/с/Гц/сота	2–4	2–5	3–6	5–10
Зоновая эффективность использования спектра для многоадресной передачи	бит/с/Гц/сота	1–1,5	1–2,5	1,5–3	2,5–5
Типичная рабочая частота	МГц	< 6 000	< 6 000	< 6 000	< 6 000
Поддержка многоадресной передачи	Булева переменная	Да	Да	Да	Да

ТАБЛИЦА 10c

Пример требуемых радиопараметров для RATG3

Атрибут	RATG3				
	Значение				
	Единица	Макросота	Микросота	Пикосота	"Горячая точка"
Скорость передачи прикладных данных	Мбит/с	–	–	50	100
Поддерживаемые классы мобильности		–	–	Стационарный режим/ скорость пешехода	Стационарный режим/ скорость пешехода
Поддержка многоадресной передачи (да = 1, нет = 0)		Да			

ТАБЛИЦА 10d

Пример требуемых радиопараметров для RATG4

Атрибут	RATG4	
	Единица	Макросота
Скорость передачи прикладных данных	Мбит/с	2
Поддерживаемые классы мобильности		Все (Стационарный режим/скорость пешехода, низкая скорость и высокая скорость)

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для RATG4 рассматриваются только макросоты.

Значения эффективности использования спектра представлены в таблице 11. Согласно данной методике значения зоновой эффективности использования спектра рассматриваются как входные значения. Для режима многоадресной передачи таблица эффективности использования спектра содержит иные значения. Зонная эффективность использования спектра понимается и используется как рассчитанная на основании средней пропускной способности при передаче данных, обеспечиваемой для всех пользователей, которые равномерно размещены в зоне действия радиосреды, на уровне IP для услуг с коммутацией пакетов и на прикладном уровне для услуг с коммутацией каналов, для радиосетей с полной нагрузкой. Эффективность использования спектра и максимальная достижимая скорость передачи данных на краю соты должны соответствовать типичной рабочей частоте. В значениях эффективности использования спектра учтены возможные повторные передачи в случае услуг с коммутацией пакетов.

ТАБЛИЦА 11

Матрица зоновой эффективности использования спектра для одной группы RAT

Плотность электросвязи	Группа RAT <i>rat</i>			
	Радиосреда			
	Макросота	Микросота	Пикосота	Сота "горячая точка"
Густонаселенный город	$\eta_{1, rat, 1}$ (бит/с/Гц/сота)			
Пригород				
Сельская местность				

5.4.5 Взаимосвязь между средой предоставления услуг, группой RAT и радиосредой

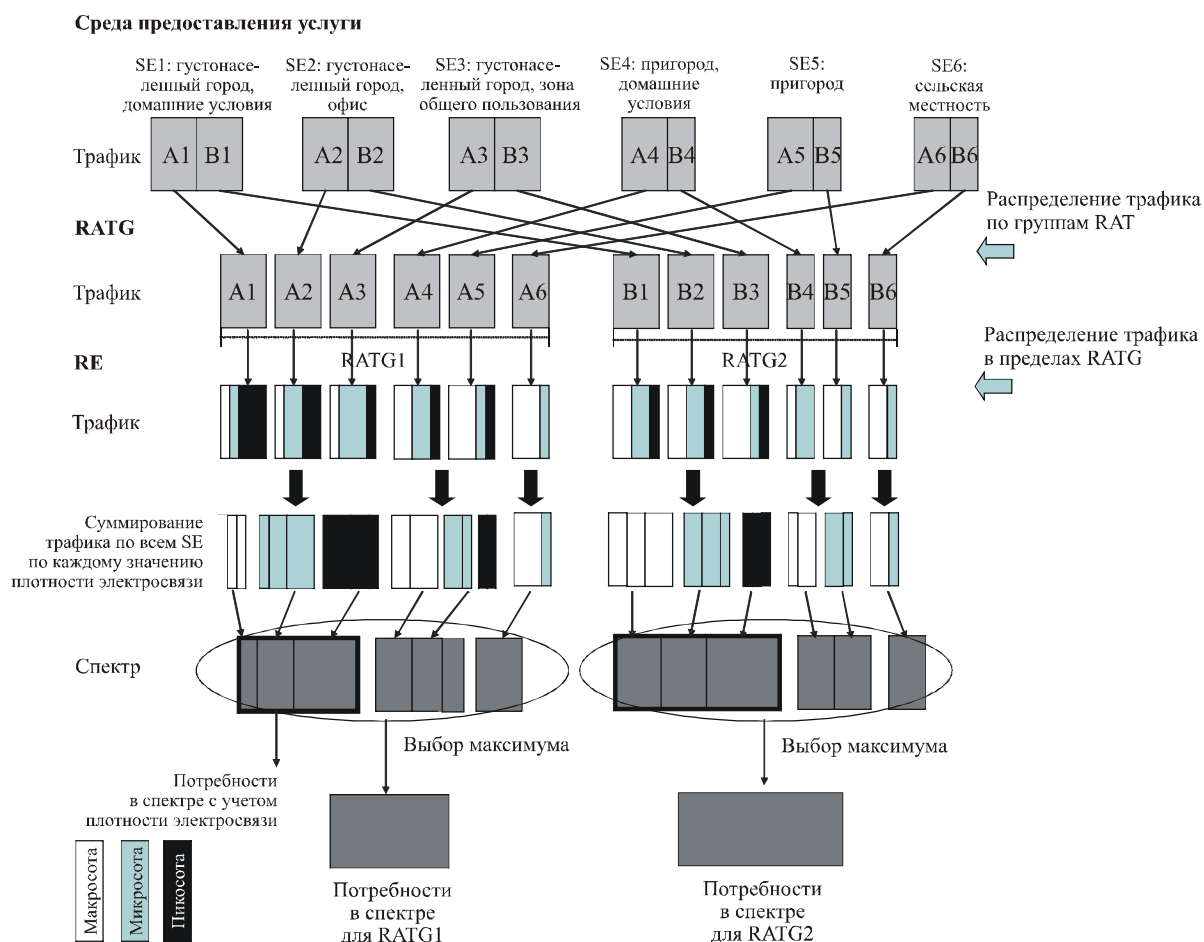
Среда предоставления услуг и радиосреда при расчете спектра должны рассматриваться отдельно, так чтобы спрос на трафик прогнозировался только в среде предоставления услуг, а общие потребности в спектре рассчитывались с различными группами RAT и соответствующими им возможными видами радиосреды. Потребности в спектре рассчитываются для каждой категории плотности электросвязи, но окончательные потребности в спектре должны выбираться равными максимальному значению потребностей в спектре для всех категорий плотности электросвязи. Следовательно, сначала должен быть просуммирован трафик в разных средах предоставления услуг с учетом соответствующей плотности электросвязи.

На рисунке 3 представлен пример распределения трафика по шести видам среды предоставления услуг, двум группам RAT и трем видам радиосреды. Спрос на трафик в каждой среде предоставления услуг может быть распределен по группам RAT. На рисунке 3, например, трафик среды предоставления услуг "густонаселенный город" включает два компонента: объемы трафика A1 для RATG1 и B1 для RATG2. Как показано на рисунке 3, виды среды предоставления услуг "Густонаселенный город, домашние условия", "Густонаселенный город, офис", "Густонаселенный город, зона общего пользования", "Пригород, домашние условия/офис" и "Сельская местность" также характеризуются объемами трафика для каждой RATG.

Поскольку каждая RATG поддерживает одну или более RE, объем спроса на трафик для каждой RATG в каждой SE может быть распределен между поддерживаемыми этой группой RE, как показано в третьем ряду рисунка 3. Трафик, распределенный между SE, относящимся к той же категории плотности электросвязи, суммируется в четвертом ряду рисунка 3. Каждая RATG имеет собственный сценарий развертывания для составляющих ее RE, а также характеризуется собственной эффективностью использования спектра. Эти сценарии развертывания, например размеры сот, также влияют на эффективность использования спектра. С учетом этого потребности в спектре могут быть рассчитаны с использованием данных о спросе на трафик и коэффициентов эффективности использования спектра, потребности в спектре могут быть рассчитаны также отдельно на основании каждой составляющей категории плотности электросвязи, RATG и RE. Прямоугольники в пятом ряду рисунка 3 представляют потребности в спектре для групп RAT для разных категорий плотности электросвязи. Потребности в спектре для RATG составят максимальное значение среди значений потребностей в спектре для данной RATG по всем категориям плотности электросвязи.

РИСУНОК 3

Распределение трафика среди разных SE, групп RAT и RE



1768-03

5.5 Анализ собранных рыночных данных

5.5.1 Сбор рыночных данных

Рыночные данные были собраны из ответов на вопросники по услугам (шаг 2 на рисунке 2).

Для проведения исследования будущих тенденций на рынке и в области использования услуг в вопросники были включены следующие пункты:

- обследование услуг и конъюнктуры рынка в отношении существующих услуг подвижной связи;
- ключевые параметры рынка;
- прогнозы по услугам и рынку для будущего развития систем IMT-2000 и последующих систем, в том числе:
 - вопросы, связанные с услугами;
 - вопросы, связанные с рынком;
 - предварительный прогноз трафика;
 - связанная информация;
- прогноз по услугам и рынку для других систем радиосвязи;
- движущие силы будущего рынка; и
- любые иные мнения относительно будущих услуг.

Ответы на вопросники собраны и проанализированы в Отчете МСЭ-R М.2072, в частности, в Приложении 8 к Отчету описаны входные значения для данной методики. Рыночные данные представлены для трех временных точек – для 2010, 2015 и 2020 годов.

5.5.2 Анализ данных

Терминология, используемая для анализа рыночных данных

Приложение: это приложение, являющееся достаточно общим и полным для краткого и соответствующего определения категорий всех собранных услуг.

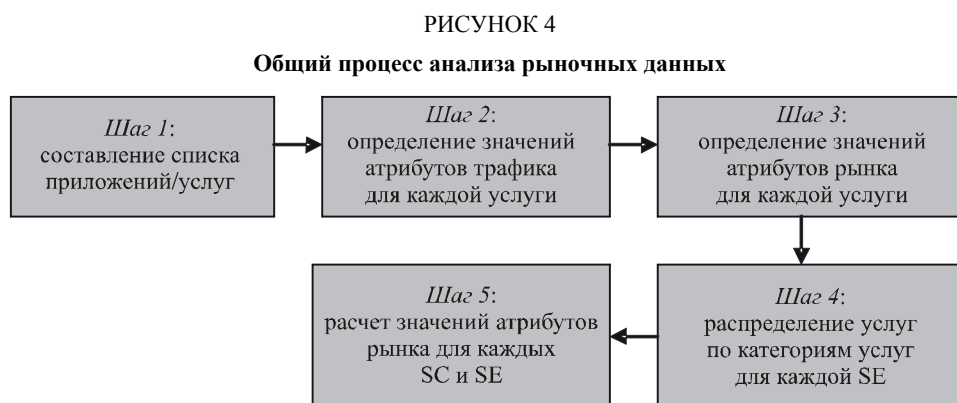
Услуга: это услуга, являющаяся базовым элементом, из которых состоит приложение. В отношении образующих приложение услуг делается допущение, что они существуют независимо. Например, пользование услугой VoD не зависит от пользования услугой AoD. Второе допущение заключается в том, что все услуги, входящие в ту же категорию услуг, характеризуются идентичными и независимыми свойствами в атрибутах рынка.

Параметры атрибутов рынка: это параметры, связанные с восприятием пользователя. Эти значения получают из рыночных данных.

Параметры атрибутов трафика: это параметры, связанные с характеристиками трафика услуги. Эти значения получают на основании анализа тенденций технического характера.

5.5.2.1 Общий процесс

На рисунке 4 показан общий процесс анализа рыночных данных.



5.5.2.2 Составление списка приложений/услуг

Составляется список всех прогнозируемых в будущем приложений/услуг. Учитывая, что список приложений и услуг является одним из важных факторов для расчета спектра, услуги должны выбираться так, чтобы не возникало перекрытия в рамках приложения, являющегося достаточно общим и полным для краткого и соответствующего определения категорий всех собранных услуг.

На этом шаге списки приложений и услуг должны быть зафиксированы и включены в первую и вторую графы таблицы 12. Полученный список приложений, исходя из показателей приложений/услуг, должен быть разбит на категории как показано в таблице 12. Эти категории должны охватывать все прогнозируемые категории приложений, с тем чтобы обеспечить достоверность оценки.

ТАБЛИЦА 12

Пример категорий приложений/услуг и атрибутов их трафика

Приложения	Услуги	Атрибуты трафика	
		Средняя битовая скорость услуги	Средняя продолжительность сеансов связи
Существующие приложения	Голосовая связь (мультимедиа и передача данных с низкой скоростью/разговорный трафик)	64 кбит/с	
	Видеотелефон (мультимедиа средней скорости/разговорный трафик)	384 кбит/с	
	Пакетные	ИМ, электронная почта (очень низкая скорость передачи данных/фоновый трафик)	1 кбит/с
		Видеопочта (мультимедиа средней скорости/фоновый трафик)	512 кбит/с
		Радиовещание для приема на мобильные средства (мультимедиа высокой скорости/поточковый трафик)	5 Мбит/с
		Доступ в интернет (мультимедиа высокой скорости)	10 Мбит/с
Системы городского мониторинга	Голосовая связь (мультимедиа и передача данных с низкой скоростью/разговорный трафик)	64 кбит/с	
	Видеосвязь (мультимедиа средней скорости/разговорный трафик)	384 кбит/с	
	Передача данных со средней скоростью для мониторинга городской информации (мультимедиа средней скорости/интерактивный трафик)	384 кбит/с	
	Передача данных с низкой скоростью для предварительного заказа мест в ресторане и т. д. (очень низкая скорость передачи данных/интерактивный трафик)	1 кбит/с	
	Передача файлов (мультимедиа сверхвысокой скорости/фоновый трафик)	50 Мбит/с	

5.5.2.3 Определение значений атрибутов трафика для каждой услуги

На шаге 2, после составления списков приложений и услуг – шаг 1 на рисунке 4, определяются значения параметров атрибутов трафика, такие как средняя битовая скорость услуги, средняя продолжительность сеанса связи для каждой услуги.

По результатам анализа услуг, список которых составлен на шаге 1, выводятся атрибуты трафика, представленные в таблице 12. В указанной таблице приведены типичные значения:

- средней битовой скорости услуги;
- средней продолжительности сеанса связи.

Эти значения используются для разложения собранных рыночных данных по приложениям, если они не определены в собранных рыночных данных.

5.5.2.4 Определение значений атрибутов рынка для каждой услуги

Изменчивость трафика в зависимости от времени и региона в разных группах RAT открывает возможность повышения эффективности использования спектра за счет координированных сетей и схемы FSU. Основная идея, лежащая в основе этой концепции, заключается в том, чтобы не распределять каждой RATG фиксированные и географически равные объемы спектра, а разрешить передачу между группами RAT неиспользуемого в данный момент времени спектра. В случае использования оптимальной схемы FSU сети радиодоступа будет распределен такой объем спектра, который требуется в соответствии со спросом на трафик. Эти изменяющиеся во времени схемы наблюдаются в большинстве RAT как следствие изменения поведения пользователей в зависимости от времени суток.

Для расчета динамического требуемого спектра для RATG необходимы значения атрибутов рынка для отдельного интервала времени t . Возможная экономия спектра за счет применения FSU будет возрастать по мере увеличения разрешения по времени, с которым могут быть получены значения атрибутов рынка.

Для анализа рыночных данных необходимо определить значения плотности размещения пользователей и скорость поступления сеансов на пользователя для каждой услуги в каждой среде предоставления услуг и интервале времени. Кроме того, для распределения трафика необходимы коэффициенты мобильности, определенные в п. 5.4.1.3. В таблице 13 приведен пример ожидаемого ответа на вопросник по рынку и услугам.

5.5.2.5 Распределение услуг в таблице категорий услуг по каждой среде предоставления услуг

Согласно таблице 13 каждая услуга может быть включена в таблицу, содержащую типы услуг и класс трафика, см. таблицу 1. Все перечисленные в таблице 13 услуги должны быть занесены в таблицу 1. Такая таблица будет составлена для каждой среды предоставления услуг, так чтобы можно было получить шесть таблиц для всех видов среды предоставления услуг.

5.5.2.6 Расчет значений атрибутов рынка для каждого SC, SE и интервала времени

В таблице 13 показаны значения атрибутов рынка для каждой услуги. На этом шаге значения атрибутов рынка рассчитываются для каждого SC, SE и интервала времени. Результаты представлены в таблице 14. Значения атрибутов рынка предоставляются отдельно для линии вверх и для линии вниз.

Требуемые значения для SE m , интервала времени t и SC n выводятся из значений параметров каждой услуги следующим образом:

ТАБЛИЦА 13

Ожидаемый ответ на вопросник по рынку и услугам

Приложение	Услуги s: индекс	SC n	SE m	Атрибуты рынка								
				Плотность размещения пользователей $U_{m,t,s}$ (пользователь/км ²)	Скорость поступления сеансов связи/пользователь $Q_{m,t,s}$ (сеансы связи/ (с · пользователь))	Средняя битовая скорость, услуги r_s (бит/с)	Средняя продолжительность сеанса связи $\mu_{m,t,s}$ (с/сеанс связи)	Коэффициент мобильности (%) $MR_{m,s}$				
								Стационарный режим	Низкая скорость	Высокая скорость	Сверхвысокая скорость	
Системы городского мониторинга	Мониторинг городской информации $s = 1$	18	1									
			2									
			3									
	Предварительный заказ $s = 2$											

Плотность размещения пользователей (число пользователей/км²) для определенной категории услуг является суммой значений плотности размещения пользователей для каждой услуги, включенной в данную категорию услуг.

Математически это выражается следующим образом:

$$U_{m,t,n} = \sum_{s \in n} U_{m,t,s}, \quad (1)$$

где $U_{m,t,n}$ и $U_{m,t,s}$ обозначают плотность размещения пользователей для категории услуг n и плотность размещения пользователей для услуги s , входящей в категорию услуг n , соответственно.

Скорость поступления сеансов на пользователя (число сеансов/(с/пользователь) для определенной категории услуг является средневзвешенным значением скорости поступления сеансов на пользователя всех услуг, принадлежащих к данной категории услуг. Весовой функцией для каждой услуги является плотность размещения пользователей.

Математически это выражается следующим образом:

$$Q_{m,t,n} = \frac{\sum_{s \in n} U_{m,t,s} Q_{m,t,s}}{U_{m,t,n}}, \quad (2)$$

где $Q_{m,t,n}$ и $Q_{m,t,s}$ обозначают скорость поступления сеансов на пользователя для категории услуг n и скорость поступления сеансов на пользователя для услуги s , входящей в категорию услуг n , соответственно.

Средняя продолжительность сеанса связи (с/сеанс) для определенной категории услуг является средневзвешенным значением средней продолжительности сеанса связи всех услуг, относящихся к данной категории услуг. Весовой функцией является скорость поступления сеансов в рамках зоны. Мы разделяем единицу времени "секунда" для продолжительности сеанса связи и единицу времени "с" для простого интервала времени.

Математически это выражается следующим образом:

$$\mu_{m,t,n} = \sum_{s \in n} w_{m,t,s} \mu_{m,t,s}, \quad (3)$$

где:

$$w_{m,t,s} = \frac{U_{m,t,s} Q_{m,t,s}}{U_{m,t,n} Q_{m,t,n}},$$

где $\mu_{m,t,n}$ и $\mu_{m,t,s}$ обозначают среднее значение продолжительности сеанса связи для категории услуг n и среднее значение продолжительности сеанса связи для услуги s , относящейся к категории услуг n , соответственно.

Средняя битовая скорость услуги (бит/с) для определенной категории услуг является средневзвешенным значением средней битовой скорости всех услуг, принадлежащих к данной категории услуг. Весовой функцией является объем трафика (сумма средних значений продолжительности всех сеансов связи, поступивших за единицу времени) в рамках зоны.

Математически это выражается следующим образом:

$$r_{m,t,n} = \sum_{s \in n} \bar{w}_{m,t,s} r_{m,t,s}, \quad (4)$$

где:

$$\bar{w}_{m,t,s} = \frac{U_{m,t,s} Q_{m,t,s} \mu_{m,t,s}}{U_{m,t,n} Q_{m,t,n} \mu_{m,t,n}},$$

где $r_{m,t,n}$ и $r_{m,t,s}$ обозначают скорость передачи относящихся к услуге данных для категории услуг n и скорость передачи данных, относящихся к услуге s , которая входит в категорию услуг n , соответственно.

Коэффициент мобильности определенной категории услуг является средневзвешенным значением всех коэффициентов мобильности в расчете на пользователя категории услуг по всем услугам, относящимся к данной категории услуг. Предполагается, что коэффициент мобильности не является зависящим от времени. Взвешивание каждой услуги осуществляется путем вычисления отношения предлагаемого трафика услуги к общему предлагаемому трафику данной категории услуг в данной среде предоставления услуг.

Математически это выражается следующим образом:

$$MR_market_{m,t,n} = \sum_{s \in n} \bar{w}_{m,t,s} MR_market_{m,t,s}, \quad (5)$$

где $MR_market_{m,t,n}$ и $MR_market_{m,t,s}$ обозначают коэффициент мобильности категории услуг n и коэффициент мобильности услуги s , которая входит в категорию услуг n , соответственно. Следует заметить, что данное уравнение может применяться для всех случаев мобильности.

Коэффициенты мобильности по результатам изучения рынка MR_market , полученные выше для классов мобильности "стационарный режим" (sm), "низкая скорость" (lm), "высокая скорость" (hm) и "сверхвысокая скорость" (shm), необходимо преобразовать в коэффициенты мобильности данной методики MR для стационарного режима/пешехода (sm), низкой скорости (lm) и высокой скорости (hm) мобильности, которые используются при распределении трафика в п. 5.6. Преобразование выполняется в соответствии с п. 5.4.1.3 с использованием коэффициентов J_m , представленных в таблице 4. Коэффициент мобильности для стационарного класса мобильности определяется следующим образом:

$$MR_sm_{m,t,n} = MR_market_sm_{m,t,n} + MR_market_lm_{m,t,n}. \quad (6)$$

Коэффициент мобильности для низкой скорости мобильности определяется следующим образом:

$$MR_{lm_{m,t,n}} = J_m \cdot MR_{market_hm_{m,t,n}} \quad (7)$$

Коэффициент мобильности для высокой скорости мобильности определяется следующим образом:

$$MR_{hm_{m,t,n}} = (1 - J_m) \cdot MR_{market_hm_{m,t,n}} + MR_{market_shm_{m,t,n}} \quad (8)$$

ТАБЛИЦА 14

Рыночные данные для категории услуги в среде предоставления услуги

Категория услуги	Среда предоставления услуги					
	SE1	SE2	SE3	SE4	SE5	SE6
SC1	$U_{1,t,1}$ $Q_{1,t,1}$ $\mu_{1,t,1}$ $r_{1,t,1}$ $MR_{1,t,1}$	$U_{2,t,1}$ $Q_{2,t,1}$ $\mu_{2,t,1}$ $r_{2,t,1}$ $MR_{2,t,1}$	...	...	...	$U_{6,t,1}$ $Q_{6,t,1}$ $\mu_{6,t,1}$ $r_{6,t,1}$ $MR_{6,t,1}$
SC2	$U_{1,t,2}$ $Q_{1,t,2}$ $\mu_{1,t,2}$ $R_{1,t,2}$ $MR_{1,t,2}$	...	...	...	...	...
SC3	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

5.6 Распределение трафика по методам радиодоступа и по радиосредам в рамках каждой группы методов радиодоступа

Трафик, полученный для каждой среды предоставления услуг, интервал времени и категория услуг будут распределены по вероятным группам RAT и радиосредам. Это соответствует шагу 4 общей блок-схемы методики, представленной на рисунке 2.

Каждая среда предоставления услуг поддерживается одной или более RATG. Следовательно, трафик по SE может далее быть разделен на трафик по группам RAT.

Для распределения трафика используются следующие входные данные:

- объемы трафика по SC и SE, полученные в результате выполнения шага 3 представленной на рисунке 2 схемы, см. таблицу 14;
- матрица определений среды предоставления услуг, построенная согласно шагу 1 представленной на рисунке 2 схемы, включая возможные RE и процент охвата населения для каждой SE, см. таблицу 9;
- матрицы определения групп RAT согласно шагу 1 представленной на рисунке 2 схемы, см. таблицы 10a–10d;
- коэффициенты распределения между имеющимися группами RAT, см. таблицу 16.

Выходом процесса является предлагаемый трафик для каждой категории услуг n в каждой среде предоставления услуг m и интервале времени t , разделенный между группами RAT и радиосредами. Если в основе функционирования категории услуги лежит планирование на базе резервирования (коммутация каналов), выходом процесса будут значения средней скорости поступления сеансов связи и средней битовой скорости услуги, для категории услуг n в среде предоставления услуг m и интервале времени t на соту или сектор группы RAT rat и радиосреду p . Эти значения рассчитываются в п. 5.6.3.1. Если в основе функционирования категории услуги лежит планирование на базе пакетов, выходом процесса будет суммарная битовая скорость категории услуги n в среде предоставления услуг m и интервале времени t на соту или сектор группы RAT rat и радиосреду p . Это значение рассчитывается в п. 5.6.3.2.

5.6.1 Коэффициенты распределения

Значения скорости поступления сеансов связи распределяются по группам RAT и средам радиосвязи с коэффициентами распределения $\xi_{m,t,n,rat,p}$. Коэффициенты распределения выводятся отдельно для разных SC в разных SE и интервалах времени для восходящего и нисходящего трафика в силу разных объемов трафика.

Для получения коэффициентов $\xi_{m,t,n,rat,p}$ используются следующие правила. Правила обуславливаются входными данными, определенными в предыдущем разделе.

Коэффициенты распределения определяются в три этапа.

Этап 1 – определение такой комбинации RATG и RE, которая не может поддерживать данную категорию услуг в данной SE. Соответствующие коэффициенты распределения устанавливаются равными 0, а возможные комбинации – 1. На этапе 1 равными 0 устанавливаются коэффициенты распределения для:

- RATG4 для категорий услуг с одноадресной передачей;
- RE, которые не существуют в рассматриваемой среде предоставления услуг согласно определениям среды предоставления услуг в таблице 9;
- RE, которые не поддерживаются данной RATG согласно определениям RATG в таблицах 10a–10d;
- комбинации RATG и RE, скорость передачи прикладных данных которых согласно определениям RATG в таблицах 10a–10d меньше требуемого значения скорости передачи данных конкретной SC, полученной на основании определений в таблице 14;
- RE макросоты для тех групп RAT, которые не поддерживают полный диапазон значений скорости, связанной с классом мобильности высокой скорости согласно таблицам 10a–10d.

Результатом этапа 1 является таблица возможных комбинаций, значения которых установлены равными 0 или 1. В таблице 15 приведен пример для 3 SE и 6 SC в одной RATG и в одном интервале времени. Полная таблица будет содержать все шесть SE и 20 SC.

ТАБЛИЦА 15

Пример возможных комбинаций SC, SE и RE для одной RATG и одного интервала времени после этапа 1 распределения трафика

Категория услуг	SE1				SE2				SE3			
	Макро-сота	Микро-сота	Пико-сота	"Горячая точка"	Макро-сота	Микро-сота	Пико-сота	"Горячая точка"	Макро-сота	Микро-сота	Пико-сота	"Горячая точка"
SC ₁	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
SC ₂	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
SC ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC ₅	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
SC ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Этап 2 – распределение трафика между группами RAT. Коэффициент распределения по группам RAT зависит от имеющихся групп RAT в каждой RE и SE. На этапе 1 была составлена таблица 15, группы RAT которой имеются в данной SE для каждого RE и SC. Распределение между имеющимися группами RAT выполняется на основании значений распределения, представленных в таблице 16, которые являются входными значениями параметров для данной методики. Для каждой комбинации категории услуги, радиосреды, среды предоставления услуги и интервала времени коэффициенты распределения по группам RAT выбираются по таблице 16 в строке, соответствующей имеющимся группам RAT для данной комбинации из таблицы 15. Приведенные в таблице 16 значения являются примерами значений распределения.

ТАБЛИЦА 16

Пример коэффициентов распределения по имеющимся группам RAT

Имеющиеся группы RAT	Коэффициент распределения (%)			
	RATG1	RATG2	RATG3	RATG4
1	100	–	–	–
2	–	100	–	–
3	–	–	100	–
4	–	–	–	100
1, 2	20	80	–	–
1, 3	20	–	80	–
1, 4	10	–	–	90
2, 3	–	20	80	–
2, 4	–	10	–	90
3, 4	–	–	10	90
1, 2, 3	20	20	60	–
1, 2, 4	10	10	–	80
1, 3, 4	10	–	10	80
2, 3, 4	–	10	10	80
1, 2, 3, 4	10	10	10	70

Этап 3 – распределение трафика по радиосредам на основе коэффициентов мобильности и процентных значений охвата.

В рамках данной методики определяются классы мобильности "стационарный режим/пешеход", "низкая скорость" и "высокая скорость". Классы мобильности следующим образом преобразуются в радиосреду:

высокая скорость:	только макро;
низкая скорость:	микро и макро;
стационарный режим/пешеход:	все виды радиосреды.

Допускается, что такое соответствие классов мобильности радиосреде действительно для всех групп RAT. Диапазоны значений скорости для классов мобильности и максимальной поддерживаемой скорости для каждой радиосреды выбираются соответствующим образом.

Распределение трафика осуществляется в соответствии с принципом использования радиосреды с наименьшей поддерживаемой мобильностью, которая точно соответствует требованиям. Это обуславливается тем, что, как правило, соты "горячие точки" и пикосоты обеспечивают более высокую пропускную способность и более высокую эффективность использования спектра по сравнению с микросотами, и то же применимо к взаимоотношению между микро- и макросотами. Согласно только этому принципу весь трафик класса мобильности "стационарный режим/пешеход" будет попадать в соты "горячие точки" и пикосоты, весь трафик класса мобильности "низкая скорость" будет попадать в микросоты, а весь трафик класса мобильности "высокая скорость" – в макросоты (всегда при условии наличия соответствующих видов радиосреды, в противном случае трафик попадет в следующую радиосреду, поддерживающую более высокий класс мобильности). Вместе с тем, на практике вся зона конкретной среды предоставления услуги охватывается каждой радиосредой, например пикосотами, лишь на X процентов.

В таблице 9 определяется процент охвата населения каждой радиосредой в каждой среде предоставления услуги. Процентные доли охвата населения независимы от RATG. Однако, если конкретная RATG полностью не поддерживает конкретную радиосреду, тогда соответствующая скорость передачи данных на границе соты для данной комбинации RATG/радиосреды должна быть

установлена равной нулю, так чтобы на этапе 1 распределения трафика это привело к установке соответствующего коэффициента распределения равным нулю.

Процент охвата населения накладывает ограничения на часть трафика в аспекте плотности трафика, которая может быть распределена данной радиосреде. Используя данные о проценте охвата населения X_{hs} , X_{pico} , X_{micro} и X_{macro} "горячими точками", пико-, микро и макросотами, согласно алгоритму происходит распределение следующих частей трафика между радиосредами типа "горячая точка", пико-, микро и макросота:

$$\xi_{pico\&hs} = \min(X_{pico} + X_{hs}, MR_sm). \quad (9)$$

$$\xi_{micro} = \min(X_{micro}, (MR_sm + MR_lm) - \xi_{pico\&hs}). \quad (10)$$

$$\xi_{macro} = 1 - \xi_{pico\&hs} - \xi_{micro}. \quad (11)$$

MR_sm и MR_lm – коэффициенты предлагаемого трафика для классов "стационарный режим" и "низкая скорость", соответственно. В соответствии с этими уравнениями предполагается, что:

$$MR_sm + MR_lm + MR_hm = 1. \quad (12)$$

Между "горячими точками" и пикосотами трафик распределяется согласно соотношению процентных долей охвата населения "горячими точками" и пикосотами:

$$\xi_{hs} = \xi_{pico\&hs} \cdot X_{hs} / (X_{pico} + X_{hs}). \quad (13)$$

$$\xi_{pico} = \xi_{pico\&hs} \cdot X_{pico} / (X_{pico} + X_{hs}). \quad (14)$$

Категории услуг, обеспечиваемых на базе многоадресной передачи, обрабатываются иным образом. Они всегда распределяются по группам RAT, которые поддерживают режим многоадресной передачи и данную категорию услуг, и по радиосредам с наибольшими имеющимися сотами, т. е. коэффициенты распределения для наибольших по размерам сот для этих групп RAT устанавливаются равными единице. Это соответствует случаю одновременного предоставления услуг многоадресной передачи всеми этими группами RAT. Коэффициент охвата населения в случае многоадресной передачи не рассматривается, поскольку для трафика многоадресной передачи не учитывается плотность размещения пользователей. Следует заметить, что в результате применения данного правила категория услуг может быть распределена несколькими группами RAT и полученная сумма коэффициентов распределения по группам RAT может превышать единицу.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В рамках данной методики не учитывается, тот же или разный контент услуги многоадресной передачи данных доставляется в разных средах предоставления услуги в той же соте (в случае многоадресной передачи тех же данных требуемый объем спектра меньше, чем в случае многоадресной передачи разных данных).

5.6.2 Распределение значений скорости поступления сеансов связи

Скорость поступления сеансов связи в рамках зоны (сеансы/(с · км²)) для категории услуги n и среды предоставления услуг m , распределенных группе RAT rat и радиосреде p в интервале времени t , $P_{m,t,n,rat,p}$, рассчитывается с использованием коэффициента распределения $\xi_{m,t,n,rat,p}$, плотности размещения пользователей $U_{m,t,n}$ и скорости поступления сеансов связи на пользователя $Q_{m,t,n}$ (см. п 5.5.2.6) по следующей формуле:

$$P_{m,t,n,rat,p} = \xi_{m,t,n,rat,p} \cdot U_{m,t,n} \cdot Q_{m,t,n}. \quad (15)$$

Сумма коэффициентов распределения по индексу группы RAT rat и индексу радиосреды p равна единице, т. е. $\sum_{rat} \sum_p \xi_{m,t,n,rat,p} = 1$. Следовательно, $\sum_{rat} \sum_p P_{m,t,n,rat,p} = U_{m,t,n} \cdot Q_{m,t,n}$.

Трафик, относящийся ко всем пользователям в соте, должен суммироваться. Скорость поступления сеанса связи на соту (сеанс/(с · сота)) рассчитывается следующим образом:

$$P'_{m,t,n,rat,p} = P_{m,t,n,rat,p} \cdot A_{d,p}, \quad (16)$$

где $A_{d,p}$ – площадь соты (км²) для группы RAT rat при плотности электросвязи d и в радиосреде p , где d определяется уникальным образом с помощью m (таблица 6). $P'_{m,t,n,rat,p}$ представляет скорость поступления сеансов связи в соте для категории услуг n в группе RAT rat в среде предоставления услуг m и радиосреде p в интервале времени t .

Для режима многоадресной передачи для приема на мобильные средства используется отдельное уравнение¹.

5.6.3 Расчет предлагаемого трафика

Для расчета потребностей в спектре необходимо определить предлагаемый трафик для каждой категории услуг. Разговорный и потоковый классы (категория услуг 1–10) базируются на коммутации каналов, а фоновый и интерактивный классы (категория услуг 11–20) – на коммутации пакетов. Следовательно, предлагаемый трафик рассчитывается согласно входным значениям для метода расчета на основании коммутации каналов и на основании коммутации пакетов. Трафик также должен суммироваться по всем видам среды предоставления услуг, относящимся к той же плотности электросвязи, согласно таблице 6.

5.6.3.1 Трафик с коммутацией каналов

В случае коммутации каналов скорость поступления сеансов связи $P'_{m,t,n,rat,p}$ определяется по функции распределения, а средняя продолжительность сеанса связи $\mu_{m,t,n}$ используется в качестве входного значения для расчета пропускной способности. В математической форме это произведение эквивалентно предлагаемому трафику, измеренному в Эрлангах.

Суммарные значения произведения скорости поступления сеансов связи в соте и средней продолжительности сеанса связи для разных плотностей электросвязи d суммируются для получения предлагаемого трафика $\rho_{d,t,n,rat,p}$ (с/(с · сота)), который определяется следующим образом:

$$\rho_{d,t,n,rat,p} = \sum_{m \in d} P'_{m,t,n,rat,p} \mu_{m,t,n}. \quad (17)$$

Это сумма средних значений продолжительности сеансов связи категории услуг n , поступающих в единицу времени в соте, которая характеризуется плотностью электросвязи d , группой RAT rat и радиосредой p , за интервал времени t . Единица $\rho_{d,t,n,rat,p}$ также обозначается как (Эрланг/сота).

Суммарные значения средней битовой скорости услуги $r_{d,t,n,rat,p}$ (бит/с) для плотности электросвязи d определяются следующим образом:

$$r_{d,t,n,rat,p} = \frac{\sum_{m \in d} P'_{m,t,n,rat,p} \mu_{m,t,n} r_{m,t,n}}{\rho_{d,t,n,rat,p}}. \quad (18)$$

¹ Предполагается, что услуги категории многоадресной передачи предоставляются нескольким пользователям одновременно в режиме совместного использования радиоресурса. Вследствие этого предполагается, что плотность размещения пользователей оказывает пренебрежимо малое воздействие. Таким образом, распределение трафика по группам RAT, поддерживающим многоадресную передачу для приема на мобильные средства, и по радиосредам выполняется путем распределения скорости поступления сеансов связи $P'_{m,t,n,rat,p} = \xi_{m,n,rat,p} \cdot Q_{m,t,n}$.

5.6.3.2 Трафик с коммутацией пакетов

Для категорий услуг с коммутацией пакетов для расчета пропускной способности требуется значение предлагаемого трафика в единицах бит/(с · сота). Предлагаемый трафик определяется как суммарный предлагаемый трафик в средах предоставления услуг, характеризующихся той же плотностью электросвязи. $T_{d,t,n,rat,p}$ – это трафик, предлагаемый для категории услуг n и группы RAT rat в радиосреде p при плотности электросвязи d и иного интервала времени t . Он определяется следующим образом:

$$T_{d,t,n,rat,p} = \sum_{m \in d} P'_{m,t,n,rat,p} \mu_{m,t,n} r_{m,t,n} \cdot \quad (19)$$

Это сумма числа битов, включенных во все сеансы связи категории услуг n , которые поступают в единицу времени в соте, которая характеризуется плотностью электросвязи d , группой RAT rat и радиосредой p в интервале времени t .

6 Определение требуемой пропускной способности системы и потребностей в спектре

На шаге 6 представленной на рисунке 2 схемы определяется требуемая пропускная способность системы, соответствующая предлагаемому базовому трафику при выполнении требований QoS каждой категории услуг n , для каждой группы RAT rat и радиосреды p для всех значений плотности электросвязи d и интервала времени t . Требуемая пропускная способность системы, выраженная в бит/с, определяется отдельно для трафика с коммутацией каналов (т. е. на основе резервирования) и трафика с коммутацией пакетов. Число категорий услуг с коммутацией каналов обозначается как N_{cs} , а число категорий услуг с коммутацией пакетов обозначается как N_{ps} , где $N = N_{cs} + N_{ps}$ обозначает общее число категорий услуг.

Результатом этих расчетов являются значения требуемой пропускной способности системы $C_{d,t,rat,p,cs}$ и $C_{d,t,rat,p,ps}$ [бит/(с · сота)] для трафика с коммутацией каналов и для трафика с коммутацией пакетов, соответственно.

$C_{d,t,rat,p,cs}$ – это пропускная способность системы, которая необходима для выполнения требований QoS для всех категорий услуг с коммутацией каналов, характеризующихся плотностью электросвязи d , интервалом времени t , группой RAT rat и радиосредой p , а $C_{d,t,rat,p,ps}$ – это пропускная способность системы, которая необходима для выполнения требований QoS для всех категорий услуг с коммутацией пакетов, характеризующихся плотностью электросвязи d , интервалом времени t , группой RAT rat и радиосредой p .

6.1 Расчет требуемой пропускной способности системы для трафика с коммутацией каналов

Требуемая пропускная способность системы для категорий услуг с коммутацией каналов (т. е. на основании резервирования) определяется числом каналов услуги, необходимых для достижения определенной вероятности блокирования и скорости передачи данных в канале. Широко известная теория Эрланга пригодна для расчета пропускной способности, необходимой для обеспечения вероятности блокирования, значение которой ниже либо равно заданному значению [Kleinrock, 1975]. Входными параметрами для определения требуемого числа каналов услуги для сеансов связи с коммутацией каналов, являются следующие:

- предлагаемый трафик в Эрлангах на соту или сектор $\rho_{d,t,n,rat,p}$ (п. 5.6.3.1);
- скорость передачи данных в канале услуги $r_{d,t,n,rat,p}$ для категории услуг n (п. 5.6.3.1);
- максимальная допустимая вероятность блокирования π_n , значения которой приведены в таблице 5 (п. 5.4.1.3).

Далее для удобства чтения $\rho_{d,t,n,rat,p}$ и $r_{d,t,n,rat,p}$ обозначаются ρ_n и r_n , соответственно.

С учетом усиления за счет использования магистрали формула Эрланг-В может быть расширена для многофакторного случая, при котором также разрешается одновременное занятие нескольких каналов каждым вызовом, следующим образом. Предположим, что вызовы классов N_{cs} совместно используют совокупность каналов v и что для каждого вызова класса n одновременно требуется v_n каналов ($1 \leq n \leq N_{cs}$). Если число найденных поступающим вызовом класса n пустых каналов меньше v_n , этот вызов блокируется и теряется; пусть $v \equiv (v_1, v_2, \dots, v_{N_{cs}})$. Вызовы класса n поступают согласно пуассоновскому процессу со скоростью P_n независимо от других классов, и

соответствующие им значения удержания соединения распределяются по экспоненте со средним значением μ_n , так что предлагаемым трафиком класса n является ρ_n . Все используемые вызовом каналы освобождаются по истечении времени удержания соединения.

Пусть состояние системы определяется как $i \equiv (i_1, i_2, \dots, i_{N_{cs}})$, где i_m – количество вызовов класса m , в текущий момент использующих каналы. Далее, функция массы вероятности установившегося состояния принимает простую мультипликативную форму:

$$P(i) = G(v)^{-1} \prod_{m=1}^{N_{cs}} \frac{(\rho_m)^{i_m}}{i_m!} \quad (20)$$

при:

$$G(k) = \sum_{\{i: 0 \leq v \cdot i \leq k\}} \prod_{m=1}^{N_{cs}} \frac{(\rho_m)^{i_m}}{i_m!}, \quad 1 \leq k \leq v, \quad (21)$$

где $v \cdot i \equiv \sum_{m=1}^{N_{cs}} v_m i_m$ – количество каналов, занятых в период времени нахождения системы в состоянии i .

Вероятность блокирования для вызовов класса n определяется следующим образом:

$$B_n(v) = \sum_{\{i: v \cdot i > v - v_n\}} P(i) = 1 - \frac{G(v - v_n)}{G(v)}. \quad (22)$$

Поскольку прямое вычисление $G(k)$ по уравнению (18) сопровождается вычислительными трудностями, были разработаны несколько эффективных алгоритмов. Простым и предпочтительным в вычислительном отношении является линейный рекурсивный алгоритм Кауфмана (Kaufman) [1981] и Робертса (Roberts) [1981]. Этот алгоритм корректируется в целях использования при итерационных расчетах для решения обратной задачи определения пропускной способности системы, позволяющей выполнить требования пользователя к значению вероятности блокирования [Takagi *et al.*, 2005].

Таким образом, начиная с $G(0) = 1$, рассчитывается $G(k)$, $k = 1, 2, \dots, v$, рекурсивно следующим образом:

$$G(k) = \frac{1}{k} \left[\sum_{j=0}^{k-1} G(j) + \sum_{m=1}^{N_{cs}} v_m \rho_m G(k - v_m) \right], \quad (23)$$

где $G(k) = 0$ при $k < 0$. Этот алгоритм позволяет определить значения вероятности блокирования для систем, в которых одновременно используются до v каналов при вычислительных затратах $O(N_{cs}v)$ и требованиях к памяти $O(v)$.

Приведенные выше модель и алгоритм используются для расчета вероятности блокирования для каждой категории услуги N_{cs} при заданном значении общего числа каналов v . Используя обратный метод, рассчитывается общее число каналов для удовлетворения условия вероятности блокирования для каждой категории, требуемой пользователем. Пропускная способность системы определяется путем умножения требуемого общего числа каналов на битовую скорость на канал.

Примем для удобства r (бит/с) в качестве единицы битовой скорости услуги на канал. Если относящаяся к услуге битовая скорость для категории n составляет r_n , в вышеприведенной формуле должен использоваться параметр v_n , который задается следующим образом:

$$v_n = \lceil r_n / r \rceil, \quad 1 \leq n \leq N_{cs}, \quad (24)$$

где $\lceil x \rceil$ обозначает наименьшую целую величину, которая больше либо равна x (функция округления вверх). Это значит, что число каналов рассчитывается с использованием r в качестве единицы скорости передачи данных для каждой категории услуг.

Пусть π_n – это вероятность блокирования для категории услуг n , которая требуется пользователем. Далее определяется число каналов на соту, K , как наименьшее значение v , удовлетворяющее следующим условиям:

$$B_n(v) < \pi_n, \quad 1 \leq n \leq N_{cs} \quad (25)$$

одновременно. Наконец, требуемая пропускная способность системы $C_{d,t,rat,p,cs}$ (бит/(с · сота)) для категорий услуг с коммутацией каналов определяется по формуле:

$$C_{d,t,rat,p,cs} = \kappa \times r. \quad (26)$$

6.2 Расчет требуемой пропускной способности системы для трафика с коммутацией пакетов

Пропускная способность системы, необходимая для выполнения требования к средней задержке по каждой категории услуг, определяется с использованием модели приоритетности, которая применяется в случае независимых значений времени поступления пакетов и произвольного характера распределения размера пакетов. В теории массового обслуживания такая модель известна как модель M/G/1 с не вытесняющими приоритетами или система обслуживания с относительными приоритетами [Klienrock, 1976]. Принцип не вытесняющих приоритетов заключается в том, что по поступлении задания, имеющего более высокий приоритет по сравнению с текущим заданием, обслуживание текущего задания не прерывается, а завершается до начала обслуживания вновь поступившего задания с более высоким приоритетом. Для каждой категории услуг с коммутацией пакетов используется один уровень приоритета, однако, также возможно группирование нескольких категорий услуг по одному приоритету. Для каждого уровня приоритета входящие пакеты сохраняются в отдельной очереди. В рамках каждой очереди данного уровня приоритета применяется принцип обслуживания "первым прибыл – первым обслужен" (ПППО).

В данном случае RAT моделируется как имеющий только один канал передачи данных независимо от числа каналов, используемых параллельно в реальном RAT, поскольку при буферизации мультиплексированных пакетов в очереди для передачи по одному или более параллельных каналов магистральное усиление невозможно. Некоторая незначительная потеря пропускной способности, обусловливаемая фрагментацией и заполнением при использовании нескольких параллельных каналов со средней битовой скоростью вместо одного канала с высокой битовой скоростью и равной пропускной способностью, в данном методе не учитывается. Продолжительность обслуживания в системе массового обслуживания определяется по размеру пакетов и скорости передачи данных.

Для определения требуемой пропускной способности системы для трафика с коммутацией пакетов необходимы следующие входные параметры:

- предлагаемый базовый трафик на среду предоставления услуги и на соту $T_{d,t,n,rat,p}$ (бит/(с · сота)) по каждой категории услуг, см. п. 5.6.3.2;
- математическое ожидание s_n (бит/пакет) и момент второго порядка $s_n^{(2)}$ (бит²/пакет) распределения размеров IP-пакетов по каждой категории услуг n , указанной в таблице 5;
- требуемое среднее значение задержки D_n по каждой категории услуг, указанной в таблице 5;
- приоритетность всех категорий услуг n при $n = 1, 2, \dots, N_{ps}$. Предполагается, что категория услуг $n = 1$ имеет наивысший приоритет, т.е. IP-пакеты категории услуг $n = 1$ обслуживаются первыми. Категория услуг $n = N_{ps}$ имеет низший приоритет. Порядок приоритетов категорий услуг эквивалентен нумерации категорий услуг.

Результирующая скорость поступления IP-пакетов на соту λ_n (пакет/(с · сота)) категории услуг n определяется путем деления предлагаемого базового трафика на среднее значение размера пакетов (таблица 5):

$$\lambda_{d,t,n,rat,p} = \frac{T_{d,t,n,rat,p}}{s_n}. \quad (27)$$

В целях удобства восприятия текста индексы d,t,rat и p до конца данного раздела опускаются, так что $\lambda_{d,t,n,rat,p}$ обозначается просто как λ_n .

Суммарная скорость поступления по всем категориям услуг обозначается следующим образом:

$$\lambda_{\leq N_{ps}} = \sum_{n=1}^{N_{ps}} \lambda_n. \quad (28)$$

Пропускная способность C_n , необходимая для получения среднего значения задержки, которая требуется в соответствии с категорией услуг n , может быть рассчитана следующим образом. Уровень приоритета, требующий наивысшую пропускную способность, обозначает общую требуемую пропускную способность, поскольку при выполнении требований QoS наиболее востребованной категории услуг требования других категорий услуг перевыполняются. Следовательно, общая требуемая пропускная способность системы определяется по формуле:

$$C_{d,t,rat,p,ps} = \max(C_1, C_1, \dots, C_{N_{ps}}). \quad (29)$$

Одно задание, обслуживаемое системой очередности, определяется как один IP-пакет. При использовании не замещающих приоритетов предполагается, что каждый IP-пакет получает полное обслуживание до изменения распределения текущего радиоресурса. Это обоснованное предположение, поскольку во многих случаях прерывание обслуживания IP-пакета приводит к потере пропускной способности, уже затраченной на этот пакет.

Среднее значение задержки IP-пакета D_n , т. е. сумма средних значений времени ожидания и продолжительности сеанса связи, по каждой категории услуг n по системе, имеющей пропускную способность C , определяется следующим образом:

$$D_n(C) = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ps}} \lambda_i s_i^{(2)}}{2 \left(C - \sum_{i=1}^n \lambda_i s_i \right) \left(C - \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right)} + \frac{s_n}{C}. \quad (30)$$

Данное уравнение выведено на основании формулы Кобэма (Cobham) для среднего значения времени ожидания в одной очереди поступления M/G/1 по принципу не замещающих приоритетов [Cobham, 1954; Irnich and Walke, 2004].

Это выражение используется для определения пропускной способности системы C_n , требуемой для выполнения условия QoS – $D_n(C_n) = D_n$. Далее C_n определяется как результат решения уравнения третьей степени:

$$a_n x^3 + b_n x^2 + c_n x + d_n = 0, \quad (31)$$

коэффициенты a_n , b_n , c_n и d_n :

$$\begin{aligned} a_n &= 2D_n \\ b_n &= 2 \left(D_n \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i + \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right) + s_n \right) \\ c_n &= 2 \left(D_n \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i \right) \left(\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right) + s_n \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i + \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right) \right) - \sum_{i=1}^{N_{ps}} \lambda_i s_i^{(2)} \\ d_n &= -2s_n \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i \right) \left(\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right). \end{aligned} \quad (32)$$

Для решения уравнений третьей степени существует хорошее символическое решение, получаемое путем использования примера формулы Кардано (Cardano). Математически уравнение (31) имеет три решения. Для определения того, какое из этих трех решений правильное, следует учитывать границу стабильности системы приоритетности, т. е.:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i < C_n. \quad (33)$$

Для обеспечения доставки пакетов с конечным значением задержки пропускная способность системы не может быть ниже суммарной скорости поступления.

6.3 Определение потребностей в спектре

Ниже описана процедура по шагам расчета потребностей в спектре:

Шаг 1: Расчет пропускной способности до этого момента выполнялся отдельно для линии вверх и линии вниз. Требования к пропускной способности для линии вверх и линии вниз объединяются, отдельно требования к пропускной способности для случая коммутации пакетов и для случая коммутации каналов:

$$C_{d,t,rat,p,cs} = C_{d,t,rat,p,cs,UL} + C_{d,t,rat,p,cs,DL} \quad (34)$$

$$C_{d,t,rat,p,ps} = C_{d,t,rat,p,ps,UL} + C_{d,t,rat,p,ps,DL} \quad (35)$$

Шаг 2: Требования к пропускной способности для трафика с коммутацией каналов и коммутацией пакетов объединяются, т. е.:

$$C_{d,t,rat,p} = C_{d,t,rat,p,cs} + C_{d,t,rat,p,ps} \quad (36)$$

где $C_{d,t,rat,p,cs}$ (бит/(с · сота)) представляет требование к пропускной способности для трафика с коммутацией каналов при плотности электросвязи d , интервале времени t , группе RAT rat и в радиосреде p , а $C_{d,t,rat,p,ps}$ (бит/(с · сота)) представляет соответствующее требование к пропускной способности для трафика с коммутацией пакетов.

Если требуется определить пропускную способность для случая многоадресной передачи для приема на мобильные средства, она определяется аналогично как сумма требований к пропускной способности при многоадресной передаче с коммутацией каналов и с коммутацией пакетов.

Шаг 3: Необходимый спектр для группы RAT rat при плотности электросвязи d , интервале времени t и в радиосреде p рассчитывается путем применения коэффициентов эффективности использования спектра по зонам, приведенных в таблице 11. Необходимый спектр определяется по следующей формуле:

$$F_{d,t,rat,p} = \frac{C_{d,t,rat,p}}{\eta_{d,rat,p}}, \quad (37)$$

где $\eta_{d,rat,p}$ (бит/(с · Гц · сота)) – эффективность использования спектра в зоне при плотности электросвязи d , группе RAT rat и в радиосреде p по таблице 11.

В случае требований к пропускной способности для многоадресной передачи для приема на мобильные средства соответствующий необходимый спектр $F_{d,rat,p,mm}$ рассчитывается отдельно с использованием соответствующего значения эффективности использования спектра $\eta_{d,rat,p}$ из таблицы 11. Этот необходимый спектр далее суммируется со спектром, необходимым для индивидуальной связи пользователя:

$$F_{d,t,rat,p} = F_{d,t,rat,p} + F_{d,t,rat,p,mm} \quad (38)$$

7 Выполнение необходимых корректировок

На шаге 7 представленной на рисунке 2 схемы потребности в спектре суммируются по всем радиосредам. Осуществляются корректировки для учета минимального требуемого спектра для развертывания сети, необходимых защитных полос частот и воздействия числа операторов.

Процедура необходимых корректировок выполняется по следующим шагам:

Шаг 1: Предполагается, что спектр не используется операторами по принципу разделения по времени, т. е. FSU, в пределах одной группы RAT, поскольку в пределах одного RAT не ожидается значительных колебаний нагрузки трафика между операторами, если операторы не намерены охватить существенно разные сегменты рынка. Следовательно, предполагается фиксированное распределение спектра между операторами в пределах одного RAT. Кроме того, предполагается, что каждому оператору доступна та же часть общего спектра. Таким образом, неурегулированный спектр на оператора составляет:

$$F_{d,t,rat,p} = F_{d,t,rat,p} / N_o, \quad (39)$$

где N_o – число операторов по таблицам 10a и 10b.

Шаг 2: В целом, спектр может использоваться только с той степенью разбиения, которая соответствует минимальной ширине полосы MinSpec, требуемой для обеспечения возможности распределения одной несущей для каждой соты в территориально распределенной сети с учетом фактора повторного использования частоты. Соответственно, требуемый спектр, который должен быть скорректирован, составляет:

$$F_{d,t,rat,p} = \text{MinSpec}_{rat,p} \cdot \lceil F_{d,t,rat,p} / \text{MinSpec}_{rat,p} \rceil, \quad (40)$$

где $\lceil \rceil$ означает округление до следующего большего целого значения, а $\text{MinSpec}_{rat,p}$ выбирается по таблицам 10a и 10b. Следует заметить, что для будущих групп RAT также будет существовать минимум ширины полосы несущей, определяемый по требованию к поддержке целевой пиковой скорости передачи данных пользователя.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Следует проявлять осторожность при выборе входных параметров, которые должны использоваться в рамках данной методики, учитывая, что расчетная оценка спектра может быть особенно чувствительной к определенным параметрам. В частности, следует тщательно учитывать воздействие минимального задействованного спектра на оператора в RATG2, поскольку большое значение этого параметра может привести к получению общей оценки спектра, превышающей объем спектра, который потребуется исходя из обуславливаемого рынком объема трафика, в случае выбора меньших значений ширины полосы канала. Выбор размера соты также должен соответствовать скорости передачи данных, ширине полосы канала и другим параметрам, влияющим на бюджет линии связи. Кроме того, минимальный задействованный спектр на оператора должен соответствовать средним значениям битовой скорости услуги которые используются в расчетах.

Шаг 3: Предполагается, что радиосреда пикосот и радиосреда сот "горячих точек" не сосуществуют в пространстве. Следовательно, должны использоваться максимальные значения обоих видов радиосреды. Предполагается, что макро- и микросоты сосуществуют в пространстве с пикосотами и сотами "горячих точек", соответственно. Следовательно, потребности в спектре радиосреды макро- и микросот необходимо суммировать с максимальными значениями радиосреды пикосот и "горячих точек":

$$F_{d,t,rat} = F_{d,rat,macro} + F_{d,t,rat,micro} + \max(F_{d,t,rat,pico}, F_{d,t,rat,hotspot}). \quad (41)$$

Затем, общий требуемый спектр для всех операторов определяется как:

$$F_{d,t,ra} = F_{d,t,rat} \cdot N_o. \quad (42)$$

Шаг 4: На следующем шаге рассматриваются защитные полосы частот. Предполагается, что в значениях эффективности использования спектра уже учтена защитная полоса частот, необходимая между несущими того же оператора. Это означает, что значения эффективности использования спектра определяются на основании предположения о том, что либо соседняя несущая не оказывает влияния, либо это влияние уже учтено в значении эффективности использования спектра. Защитная полоса частот между операторами вносит дополнительные потребности в спектре:

$$F_{d,t,ra} = F_{d,t,rat} + (N_o - 1) \cdot G_{rat}, \quad (43)$$

где значения защитной полосы частот между операторами G_{rat} являются входными данными, задаваемыми таблицами 10a и 10b.

8 Расчет суммарных потребностей в спектре

На заключительном этапе расчетов выполняется суммирование потребностей в спектре, определенных для разных интервалов времени и значений плотности электросвязи.

Шаг 1: Учитывается временная зависимость потребностей в спектре. Производится расчет по двум представленным ниже вариантам, а) и б), потребностей в спектре с учетом и без учета возможности FSU. Расчет без учета возможности FSU – а) – между любыми группами RAT позволяет рассчитать конкретные потребности в спектре группы RAT, а расчет с учетом возможности FSU – б) – позволяет определить необходимый спектр для всех групп RAT, которые могут применять FSU.

- а) Следует напомнить, что на данном этапе потребности в спектре по-прежнему зависят от времени. Без применения FSU необходимый для группы RAT rat спектр при плотности электросвязи d является максимальным значением на протяжении интервала времени:

$$F_{d, rat} = \max_t (F_{d, t, rat}) . \quad (44)$$

Наибольшее значение выбирается по всем интервалам времени t .

- б) С учетом возможности FSU между группами RAT рассчитывается суммарный спрос на спектр для поддерживающих FSU групп RAT путем суммирования спроса на спектр каждого RAT отдельно для каждого значения плотности электросвязи. В силу того, что для учета любых недостатков схемы FSU в расчеты включается также фактор несовершенства FSU из таблиц 10a и 10b, потребности в спектре возрастут:

$$F_{d, t, FSU} = FSU_{marg} \cdot \sum_{rat \in \{FSU \text{ RATs}\}} F_{d, t, rat} . \quad (45)$$

Затем используется оператор максимума для выбора наибольшего необходимого спектра по всем временным интервалам. Необходимый спектр для групп RAT с FSU составит:

$$F_{d, FSU} = \max_t (F_{d, t, FSU}) . \quad (46)$$

Потребности в спектре для RAT без FSU определяются по формуле:

$$F_{d, rat, nonFSU} = \max_t (F_{d, t, rat}) ; \quad rat \notin \{FSU \text{ RATs}\} . \quad (47)$$

Шаг 2: Области плотности электросвязи в пространстве не пересекаются, вследствие чего область плотности электросвязи, характеризующаяся наивысшим спросом на спектр, определяет потребности в спектре для группы RAT.

- а) Без применения FSU необходимый спектр для группы RAT rat составляет:

$$F_{rat}^{\max} = (F_{d, rat}) . \quad (48)$$

- б) С применением FSU необходимый спектр составляет:

$$F_{rat, nonFSU} = \max_d (F_{d, rat, nonFSU}) , \quad \text{and} \quad F_{FSU} = \max_d (F_{d, FSU}) . \quad (49)$$

Шаг 3: Следует напомнить, что расчет в рамках области распределения спектра может выполняться по результатам разных исследований рынка в разных географических регионах. В случае если необходима общая оценка для группы стран, следует использовать максимальное значение отдельных потребностей в спектре, определенных на основании исследования рынка.

- а) Без применения FSU необходимый спектр для группы RAT rat является максимальным значением среди всех значений, полученных на основании исследований региона/рынка:

$$F_{rat} = \max(F_{rat}) . \quad (50)$$

- б) С применением FSU необходимый спектр для группы RAT rat является максимальным значением среди всех значений, полученных на основании исследований региона/рынка:

$$F_{rat, nonFSU} = \max(F_{rat, nonFSU}) \text{ и } F_{FSU} = \max(F_{FSU}) . \quad (51)$$

Шаг 4: Факультативно в качестве заключительного шага общий необходимый спектр определяется в рамках шага 8 представленной на рисунке 2 схемы.

- а) Без учета возможности FSU значения спроса на спектр всех групп RAT суммируются:

$$F = \sum_{rat} F_{rat} . \quad (52)$$

- б) С учетом возможности FSU суммируются значения необходимого спектра для групп RAT, поддерживающих FSU, и для групп RAT, не поддерживающих FSU:

$$F = F_{FSU} + \sum_{rat \notin \{FSU \text{ RATs} \}} F_{rat, nonFSU} . \quad (53)$$

9 Резюме

В настоящей Рекомендации представлена методика расчета потребностей в спектре для будущего развития IMT-2000 и последующих систем. Данная методика может использоваться для комплекса услуг, определенного по результатам исследования рынка, содержащим категории услуг, характеризующиеся разными объемами трафика и ограничениями по QoS. В рамках методики учитываются изменения трафика по времени и по регионам. Применяется нейтральный в технологическом отношении подход для охвата появляющихся и установленных систем с использованием принципа RATG с ограниченным набором радиопараметров. Четыре рассмотренные группы RAT охватывают все соответствующие технологии радиодоступа. При применении методики трафик распределяется по разным группам RAT и радиосредам на основании технической информации и информации о рынке. Для RATG3 и RATG4 потребности в спектре не рассчитываются. Для трафика, распределенного по RATG1 и RATG2, объемы трафика, определенные по исследованиям рынка, преобразуются в требования к пропускной способности с помощью отдельных алгоритмов для категорий услуг с коммутацией каналов и коммутацией пакетов и учитывается усиление в случае мультиплексирования пакетных услуг, имеющих разные характеристики QoS. На основании значений эффективности использования спектра, требования к пропускной способности преобразуются в потребности в спектре. В рамках данной методики для корректировки потребностей в спектре учитывается практическое развертывание сетей, и рассчитываются суммарные потребности в спектре для дальнейшего развертывания IMT-2000 и последующих систем.

Справочные документы

- KLEINROCK, L. [1975] *Queueing Systems. Volume 1: Theory*. John Wiley & Sons, New York, United States of America.
- KAUFMAN, J.S. [October 1981] Blocking in a shared resource environment. *IEEE Trans. Commun.*, Vol. COM-29, **10**, p. 1474-1481.
- ROBERTS, J.W. [1981] A service system with heterogeneous user requirements. *Perf. of Data Commun. Sys. and their Applications*, G. Pujolle (Ed.), p. 423-431, North-Holland.
- TAKAGI, H., YOSHINO, H., MATOBA, N. and AZUMA, M. [2005] Methodology for calculation of spectrum requirements for the next generation mobile communication systems. Submitted to the *IEICE Trans.* (in Japanese).
- KLEINROCK, L. [1976] *Queueing Systems. Volume 2: Computer Applications*. John Wiley and Sons, New York, United States of America.
- COBHAM, A. [1954] Priority assignments in waiting line problems. *Operations Research*, Vol. 2, **1** (February) p. 70-76.
- IRNICH, T. and WALKE, B. [5-8 September 2004] *Spectrum estimation methodology for next generation wireless systems*. PIMRC Barcelona, Spain.

Дополнение 1 к Приложению 1

Список сокращений и условных обозначений

Сокращение	Описание	
2G	Second generation	Второе поколение
AoD	Audio on demand	Аудио по запросы
BER	Bit error ratio	Коэффициент ошибок по битам
CBW	Carrier bandwidth	Ширина полосы несущей
CS	Circuit switching	Коммутация каналов
FCFS	First come first served	Первым прибыл – первым обслужен (ПППО)
FSU	Flexible spectrum usage	Гибкое использование спектра
FTTH	Fibre-to-the-home	Оптическое волокно до дома
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000	Международная подвижная связь-2000
IP	Internet protocol	Протокол Интернет
LAN	Local area network	Локальная сеть (ЛВС)
M/G/1	Poisson input general service single server queue	Одноканальная система массового обслуживания с пуассоновским входящим потоком и произвольным распределением времени обслуживания
PAN	Personal area network	Персональная сеть
PS	Packet switching	Коммутация пакетов
QoS	Quality of service	Качество обслуживания
RAN	Radio access network	Сеть радиодоступа
RAT	Radio access technique	Метод радиодоступа
RATG	Radio access technique group	Группа методов радиодоступа
RE	Radio environment	Радиосреда
SC	Service category	Категория услуг
SE	Service environment	Среда предоставления услуг
VoD	Video on demand	Видео по запросу
VoIP	Voice over Internet Protocol	Передача голоса по протоколу Интернет
xDSL	x-digital subscriber line	x-цифровая абонентская линия

Условное обозначение	Описание	Единица
a_n	Коэффициент	—
$A_{d,p}$	Зона соты радиосреды p при плотности электросвязи d	км ²
b_n	Коэффициент	—

B_n	Вероятность блокирования для категории услуг с коммутацией каналов n	—
c_n	Коэффициент	—
$C_{d,t, rat, p}$	Требуемая пропускная способность при плотности электросвязи d и интервале времени t для группы RAT rat в радиосреде p	бит/с/сота
$C_{d,t, rat, p, cs}$	Требуемая пропускная способность для случая коммутации каналов при плотности электросвязи d и интервале времени t для группы RAT rat в радиосреде p	бит/с/сота
$C_{d,t, rat, p, cs, DL}$	Требуемая пропускная способность в линии вниз для случая коммутации каналов при плотности электросвязи d и интервале времени t для группы RAT rat в радиосреде p	бит/с/сота
$C_{d,t, rat, p, cs, UL}$	Требуемая пропускная способность в линии вверх для случая коммутации каналов при плотности электросвязи d и интервале времени t для группы RAT rat в радиосреде p	бит/с/сота
$C_{d,t, rat, p, ps}$	Требуемая пропускная способность для случая коммутации пакетов при плотности электросвязи d и интервале времени t для группы RAT rat в радиосреде p	бит/с/сота
$C_{d,t, rat, p, ps, DL}$	Требуемая пропускная способность в линии вниз для случая коммутации пакетов при плотности электросвязи d и интервале времени t для группы RAT rat в радиосреде p	бит/с/сота
$C_{d,t, rat, p, ps, UL}$	Требуемая пропускная способность в линии вверх для случая коммутации пакетов при плотности электросвязи d и интервале времени t для группы RAT rat в радиосреде p	бит/с/сота
d	Индекс плотности электросвязи	—
d_n	Коэффициент	—
D_n	Требуемое среднее значение задержки категории услуг n	с/пакет
$F_{d, rat}$	Суммарный необходимый спектр для группы RAT rat при плотности электросвязи d	Гц
$F_{d, FSU}$	Суммарный необходимый спектр для групп RAT, поддерживающих FSU, при плотности электросвязи d	Гц
$F_{d, rat, nonFSU}$	Суммарный требуемый спектр для группы RAT rat без FSU при плотности электросвязи d	Гц
$F_{d,t, FSU}$	Суммарный требуемый спектр для групп RAT без FSU при плотности электросвязи d и интервале времени t	Гц
$F_{d,t, rat}$	Суммарный требуемый спектр для группы RAT rat при плотности электросвязи d и интервале времени t	Гц
$F_{d,t, rat, p}$	Требуемый спектр для группы RAT rat при плотности электросвязи d , интервале времени t и в радиосреде p	Гц
$F_{d,t, rat, p, mm}$	Требуемый спектр для многоадресной передачи для приема на мобильные средства в группе RAT rat при плотности электросвязи d , интервале времени t и в радиосреде p	Гц
F	Общий требуемый спектр для всех групп RAT	Гц
F_{FSU}	Требуемый спектр для групп RAT с FSU	Гц

F_{rat}	Требуемый спектр для группы RAT <i>rat</i> без FSU	Гц
$F_{rat,nonFSU}$	Требуемый спектр для группы RAT <i>rat</i> без FSU	Гц
FSU_{marg}	Запас на несовершенство FSU (множитель)	—
G	Промежуточная функция для расчета вероятности блокирования	—
G_{rat}	Защитная полоса частот между операторами для группы RAT <i>rat</i>	Гц
i_m	Количество вызовов класса <i>m</i> , в текущий момент использующих каналы, для расчетов пропускной способности для случая коммутации каналов	—
i	Вектор состояния системы для расчетов пропускной способности для случая коммутации каналов	—
J_m	Параметр для отображения классов мобильности	—
k	Индекс канала в расчетах пропускной способности для случая коммутации каналов	—
m	Индекс среды предоставления услуг	—
$MR_{sm_{m,t,n}}$	Используемый в данной методике коэффициент мобильности "стационарный режим/пешеход" для категории услуг <i>n</i> в среде предоставления услуг <i>m</i> в интервале времени <i>t</i>	%
$MR_{lm_{m,t,n}}$	Используемый в данной методике коэффициент мобильности "стационарный режим" для категории услуг <i>n</i> в среде предоставления услуг <i>m</i> в интервале времени <i>t</i>	%
$MR_{hm_{m,t,n}}$	Используемый в данной методике коэффициент мобильности "высокая скорость" для категории услуг <i>n</i> в среде предоставления услуг <i>m</i> в интервале времени <i>t</i>	%
$MR_{market_{m,s}}$	Коэффициент мобильности по результатам изучения рынка для услуги <i>s</i> в среде предоставления услуг <i>m</i>	%
$MR_{market_{m,t,n}}$	Коэффициент мобильности по результатам изучения рынка для категории услуг <i>n</i> в среде предоставления услуг <i>m</i> в интервале времени <i>t</i>	%
$MR_{market_{sm_{m,t,n}}}$	Коэффициент мобильности "стационарный режим" по результатам изучения рынка для категории услуг <i>n</i> в среде предоставления услуг <i>m</i> в интервале времени <i>t</i>	%
$MR_{market_{lm_{m,t,n}}}$	Коэффициент мобильности "низкая скорость" по результатам изучения рынка для категории услуг <i>n</i> в среде предоставления услуг <i>m</i> в интервале времени <i>t</i>	%
$MR_{market_{hm_{m,t,n}}}$	Коэффициент мобильности "высокая скорость" по результатам изучения рынка для категории услуг <i>n</i> в среде предоставления услуг <i>m</i> в интервале времени <i>t</i>	%
$MR_{market_{shm_{m,t,n}}}$	Коэффициент мобильности "сверхвысокая скорость" по результатам изучения рынка для категории услуг <i>n</i> в среде предоставления услуг <i>m</i> в интервале времени <i>t</i>	%
$MinSpec_{rat,p}$	Минимальное значение на оператора для группы RAT <i>rat</i> в радиосреде <i>p</i>	Гц
n	Индекс категории услуг	—
N	Общее количество категорий услуг	—
N_{cs}	Количество категорий услуг с коммутацией каналов	—
N_o	Число операторов	—
$N_{ps'}$	Количество категорий услуг с коммутацией пакетов	—
p	Индекс радиосреды	—

P	Промежуточная функция для расчета вероятности блокирования	
$P_{m,t,n, rat, p}$	Скорость поступления сеансов связи на зону для категории услуг n , в среде предоставления услуг m и в интервале времени t для группы RAT rat в радиосреде p	Поступление сеансов связи/с/км ²
$P'_{m,t,n, rat, p}$	Скорость поступления сеансов связи на соту для категории услуг n , в среде предоставления услуг m и в интервале времени t для группы RAT rat в радиосреде p	Поступление сеансов связи/с/сота
$Q_{m,t,s}$	Скорость поступления сеансов связи на пользователя для услуги s в среде предоставления услуг m и в интервале времени t	Поступление сеансов связи/с/пользователь
$Q_{m,t,n}$	Скорость поступления сеансов связи на пользователя для категории услуг n в среде предоставления услуг m и в интервале времени t	Поступление сеансов связи/с/пользователь
r	Единица скорости передачи данных при расчетах пропускной способности для трафика с коммутацией каналов	бит/с
$r_{d,t,n, rat, p}$	Средняя битовая скорость услуги для категории услуг n при плотности электросвязи d и в интервале времени t для группы RAT rat в радиосреде p	бит/с
$r_{m,t,n}$	Средняя битовая скорость услуги для категории услуг n в среде предоставления услуг m и в интервале времени t	бит/с
$r_{m,t,s}$	Средняя битовая скорость услуги для услуги n в среде предоставления услуг m	бит/с
rat	Индекс группы методов радиодоступа	—
s	Индекс услуги	—
s_n	Математическое ожидание распределения размеров пакетов для категории услуг n	бит/пакет
$s_n^{(2)}$	Момент второго порядка распределения размеров пакетов для категории услуг n	(бит/пакет) ²
t	Индекс интервала времени	—
$T_{d,t,n, rat, p}$	Суммарный объем трафика для категории услуг n при плотности электросвязи d в интервале времени t для группы RAT rat и в радиосреде p	бит/с/сота
$U_{m,t,s}$	Плотность размещения пользователей для услуги s в среде предоставления услуг m и в интервале времени t	пользователь/км ²
$U_{m,t,n}$	Плотность размещения пользователей для категории услуг n в среде предоставления услуг m и в интервале времени t	пользователь/км ²
$w_{m,t,s}$	Весовая функция для средней продолжительности сеанса связи для услуги s в среде предоставления услуг m и в интервале времени t	—
—		
$w_{m,t,s}$	Весовая функция для средней битовой скорости услуги или коэффициента мобильности для услуги s в среде предоставления услуг m и в интервале времени t	—
X_{hs}	Процент охвата населения для соты "горячая точка"	%
X_{macro}	Процент охвата населения для макросоты	%
X_{micro}	Процент охвата населения для микросоты	%
X_{pico}	Процент охвата населения для пикосоты	%
$\eta_{d, rat, p}$	Эффективность использования спектра группы RAT rat при плотности электросвязи d и в радиосреде p	бит/с/Гц/сота

κ	Требуемое количество каналов на соту	
$\lambda_{d,t,n,rat,p}$	Скорость поступления пакетов категории услуг n при плотности электросвязи d и в интервале времени t для группы RAT rat в радиосреде p	пакет/с
λ_n	Скорость поступления пакетов категории услуг n	пакет/с
$\lambda_{\leq N_{ps}}$	Суммарная скорость поступления пакетов всех категорий услуг	пакет/с
$\mu_{m,t,s}$	Средняя продолжительность сеанса связи услуги s в среде предоставления услуг m и в интервале времени t	с/сеанс связи
$\mu_{m,t,n}$	Средняя продолжительность сеанса связи категории услуг n в среде предоставления услуг m и в интервале времени t	с/сеанс связи
v_n	Количество каналов, требуемое для категории услуг n с коммутацией каналов	—
v	Вектор с количеством каналов, требуемых для категорий услуг с коммутацией каналов	—
ξ_{hs}	Промежуточный коэффициент распределения для соты "горячая точка"	—
ξ_{macro}	Промежуточный коэффициент распределения для макросоты	—
ξ_{micro}	Промежуточный коэффициент распределения для микросоты	—
ξ_{pico}	Промежуточный коэффициент распределения для пикосоты	—
$\xi_{pico\&hs}$	Промежуточный коэффициент распределения для пикосоты и соты "горячая точка"	—
$\xi_{m,t,n,rat,p}$	Коэффициент распределения для категории услуг n в среде предоставления услуг m и в интервале времени t для группы RAT rat в радиосреде p	—
π_n	Максимальная допустимая вероятность блокирования для категории услуг n с коммутацией каналов	—
$\rho_{d,t,n,rat,p}$	Предлагаемый трафик на соту для категории услуг n при плотности электросвязи d и в интервале времени t для группы RAT rat и в радиосреде p	Эрланг/сота