

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ**

**Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»**

---

**В.Е. Коротин, Ч.Д. Ле, Е.А. Лесников, О. А. Симонина,**

# **Обеспечение качественных показателей беспроводной связи**

**Учебно-методическое пособие  
по выполнению лабораторных работ**

**СПб ГУТ)))**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2018**

УДК 94(075.8)

ББК 63.3я73

Г44

Рецензент

*Рекомендовано к печати  
редакционно-издательским советом СПбГУТ*

**Коротин, В.Е., Ле, Ч.Д., Лесников Е.А., Симонина, О. А.**

**Г44** Обеспечение качественных показателей беспроводной связи: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических заданий / В.Е. Коротин и др.; СПбГУТ. – СПб., 2018. – 36 с.

Даны методические рекомендации к лабораторным работам. Написано в соответствии с программой дисциплины «Обеспечение качественных показателей беспроводной связи».

Предназначено для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки очной формы обучения 27.01.03 Стандартизация и метрология (бакалавр); 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи (профили бакалавриата: Радиосвязь и телерадиовещание, Цифровое телерадиовещание, Системы мобильной связи); специалистов, обучающихся по направлению подготовки 11.05.04 Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи.

**УДК 94(075.8)  
ББК 63.3я73**

© Коротин В.Е. и др., 2018

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2018

## **1. Субъективная оценка качества речи для двух сервисов: мобильной связи и пакетной передачи данных с использованием сегмента Wi-Fi**

**Цель работы:** получить навыки проведения субъективного оценивания телефонии методом MOS для сервиса передачи речи по сети мобильной связи (GSM или UMTS) и сервиса IP-телефонии, реализованном в интернет мессенджере.

### **Задание:**

1. Создать рабочую группу экспертов из 10-12 человек и группу дикторов из 5 человек.
2. Подготовить опросные листы для оценки качества речи и раздать экспертам. Провести инструктаж экспертов.
3. Подготовить тестовые фразы для оценки качества речи. Провести инструктаж дикторов.
4. Провести экспертную оценку для двух сервисов телефонии.
5. Провести обработку результатов эксперимента.

### **По итогам исследования необходимо:**

Подготовить отчет, в котором отразить результаты проведенных исследований, сделать выводы о качестве речи для различных сервисов (минимум двух).

### **Методические указания к выполнению работы.**

В лабораторной работе предлагается провести неполный комплекс испытаний без учета артикуляционных методов и метода сравнений. В качестве оборудования предполагается применять ноутбуки для записи эталонной речи и существующую сетевую инфраструктуру для оценки ухудшения качества речи.

Опросные листы и тестовые фразы для оценки речи согласно MOS приведены в национальных стандартах. Для русской речи это ГОСТ Р 51061-97 – «Системы низкоскоростной передачи речи по цифровым каналам. Параметры качества речи и методы измерений». Формат опросного листа приведен в таблице 1.

При проведении эксперимента необходимо выбрать сервис телефонии. После этого необходимо сформировать группу дикторов (5 человек, в группу должны входить как мужчины, так и женщины) и группу экспертов (10-12 человек, знакомых с голосами дикторов).

В качестве эталонного тракта может служить запись тестовых фраз, сделанная без участия канала связи. При проведении инструктажа дикторов необходимо выдать им тестовые фразы для предварительного ознакомления. Для этого сначала производится запись каждым диктором отдельно, в тихом помещении, так как окружающий фоновый шум может сильно исказить качество записи.

Таблица 1 – Форма бланка для оценки интегрального качества речи

№ абонента 2	ФИО абонента 1	Дата и продолжительность разговора	Оценка разговора в баллах					
			Общая		По узнаваемости		По разборчивости	
			запись	сервис	запись	сервис	запись	сервис

Эксперты одновременно прослушивают тестовые фразы, произносимые каждым диктором, и оценивают по 5-бальной шкале. Предварительно производится инструктаж экспертов, для чего они знакомятся с требованиями к выставяемым оценкам согласно таблице 2.

При оценке качества сервиса телефонии проводится прослушивание эталонной записи диктора 1, потом прослушивание тестовых фраз с использованием сервиса этим же диктором. После этого процедура повторяется для следующих дикторов. Таким образом, на сервис заполняется по 5 бланков (пример табл. 3).

Обработка результатов экспериментов проводится по формуле:

$$X = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i,$$

где  $x_i$  – оценка разговора экспертом,  $N$  – число оценок разговора.

В результате обработки результатов эксперимента определяется интегральная оценка сервиса телефонии по трем критериям.

Рассмотрим пример заполнения бланка одним из экспертов и обработку полученных данных – пример приведен в таблице 3. Результат интегральной оценки приводится в таблице 4.

Таблица 2 – Требования к оцениванию качества речи методом MOS

балл	оценка	Общая	По узнаваемости	По разборчивости
5	Отлично	В речи, прошедшей через оцениваемый тракт, незаметны какие-либо дополнительные искажения или помехи по сравнению с речью, прошедшей через эталонный тракт	Голос говорящего узнается без затруднения сразу после начала разговора	Понимание содержания речи корреспондента; полное, без переспросов (за исключением случаев всплеска шумов в телефонной сети) для любого голоса, в т. ч. для голосов с некоторыми дефектами произношения
4	Хорошо	Отличие речи на выходе оцениваемого тракта от речи на выходе	Голос говорящего узнается без затруднений через некоторое время	Понимание речи полное, по возможности переспросы

		эталонного тракта не воспринимается как ухудшение, а наличие незначительных искажений и помех не создает затруднений при разговоре	после начала разговора и при повторных разговорах с данным лицом по оцениваемому тракту. После привыкания к звучанию голоса этого лица по оцениваемому тракту узнавание голоса говорящего не вызывает затруднений	необычных слов, фамилии и терминов
3	Удовлетворительно	В речи на выходе оцениваемого тракта, по сравнению с эталонным, имеются заметные искажения или помехи, несколько затрудняющие ведение разговора и требующие некоторого напряжения внимания	Голос говорящего узнается с трудом, больше по манере говорить, чем по звучанию. Голоса разных лиц различаются с трудом	При разговоре необходимы переспросы отдельных слов и фраз, но в целом ошибочного восприятия принимаемой речевой информации не происходит
2	Неудовлетворительно	Искажения и помехи сильные. Ощущается чувство утомления и раздражения. Разговор возможен лишь при сильном напряжении внимания и при условии привыкания к звучанию передаваемой оцениваемым трактом речи	Узнаются только голоса лиц с особо характерной манерой говорить. Тембр звучания речи усредненный, не несущий индивидуальных особенностей	Отдельные слова в фразах не понимаются даже после их повторения при переспросе, и их значение приходится объяснять целыми фразами. Разговор приходится вести в замедленном темпе
1	Плохо	Разговор практически невозможен из-за сильных искажений или помех	Узнаваемость отсутствует	Смысл передаваемой информации понимается с трудом, выпадают целые фразы

Таблица 3 – Пример заполненного бланка для оценки интегрального качества речи

ФИО диктора	ФИО эксперта	Дата и продолжительность разговора	Оценка разговора в баллах					
			Общая		По узнаваемости		По разборчивости	
			запись	сервис	запись	сервис	запись	сервис
Диктор 1	Эксперт № 11	10.11 3м 10 с	5	4	5	5	5	5
Диктор 2		10.11 1м 42 с	5	5	5	4	5	4
Диктор 3		10.11 2м 16 с	5	4	4	4	3	3
Диктор 4		10.11 3м 5 с	4	4	5	3	4	4
Диктор 5		10.11 2м 32 с	5	3	5	3	4	4

Таблица 4 – Результат интегральной оценки сервиса

Общая		По узнаваемости		По разборчивости	
запись	сервис	запись	сервис	запись	сервис
4,8	4,0	4,8	3,8	4,2	4,0

Тестовые фразы для оценки качества речи согласно Приложению А ГОСТ Р 51061-97:

1. Если хочешь быть здоров, советует Татьяна Илье, /чисть зубы пастой "Жемчуг"!
2. Вчера на Московском заводе малолитражных автомобилей состоялось собрание молодежи и комсомольцев.
3. В клумбах сочинской здравницы "Пуща", сообщает нам автоинспектор, /обожгли шихту.
4. Тропический какаду - это крупный попугай? /ты не злословишь?
5. Актеры и актрисы драматического театра /часто покупают в этой аптеке антибиотики.
6. Нам с вами сидеть и обсуждать эти слухи некогда!
7. Так ты считаешь, что техникой мы обеспечены на весь сезон?
8. Раз. Эти жирные сазаны ушли под палубу.
9. Алло, слушаю! Кто у телефона? Ах, это Вы! Я был вчера у Вас.

Примечание - Подчеркнуты слова, на которые делается фразовое ударение. Фразы 6, 7 произносятся без пауз между словами.

## **Вопросы для самопроверки**

1. Каковы требования к дикторам при проведении субъективной оценки качества речи?
2. Каковы требования к экспертам при проведении субъективной оценки качества речи?
3. Какая шкала оценки используется в MOS?
4. По каким критериям эксперты оценивают качество речи?
5. В чем причина обязательного тестирования услуг телефонии с использованием экспертных оценок?

## **2. Анализ основных показателей качества пакетных сетей с использованием сетевых утилит**

**Цель работы:** исследовать характеристики трафика в сети Wi-Fi.

### **Задание:**

1. Создать потоки трафика различных типов. Рекомендуется проводить испытания на реальной сети с использованием общедоступных приложений.
2. Выполнить анализ статистики по каждому из потоков с использованием средств WireShark: по размерам пакетов, по интенсивности входящего и исходящего трафика, по временам прихода пакетов. Построить соответствующие распределения.

### **По итогам исследования необходимо:**

Подготовить отчет, в котором отразить результаты проведенных исследований, сделать выводы о статистических характеристиках трафика различных типов, привести графики.

### **Методические указания к выполнению работы.**

Для выполнения лабораторной работы необходимо сгенерировать минимум три вида мультисервисного трафика использованием реальной сетевой инфраструктуры. Для генерации трафика данных можно использовать закачивание файлов или веб-серфинг. Трафик реального времени может быть получен путем общения с использованием любого интернет-мессенджера (Skype, SIPNet и пр.), а также online-игрой. Поточковый трафик – это трафик аудио или видео, как по запросу (просмотр видео с сайта, прослушивание аудио с сайта), так и интернет-радио или просмотр online-трансляций.

При проведении эксперимента лучше в одно время использовать только один сервис для уменьшения логов анализатора трафика. Анализатор трафика лучше запускать перед использованием сервиса. Снятые логи можно анализировать после проведения эксперимента.

Анализатор WireShark позволяет довольно глубоко исследовать статистические свойства трафика: для этого в меню используйте вкладку *Statistics*.

Для анализа размеров пакетов используйте *Statistics*→*PacketLengths*(Рисунок 1). Предварительно необходимо провести фильтрацию трафика по одному потоку: для входящего трафика выставить фильтр `ip.src==<ip_addr>`, для исходящего: `ip.dst==<ip_addr>`. На основании полученных результатов постройте гистограммы количества пакетов различной длины во входящем и исходящем потоках (Рисунок 2). Сделайте вывод о причинах такого распределения.

Topic / Item	Count	Average	Min val	Max val	Rate (ms)	Percent	Burst rate	Burst start
Packet Lengths	650	1931,32	54	1506	0,0094	100%	0,5900	82,004
0-19	0	-	-	-	0,0000	0,00%	-	-
20-39	0	-	-	-	0,0000	0,00%	-	-
40-79	239	60,73	54	66	0,0035	36,77%	0,5800	82,004
80-159	0	-	-	-	0,0000	0,00%	-	-
160-319	4	267,00	267	267	0,0001	0,62%	0,0400	97,497
320-639	0	-	-	-	0,0000	0,00%	-	-
640-1279	1	791,00	791	791	0,0000	0,15%	0,0100	85,088
1280-2559	406	1505,68	1375	1506	0,0059	62,46%	0,0900	82,221
2560-5119	0	-	-	-	0,0000	0,00%	-	-
5120-4294967295	0	-	-	-	0,0000	0,00%	-	-

Рисунок 1 – Анализ статистики по размерам пакетов для входящего трафика (пример)

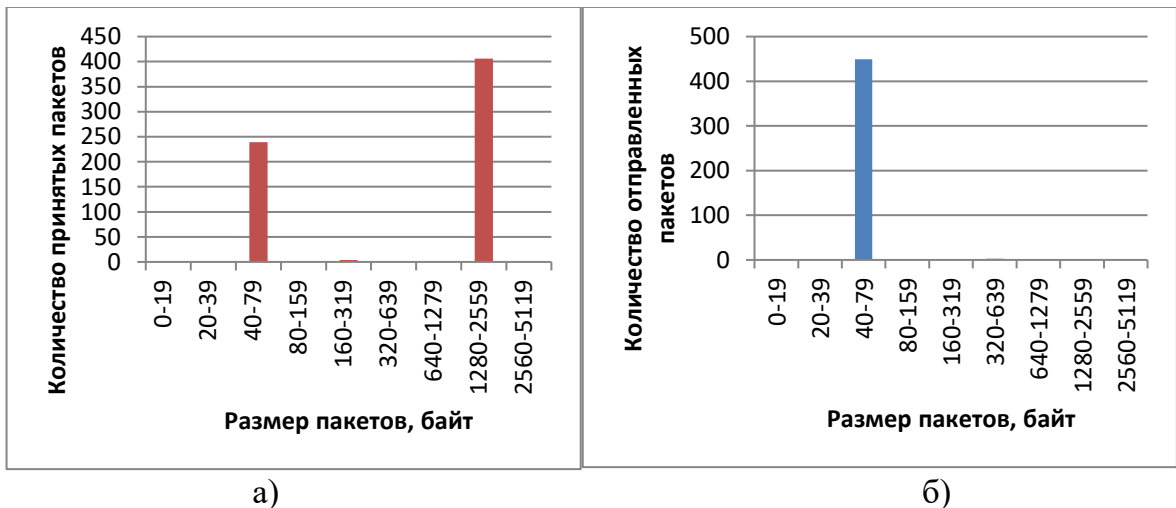


Рисунок 2 – Пример распределения размеров пакетов входящего (а) и исходящего (б) трафика видеопотока (ресурс youtube.com)



На примере исследования трафика видеопотока с ресурса youtube.com видно, что это трафик видео, поэтому большинство пакетов входящего трафика имеют большой размер, ограниченный только значением MTU. В исходящем трафике представлены только квитанции TCP- пакеты небольшого размера.

Анализ интенсивности трафика проводят с помощью инструмента *Statistics*→*IO Graph* (Рисунок 3). Данный инструмент позволяет выбирать до 5 протоколов и обладает возможностью наглядной визуализации. На рисунке 6.3 видно, что трафик имеет пачечную структуру, что характерно для трафика данных и видео по запросу.

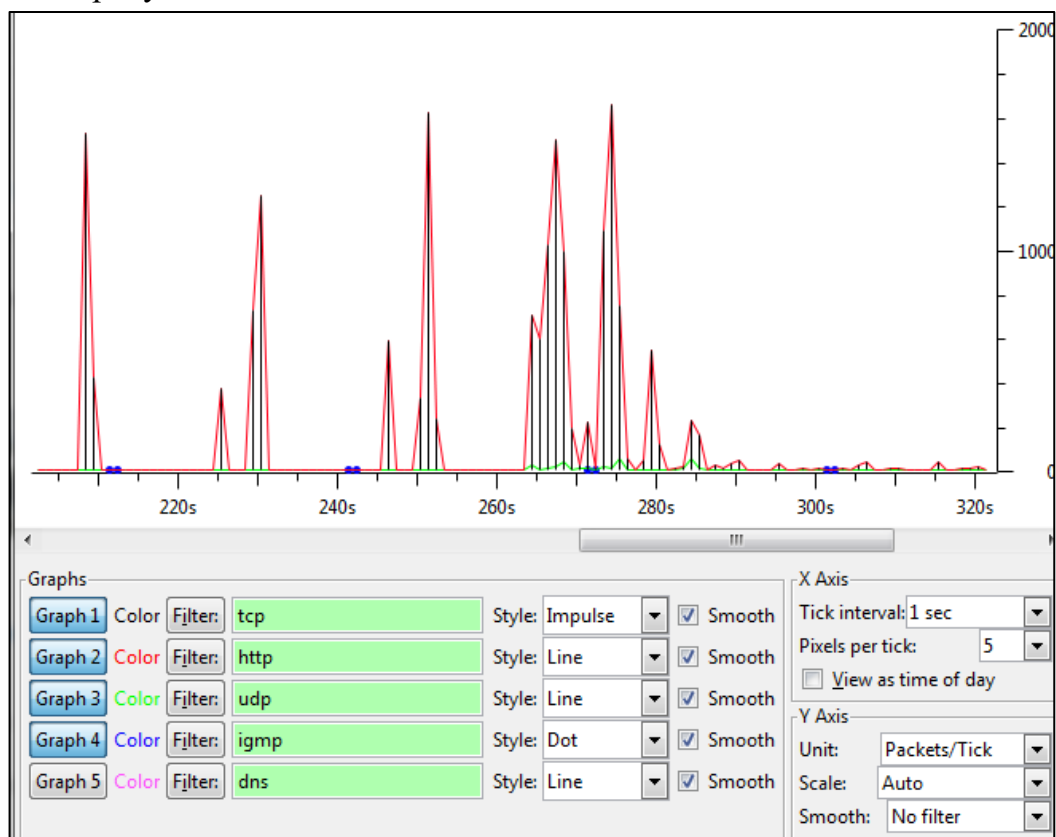


Рисунок 3 – Пример анализа трафика с помощью IO Graph

Времена приходов пакетов потока анализируются с использованием набора средств WireShark.

1. С помощью фильтров выделите один поток, допустим, входящий, по ip-адресу.

2. Используя пункт меню *View*→*Time Display Format* →*Since Previous Captured Packet* определите интервалы между поступлениями пакетов (Рисунок 4).

3. Постройте распределение интервалов поступления прихода пакетов в удобном для вас программном обеспечении (рисунок 5). В приведенном примере распределение построено с использованием функции ЧАСТОТА в MS Excel.

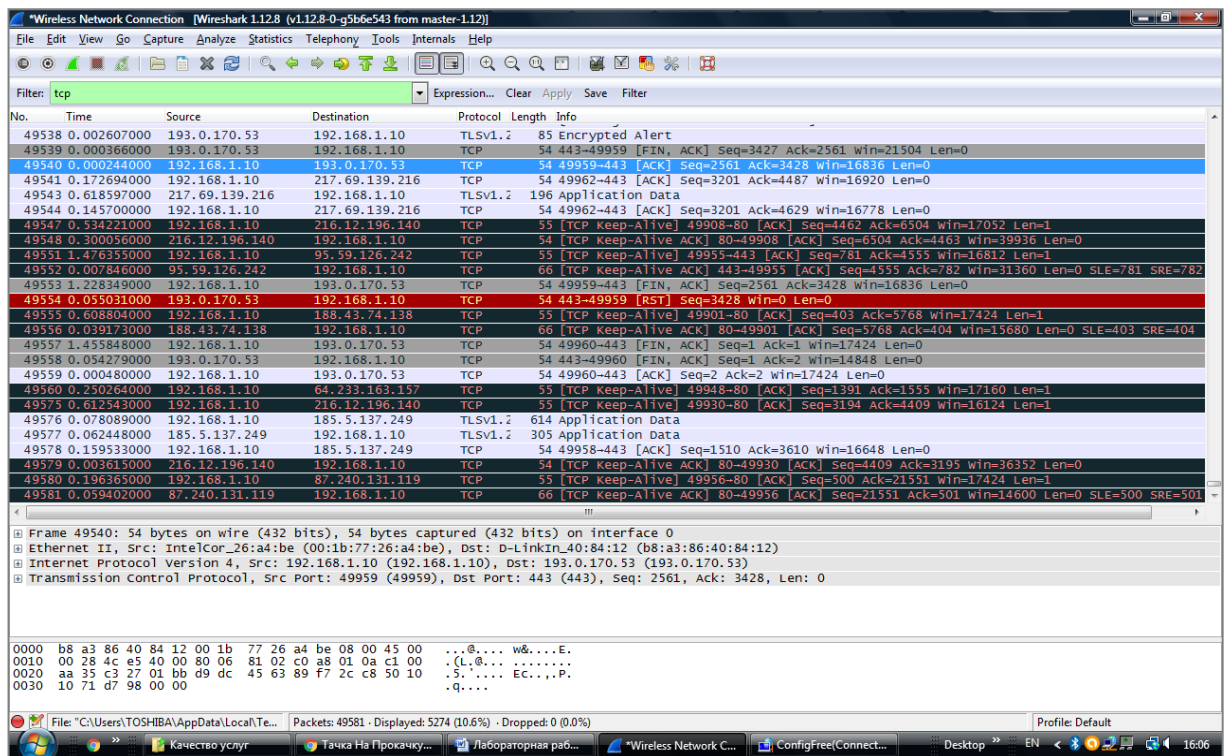


Рисунок 4 – Определение интервалов между поступлениями пакетов



Рисунок 5 – Пример распределения интервалов поступления пакетов трафика видео

Как видно из графика на рисунке 5, данное распределение является тяжелохвостым, что означает, что дисперсия времени прихода пакетов довольно велика. Следовательно, необходим большой джиттер-буфер, позволяющий уменьшить вероятность отбрасывания пакетов из-за превышения максимально допустимой задержки.

Однако не все сервисы могут иметь такие распределения. Например, сервисы реального времени чаще всего имеют распределения, близкие к нормальным, что обусловлено жесткими требованиями к джиттеру задержки.

### Вопросы для самопроверки

1. Какие виды трафика описывает концепция TriplePlay?
2. Что вкладывается в понятие «мультисервисная сеть»?
3. Что означает термин «трафик реального времени»? Какие требования с точки зрения QoS предъявляются к данному виду трафика?
4. В чем особенность формирования пакетов видеотрафика?
5. О какой характеристике трафика можно судить по распределению интервалов поступления пакетов?

### 3. Исследование потерь в антенно-фидерном тракте

**Цель работы:** Оценить потери в антенно-фидерном тракте лабораторной установки и определить расстояние, при котором качество приема ниже нормы.

#### Задание:

1. Подготовьте установку: подключите антенны, разведите их на расстояние 0,5м, установите частоту генератора 1000 МГц. Внешнее ослабление не устанавливайте (все значения должны быть равны 0.0 dB).
2. Определите потери, вносимые антенно-фидерной трассой.
3. Изменяя дистанцию между принимаемой и передающей антенной, найдите расстояние, при котором прием станет невозможным.
4. Подготовьте отчет, в котором представьте теоретические и расчетные потери в антенно-фидерном тракте, вычислите погрешность; расстояние, на котором происходит обрыв связи.

#### Методические указания к выполнению лабораторной работы

Лабораторная работа выполняется с использованием универсального радиокommunikационного мультипротокольного тестера R&SCMU 200. Для успешного выполнения лабораторной работы необходимо ознакомиться с Приложением 2, в котором приведена краткая инструкция по работе с прибором.

**Предварительные расчёты.** Обратите внимание, что потери распространения в УВЧ (ультравысокочастотном) диапазоне выше, чем в ВЧ. В свободном пространстве потери между реальными антеннами определяются как:

$$L_{CB} = 10 \lg \left( \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} \frac{1}{G_t G_r} \right),$$

где  $d$ - длина пути, м;  $\lambda$  – длина волны, м;  $G_t$  и  $G_r$  - коэффициенты усиления мощности передающей и принимающей антенны, дБи.

Для вычисления мощности на входе приемника  $P_t$  можно воспользоваться формулой:

$$P_t = P_r - L_{св} - L_{фид} - L_{доп},$$

где  $P_r$  – мощность передатчика, дБ;  $L_{фид}$  – потери в фидере (данные зависят от используемого в эксперименте фидера), дБ;  $L_{доп}$  – дополнительные потери (по умолчанию 1дБ).

**Подготовка установки.** Подключите антенны с помощью фидеров (в примере использован РК50-9-23) к выходам RF1 и RF2. Убедитесь, что коннекторы плотно прилегают к прибору и антенне, во избежание появления дополнительных потерь. Разведите антенны на 0,5 м друг от друга.

**Настройка прибора.** Нажмите клавишу *Menu Select* и выберите меню *Analyzer/Generator* из группы функций *RF* в правой половине таблицы. Для настройки параметров генератора нажмите функциональную клавишу *Connect.control*, затем используйте клавишу *Generator*. Нажмите клавишу *ON/OFF* чтобы включить ВЧ-генератор. Установите параметры сигнала (Рисунок 4). Выберите RF1 в качестве выходного разъема, RF2 в качестве входного. Внешнее ослабление не устанавливайте (все значения должны быть равны 0.0 dB).

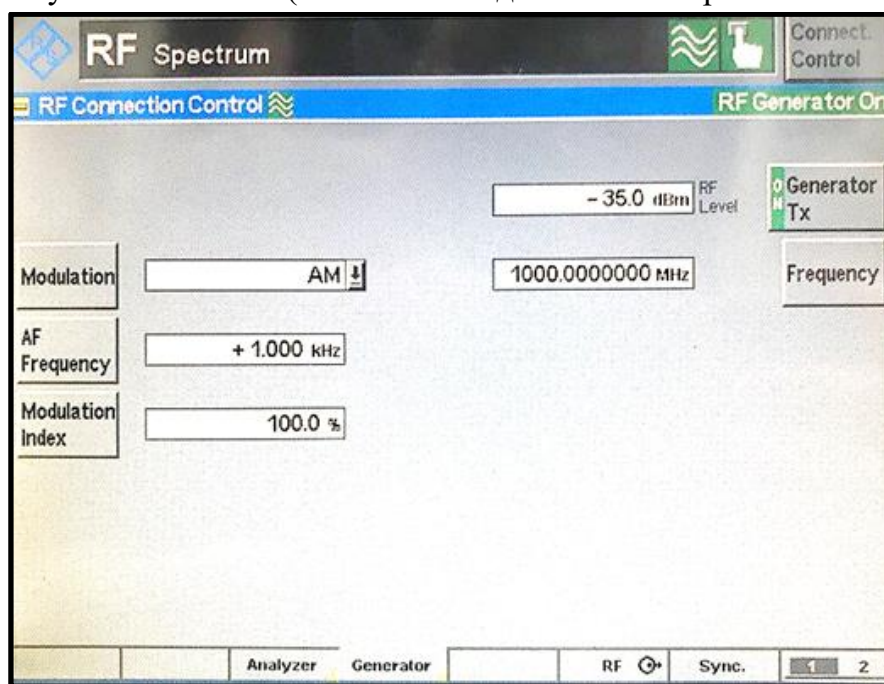


Рисунок 1 – Настройка параметров передаваемого сигнала

**Измерение потерь в антенно-фидерном тракте.** После настроек передаваемого сигнала перейдите во вкладку *Spectrum*. Для настройки параметров анализатора, используйте клавишу *Analyzer Settings*. Задайте границы для исследуемого спектра ( $\pm 40$  МГц от выбранной центральной частоты). Перейдите с помощью клавиши *Marker* в меню используемых меток. Используйте клавиши *RiR* → *Pk* для установки метки на вершину исследуемого спектра (рис.2).

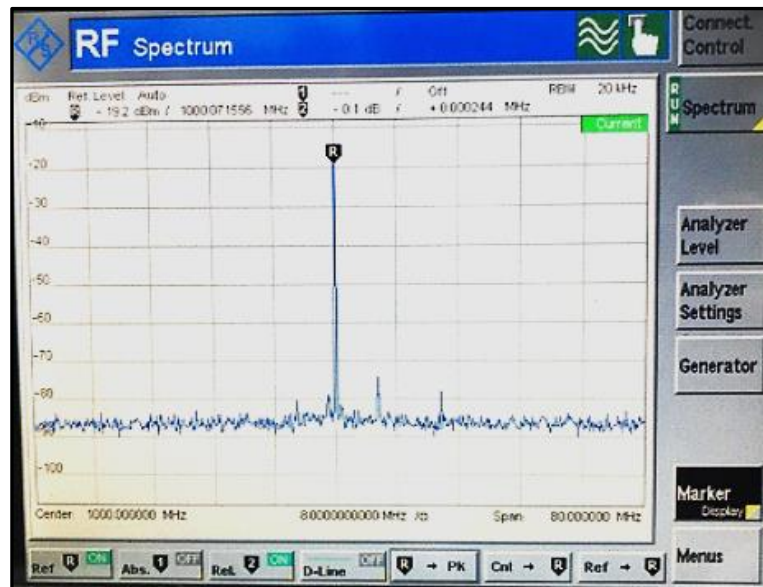


Рисунок 2 – Спектр исследуемого сигнала

На минимальном расстоянии между антеннами определите потери в антенно-фидерном тракте. Затем, изменяя дистанцию между антеннами, определите расстояние, при котором прием будет невозможным.

**Вопросы для самопроверки:**

1. От чего зависят потери радиосигнала в свободном пространстве?
2. От чего зависит отношение сигнал/шум на входе приемника?
3. Какие эмпирические модели используются для расчёта средних потерь?
4. Какой параметр измеряют в дБм? Какой физический смысл этой величины?
5. Какой уровень сигнала соответствует уверенному приему для CMU 200?

**4. Исследование нагрузочных характеристик в сетях мобильной связи**

**Цель работы:** Исследовать влияние количества абонентов и изменения наборов услуг на пропускную способность сети мобильной связи.

**Задание:**

1. Создать схему сети мобильной связи в пакете моделирования Riverbed Modeler Academic Edition согласно варианту (табл. 1).

Таблица 1 – Варианты задания

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Технология	GSM	UMTS	LTE	GSM	UMTS	LTE	GSM	UMTS	LTE
Количество абонентов	1-32	1-64	1-32	1-64	1-32	1-64	1-48	1-48	1-48

2. Провести исследование влияния количества абонентов с фиксированным набором услуг на показатели качества работы сети мобильной связи. Количество экспериментов по изменению количества подключенных абонентов 6. Набор услуг у каждого абонента: Email (Light), Web browsing (Light), File Transfer (Light), Video Conferencing (Heavy), Voice. Продолжительность моделирования 1 сутки. Результатом является оценка пропускной способности при различных нагрузках на сеть.

Таблица 2 – Наборы услуг, используемые при проведении моделирования

Номер эксперимента	Набор услуг
1	Voice, Email(Light), Web Browsing(Light), File Transfer(Light)
2	Voice, Email(Light), Web Browsing(Light), File Transfer(Light), Video Conferencing(Light)
3	Voice, Email(Light), Web Browsing(Light), File Transfer(Light), Video Conferencing(Heavy), Video Conferencing(Light)
4	Voice Email(Light), Web Browsing(Heavy), File Transfer(Heavy), Video Conferencing(Heavy), Video Conferencing(Light)
5	Voice, Email(Light), Web Browsing(Heavy), File Transfer(Heavy), Video Conferencing(Heavy)x2
6	Voice, Email(Heavy), Web Browsing(Heavy), Video Conferencing(Heavy)x3
7	Voice, Email(Heavy), Video Conferencing(Heavy)x6

3. Провести исследование влияния изменения набора услуг на показатели качества работы сети мобильной связи. Выбрать количество подключенных пользователей равным 8. Продолжительность моделирования 1 сутки. Результатом является оценка пропускной способности при различных нагрузках на сеть.
4. Подготовить отчет, в котором представить: графики изменения пропускной способности на узлах сети мобильной связи (для п. 1 и 2), зависимости средней пропускной способности от количества абонентов на узлах сети, зависимости средней пропускной способности от набора услуг.

#### **Методические указания к выполнению лабораторной работы**

В качестве примера выберем сеть UMTS. Воспользуемся пакетом моделирования Riverbed Modeler Academic Edition, позволяющим эмулировать оборудование сетей UMTS, протоколы передачи данных и услуги различных типов и широким диапазоном требований к показателям качества. Схема модельной сети представлена на рисунке 1.

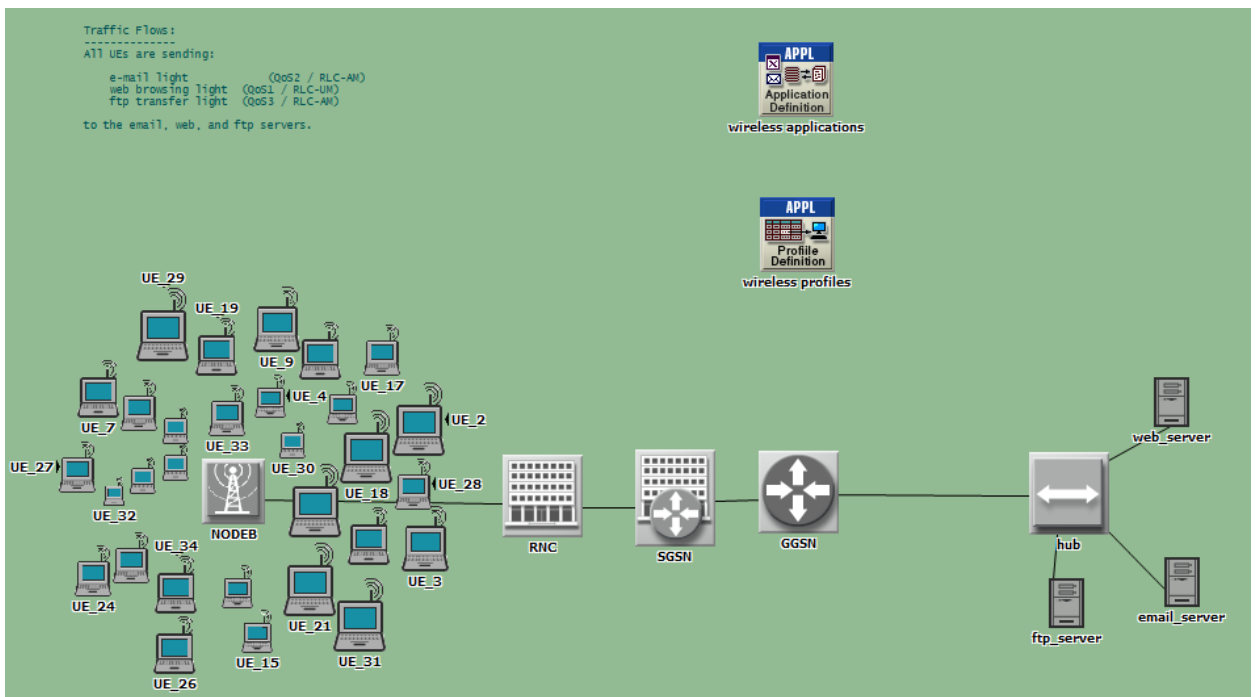
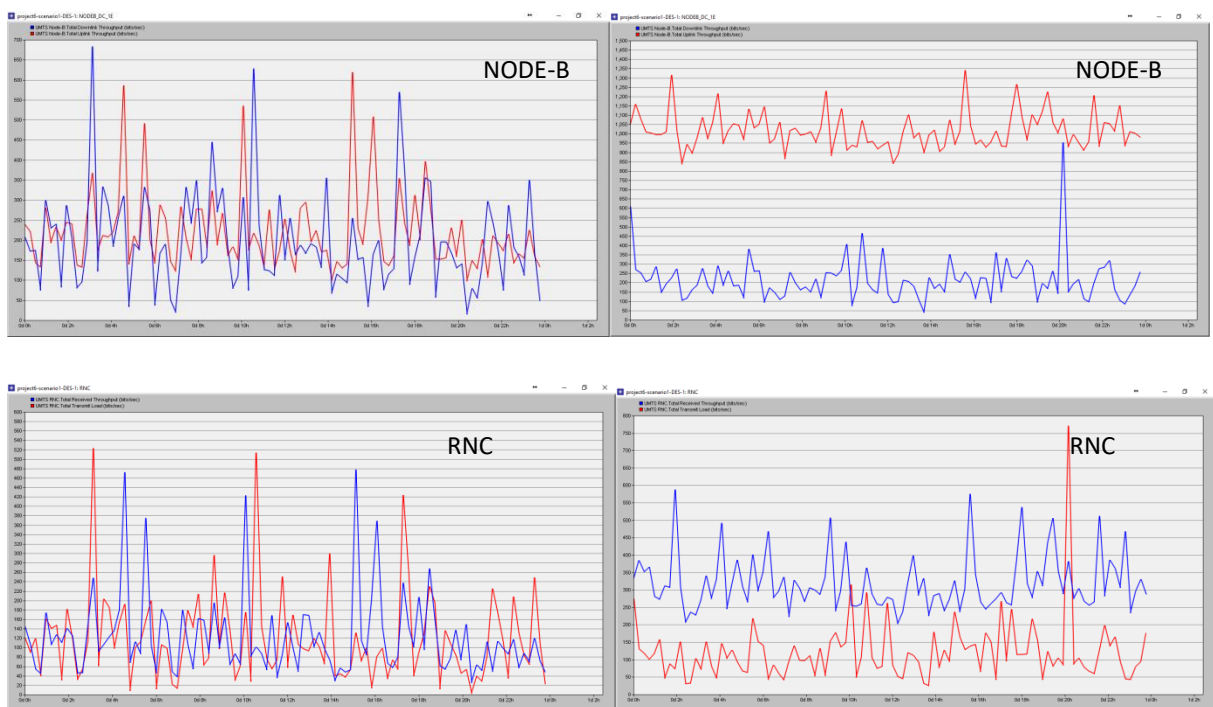
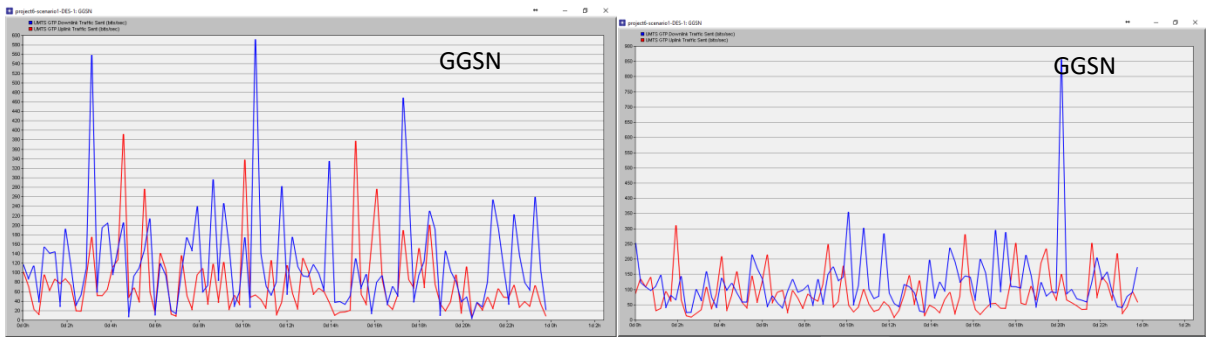


Рисунок 1 – Пример модельной сети UMTS

Проведем 9 экспериментов, во время которых будем снимать значения пропускной способности восходящих (uplink) и нисходящих (downlink) линий связи на трех узлах сети: NODE-B, RNC и GGSN. Результаты изменения пропускной способности на различных узлах сети UMTS приведены на рисунке 2. Построим графики зависимости средней пропускной способности от количества абонентов на узлах сети UMTS (Рисунок 3).





а)

б)

Рисунок 2 – Примеры изменения пропускной способности на узлах NODE-B, RNC и GGSN для а) 8 абонентов; б) 64 абонентов

Как видно из проведенного моделирования, при фиксированном наборе услуг, соответствующем предпочтениям пользователей в настоящее время, сеть полностью справляется с обеспечением заданного качества обслуживания.

Для исследования влияния набора услуг проведем 7 экспериментов, во время которых будем снимать значения пропускной способности восходящих (uplink) и нисходящих (downlink) линий связи на узлах в сети с поддержкой 8 абонентов. Результаты изменения пропускной способности на различных узлах сети UMTS приведены на рисунке 4. Результаты исследования сведем в таблицу 3.

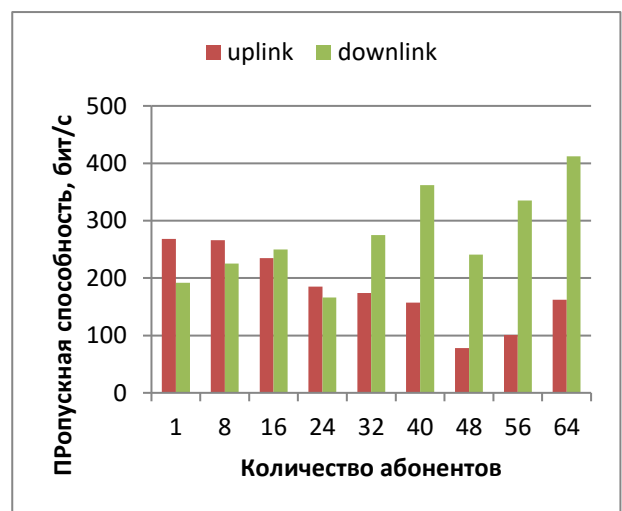
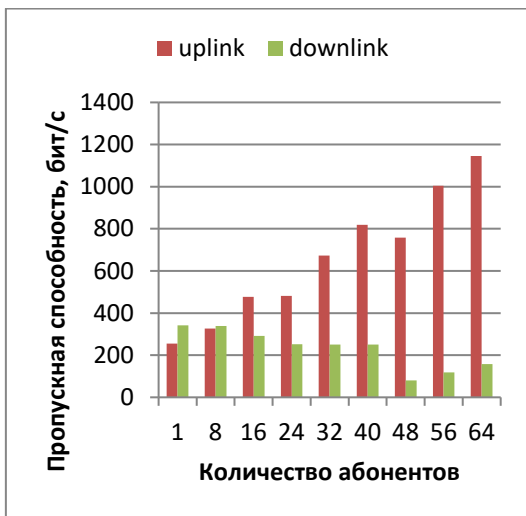
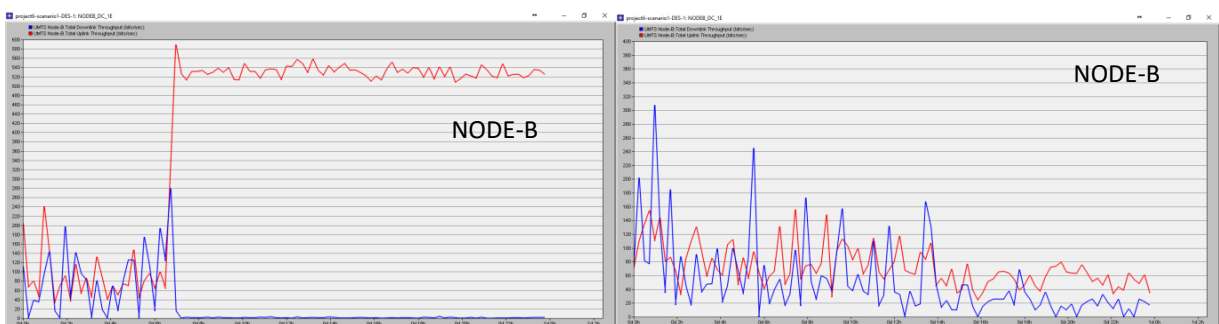
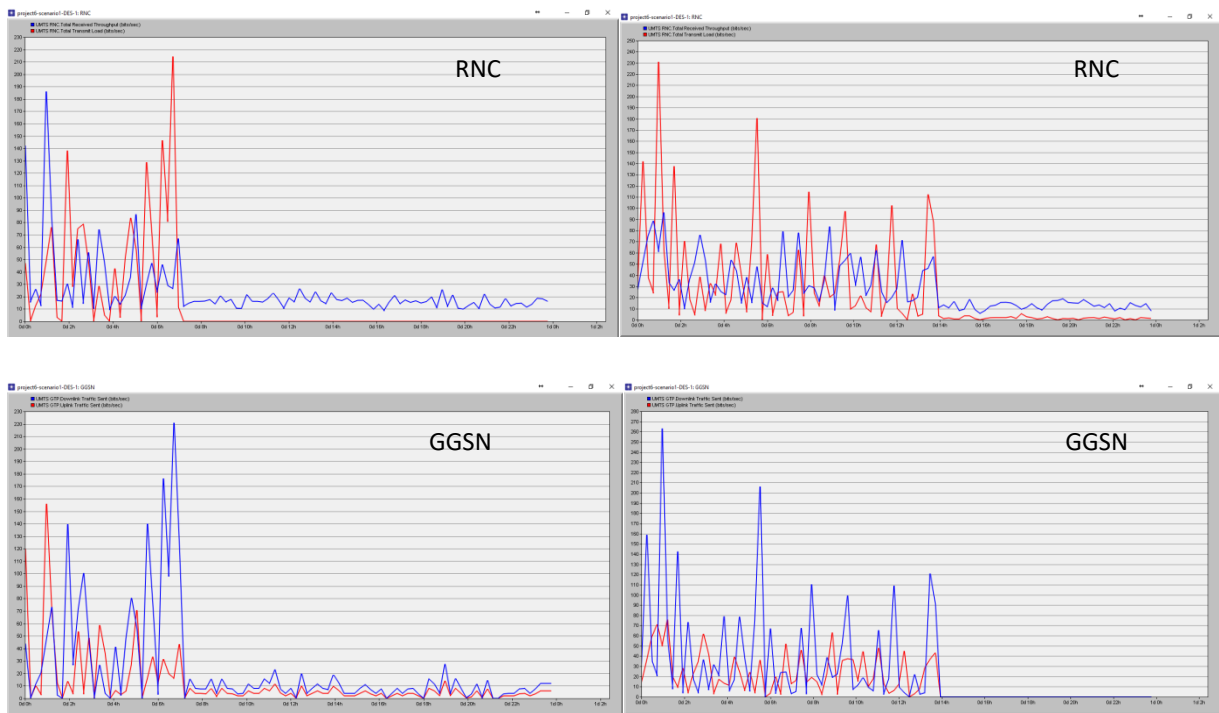


Рисунок 3 – Примеры изменения средней пропускной способности от количества абонентов на узлах NODE-B и RNC







а)

б)

Рисунок 4 – Изменение пропускной способности на узлах NODE-B, RNC и GGSN для различных наборов услуг: а) Voice, Email(Heavy), WebBrowsing(Heavy), VideoConferencing(Heavy)x3; б) Voice, Email(Heavy), VideoConferencing(Heavy)x6

Таблица 3 – Показатели пропускной способности на узлах сети UMTS для различных наборов услуг

Наборы услуг	uplink			downlink		
	NODE-B	RNC	GGSN	NODE-B	RNC	GGSN
1	288	226	123	335	208	198
2	248	135	133	179	180	126
3	327	223	199	346	238	238
4	124	70	52	104	65	81
5	128	86	65	94	64	82
6	Отказ сети					
7	Отказ сети					

Легко видеть, что при увеличении нагрузки на сеть за счет трафика видеоконференции и стримминга сеть подвержена отказам. Так, при нагрузке, моделируемой набором услуг Voice, Email(Heavy), WebBrowsing(Heavy), VideoConferencing(Heavy)x3, т.е. при увеличении одновременно приложений HTTP и видео, наблюдается отказ в обслуживании трафика в нисходящей линии на узле NODE-B, т.е. отказ произошел на уровне доступа (рис.4а).

В случае, если нагрузка моделируется набором услуг Voice, Email(Heavy), VideoConferencing(Heavy)x6, т.е. трафик HTTP был уменьшен, но увеличено количество мультимедийного видеотрафика, поддерживающего виртуализацию

каналов на верхних уровнях, то отказ произошел на узле GGSN, т.е. на ядре сети (рис.4б).

#### Вопросы для самопроверки:

1. Какой из узлов подвержен отказам из-за увеличения количества абонентов?
2. Какой из узлов подвержен отказам из-за увеличения мультимедийного трафика?
3. Какие показатели качества обслуживания отражают восприятие пользователями мультимедийных услуг?
4. Почему пропускная способность является важным показателем качества в современных сетях мобильной связи?
5. Почему необходимо исследовать влияние на характеристики сети набора услуг, а не одной услуги?

### 5. Исследование качественных показателей сети Wi-Fi с высокой плотностью устройств

**Цель работы:** Исследовать изменения показателей качества при увеличении устройств в беспроводной сети IEEE 802.11.

#### Задание:

1. **Индивидуальное.** Используется пакет моделирования Riverbed Modeler Academic Edition, в котором нужно создать проект типа *office* 200м x200м и реализовать 3 сценария беспроводной локальной сети согласно таблице 1. Установить *Channel settings = AutoAssigned, protocol = 802.11n*, максимальную скорость передачи согласно выбранному стандарту. Установить профили приложений согласно таблице 2, которые задаются каждой паре станций. Установить время выполнения каждого сценария 2 минуты. Для каждого из сценариев снять значения параметров: *Delay, RetransmissionAttempts, Throughput*.

Таблица 1 – Параметры сценариев

	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
Количество точек доступа (AP)	2	4	6
Количество станций (STA), подключаемых к каждой точке доступа	8	8	8
Профили для станций с четными BSSID	<i>HTTP (HeavyBrowsing), FTP (HighLoad),</i>	<i>Videoconferencing (HighResolutionVideo), Voice (IP Telephony)</i>	<i>HTTP (HeavyBrowsing), FTP (High Load),</i>

Профили станций с нечетными BSSID	для с <i>Video conferencing (High Resolution Video), Voice (IP Telephony)</i>	<i>HTTP (Heavy Browsing), FTP (High Load)</i>	<i>Video conferencing (High Resolution Video), Voice (IP Telephony)</i>
-----------------------------------	--	---	---

Примечание: номер каждой BSS совпадает с порядковым номером AP (пример: AP1 имеет BSSID = 1).

Таблица 2 – Профили приложений

Атрибуты		Профили			
		Профиль 1	Профиль 2	Профиль 3	Профиль 4
Start Time [s]		Uniform (60, 140)			
Duration		Until End of Simulation			
Приложения	Name	Voice	Video	HTTP	FTP
	Start Time Offset [s]	No Offset	No Offset	No Offset	No Offset
	Duration [s]	Uniform (100, 140)	Uniform (100, 140)	End of Profile	End of Profile
	Repeatability > Inter-rep. Time [s]	Exponential (600)	Exponential (900)	Not Applicable	Not Applicable

- В группе.** В лабораторной сети провести натурное моделирование трех сценариев согласно п.1. К каждой точке доступа подключайте индивидуальные устройства, параметры доступа выдаются преподавателем. Для создания нагрузки используйте соответствующие приложения (например, мессенджеры в режиме видеозвонка для создания нагрузки *Videoconferencing*), при этом необходимо исключить использование других услуг. Для оценки параметров качества используйте утилиты согласно таблице 3 или специальные приложения.

Таблица 3 – Утилиты для оценки показателей качества

Параметр	Задержка	Количество отброшенных пакетов	Загрузка канала	Количество повторных передач	Пропускная способность
Утилита	ping	netstat -e	netstat -e iperf	pathping	netstat -e iperf

- Подготовить отчет, содержащий результаты моделирования и сравнительный анализ экспериментов, проведенных на модельной и натурной сети.

### Методические указания к выполнению лабораторной работы

Беспроводные локальные сети (WLAN) становятся все более плотной средой быстрым увеличением количества сетевых узлов, как пользовательских устройств (STA), так и точек доступа (AP). В таких условиях все чаще встречается интерференция, что приводит к заметному снижению показателей качества обслуживания.

Основными проблемами в высокоплотной беспроводной сети являются:

- Интерференция: в пределах одной *BSS (Basic Service Set)*, между несколькими *BSS* и между сетями разных технологий радиодоступа.
- Проблема скрытого узла: ситуация, когда два или несколько узлов сети пытаются получить доступ к базовой станции (точке доступа) сети, но при этом не видят друг друга, то есть физически не могут принимать сигналы в эфире друг от друга (например, из-за большой дальности, условий распространения сигналов и т.д.).

Для оценки производительности сети используем следующие критерии:

1. Попытки повторной передачи (пакеты) – *Retransmission Attempts*: является одним из важных параметров, влияющих на качество обслуживания в *WLAN*. Это общее количество попыток повторной передачи *MAC*-уровня в *WLAN* до успешной передачи пакета или его отбрасывания в результате достижения предела повторных попыток.
2. Задержка (с) – *Delay*: представляет собой сквозную задержку для всех пакетов, полученных с *MAC*-уровня всех узлов в сети и направленных на более высокий уровень. Эта задержка включает задержку доступа к среде, задержку приема всех фрагментов и задержку передачи кадров через точку доступа, если функциональность точки доступа включена.
3. Пропускная способность (бит/с) – *Throughput*: общее число бит, переданных от уровней *WLAN* на более высокие уровни во всех узлах *WLAN*. Позволяет определить эффективность беспроводной локальной сети.
4. Для расширения оценки можно использовать также параметры *Data Dropped* – количество отброшенных пакетов, *Load* – загрузка канала, *Network Load* – загрузка сети.

Для каждого сценария (Рисунок 1) устанавливается время выполнения 2 минуты, что позволит избежать ограничений академической версии *OPNET Riverbed Modeler 17.5 Academic version* [1].

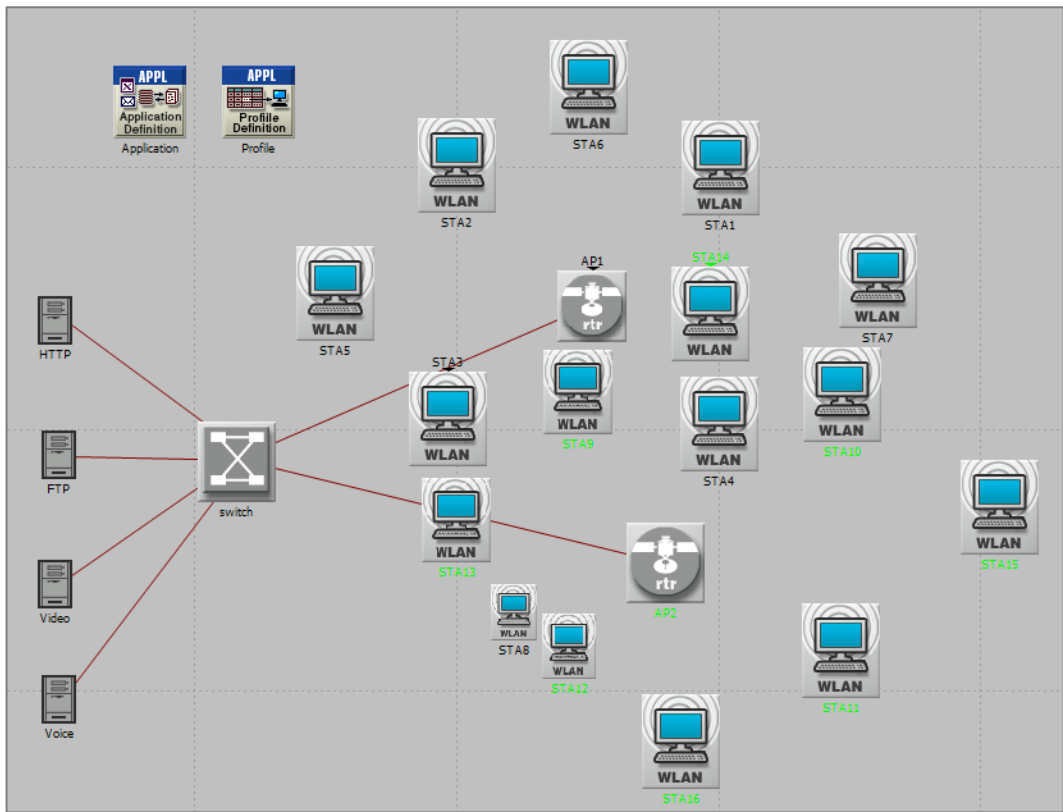


Рисунок 1 – Пример реализации Сценария 1

Сравнение сценариев производится по каждому из критериев отдельно (Рисунок 2). По результатам эксперимента необходимо построить графики зависимости изменения каждого из критериев в зависимости от количества точек доступа (Рисунок 3) и сделать выводы об изменении значений параметров качества.

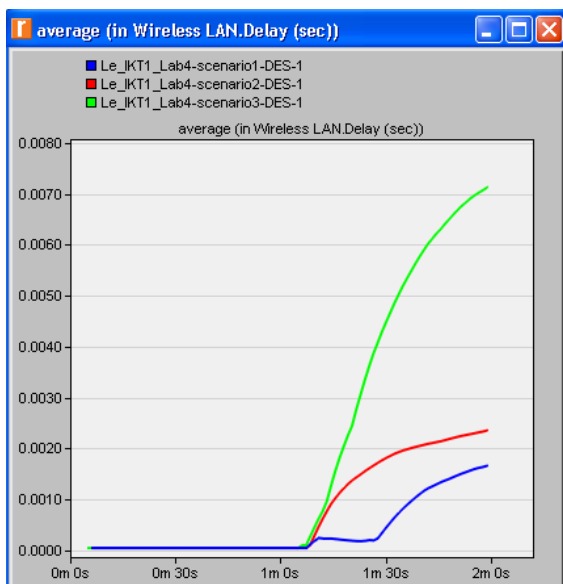


Рисунок 2 – Изменение параметра *Delay* для трех сценариев в модельной сети

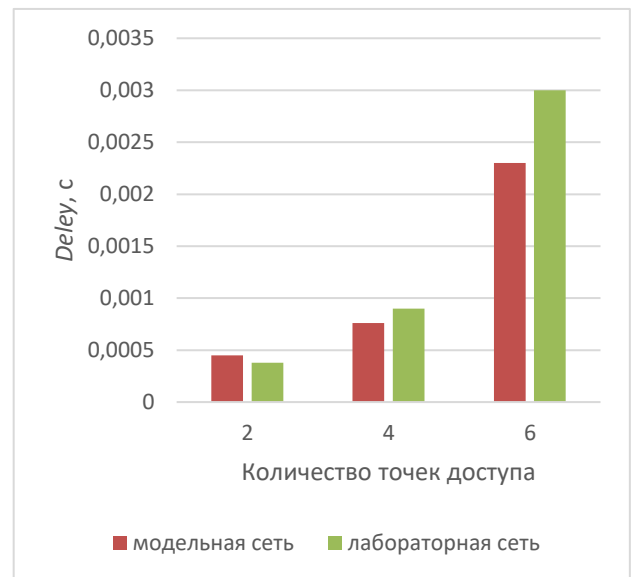


Рисунок 3 – Зависимость изменения задержки *Delay* от количества точек доступа в *WLAN* в модельной и натурной сети

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Какие основные проблемы возникают в беспроводной локальной сети *Wi-Fi* увеличением плотности устройств
2. Какие типы интерференции встречаются в *WLAN*
3. Какой из параметров качества обслуживания позволяет оценить эффективность беспроводной локальной сети
4. Какой из параметров позволяет оценить загруженность канала
5. Почему при увеличении количества точек доступа задержка увеличивается.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1. РАБОТА С RIVERBED MODELER ACADEMIC EDITION

Для установки Riverbed Modeler Academic Edition необходимо зарегистрироваться на официальном сайте разработчика, перейдя по ссылке: [https://rpmapps.riverbed.com/ae/4dcgi/SIGNUP\\_NewUser](https://rpmapps.riverbed.com/ae/4dcgi/SIGNUP_NewUser). На загрузившейся странице вы увидите анкету, в которой нужно заполнить поля, отмеченные красными квадратиками. Адрес электронной почты, который вы вводите, обязательно должен быть действующим, так как на него придёт ссылка для скачивания дистрибутива программы и пароль от аккаунта, который генерируется сайтом. При переходе по ссылке из письма, появится форма, в которую нужно ввести данные вашего аккаунта: электронную почту и пароль. Если проигнорировать форму, то появится сообщение об ошибке аутентификации.

Когда вход в аккаунт будет выполнен, откроется страница загрузки, на которой, помимо кнопки «Download», будет также находиться информация о системных требованиях Riverbed. После нажатия кнопки «Download» начнётся скачивание .exe-файла. На время установки Riverbed необходимо отключить антивирусные программы, т.к. они могут удалять некоторые файлы, из-за чего после завершения установки Riverbed будет работать некорректно.

После запуска .exe-файла откроется Мастер Установки. Завершите установку Riverbed, следуя его инструкциям.

При запуске Riverbed может просить принять пользовательское соглашение, даже если это уже было сделано ранее. После принятия соглашения открывается стартовое окно Riverbed. При создании объекта после нажатия кнопки «new» появляется окно, в котором можно выбрать тип создаваемого файла. В версиях Riverbed 17.5 и ниже в раскрывающемся меню доступен только тип «project», который необходим для выполнения лабораторных работ.

Процесс создания сценария начинается после присваивания ему имени. Это может происходить либо при создании проекта, либо при добавлении нового сценария в существующий проект. Настройка сценария, то есть настройка основных параметров моделируемой сети, происходит через Startup Wizard (табл. П1.1). Устанавливается масштаб сети и размеры, подключается палитра устройств, которые переносятся в рабочую область путем претаскивания мышью. На рисунке П1.1 приведен пример сегмента сети и меню настройки параметров объекта (табл.

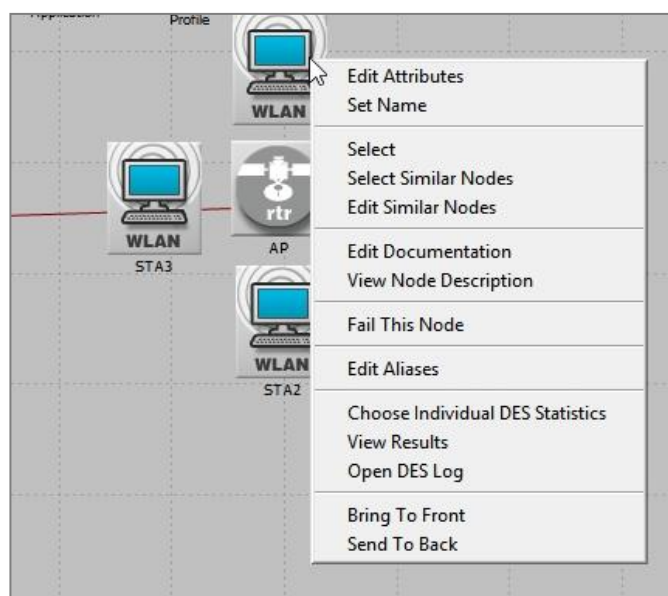


Рисунок П1.1 – Вывод меню задания/редактирования свойств объекта (правая кнопка мыши)

П1.2). Параметры в окне «Attributes» представлены в виде таблицы из двух столбцов: названия параметра (Attribute) и его значения (Value).

Таблица П1.1 – Список функций меню рабочей области

Пункт меню	Назначение
File	Содержит функции по управлению файлами и печатью
Edit	Содержит функции по редактированию содержимого текущего окна
View	Позволяет настраивать режимы просмотра
Scenarios	Содержит функции по управлению сценариями
Topology	Содержит функции по управлению сетью и объектами, её составляющими
Traffic	Содержит функции по настройке трафика
Protocols	Позволяет настроить протоколы, используемые различным технологиями
DES	Содержит функции по симуляции события и сбору статистики
Windows	Содержит функции по управлению окнами Riverbed
Help	Справочная информация

Изменение того или иного параметра означает присвоение ему нового значения делается при помощи нажатия левой кнопки мыши. Если вы работаете с несколькими объектами сразу, то нужно всегда помнить о том, что напротив «Apply to selected object» (надпись прямо над клавишами «OK» и «Cancel») должна стоять галочка. В противном случае внесённые вами изменения будут применены только к объекту, непосредственно на который вы нажали, чтобы открыть в выпадающем меню пункт «Edit Attributes».

Функционал Riverbed предоставляет возможность создания неограниченного количества сценариев внутри одного проекта. Функции, отвечающие за работу непосредственно со сценариями (создание, удаление, переключение одного на другой и т.д.) находятся в пункте «Scenarios» основного меню.



Таблица П1.2 – Список меню задания/редактирования свойств объекта

Пункт меню	Назначение	
Edit Attributes	Меню настройки различных параметров объектов	
Set Name	Изменение имени объекта	
Select	Выбрать (выделить) данный объект	
Select Similar Nodes	Выбрать (выделить) все объекты того же типа	
Edit Similar Nodes	Позволяет редактировать все объекты того же типа	
Edit Documentation	Позволяет прикреплять к объекту заметки и пояснения	
View Node Description	Показывает подробное и краткое описание объекта	
Fail This Node	Позволяет выключить объект, не удаляя его с поля	
Edit Aliases	Позволяет присвоить условное обозначение	
Choose Individual DES Statistics	Функции по симуляции работы и сбору статистики с данного объекта	Позволяет настроить симуляцию работы и сбор статистики
View Results		Показывает результаты симуляции и сбора статистики
Open DES Log		Показывает отчет о процессе симуляции
Bring To Front	Функции просмотра	Переносит объект вперед (на слой выше)
Bring To Back		Переносит объект назад (на слой ниже)

Перед запуском симуляции необходимо сохранить сценарий. Запуск симуляции осуществляется при помощи пунктов вкладки «DES» «Configure/Run Discrete Event Simulation» или «Run Discrete Event Simulation». Первую симуляцию сценария лучше проводить при помощи пункта «Configure/Run Discrete Event Simulation» (табл. П1.3), что позволит вручную установить время работы моделируемой сети. Рекомендуется перед симуляцией проверять выставленное время, т.к. слишком большое значение этого параметра может привести к сбоям в работе программы.

Таблица П1.3 – Функции меню сбора статистики

Пункт меню «DES»	Назначение	
Choose Individual Statistics	Окновыбора типов собираемой статистики: Global Statistics – с сети, Node Statistics – с узлов, Link Statistics – с каналов	
Choose Statistics (Advanced)	Уточнение сбора статистики, в том числе по протоколам	
Configure/Run Discrete Event Simulation	Запуск симуляции текущего сценария, предварительно настроив параметры симуляции	
Run Discrete Event Simulation	Запуск симуляции текущего сценария без предварительной настройки (с параметрами по умолчанию или установленными при предыдущем запуске симуляции)	
Open DES Log	Отчёт о процессе симуляции	
Results	View Results	Просмотр полученных результатов
	Compare Results	Сравнение результатов всех сценариев, в которых была выполнена симуляция
	Find Top Statistics	Поиск результатов статистики
Panels	Панели	
Panel Operations	Панели управления	

После завершения моделирования, можно либо просто просмотреть графики, которые построил Riverbed для текущего сценария через «View Results...» вкладки DES, либо сравнить результаты для всех промоделированных сценариев через «Compare Results...» той же вкладки. Окна, которые откроются в обоих случаях, практически идентичны – единственное различие в том, что в режиме просмотра результатов будет показан только один сценарий, а в режиме сравнения появится возможность просмотреть несколько одновременно (табл. П1.4 и Рисунок П1.2).

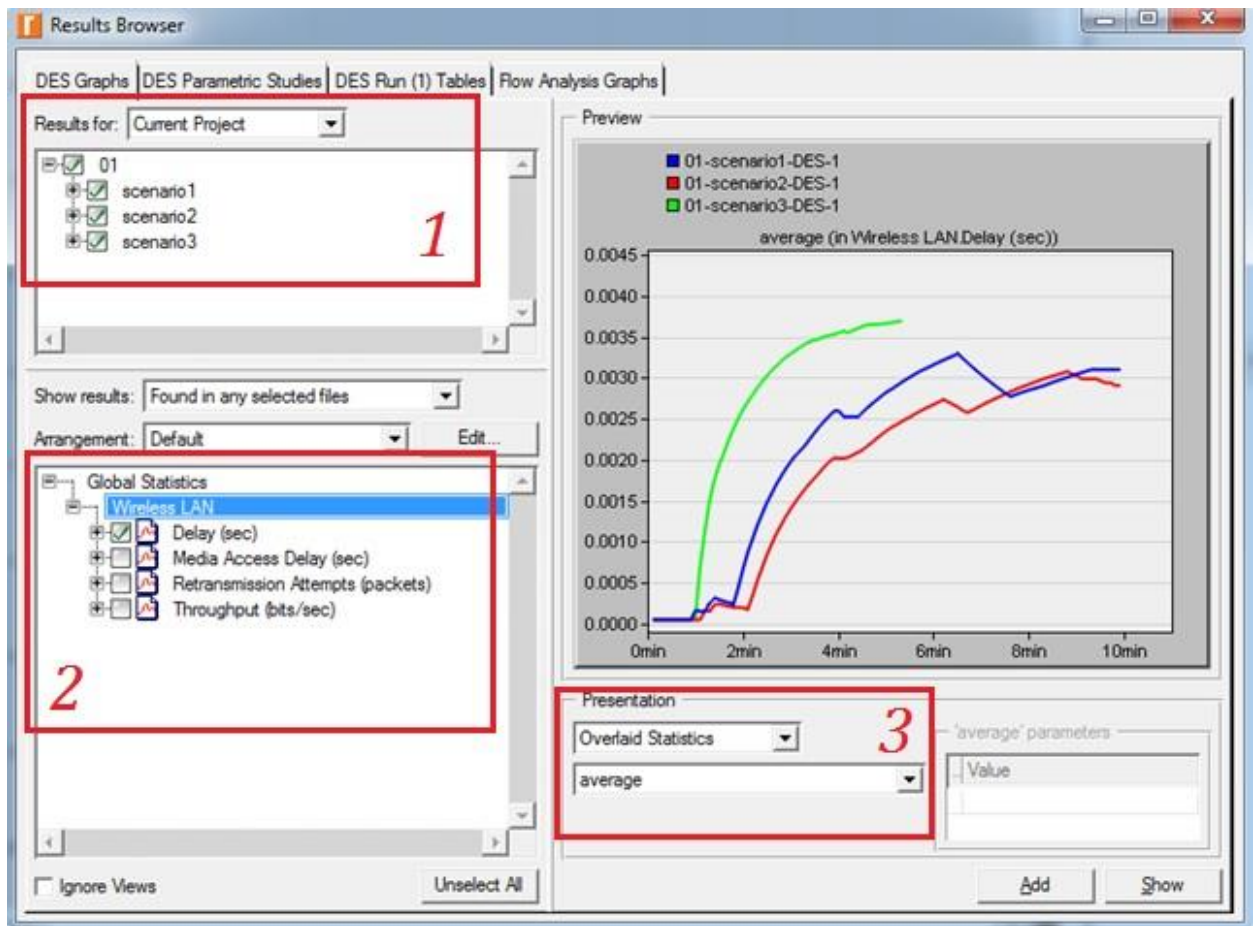


Рисунок П1.2 – Пример вывода статистики по результатам моделирования

Таблица П.1.4 – Функции меню просмотра результатов моделирования

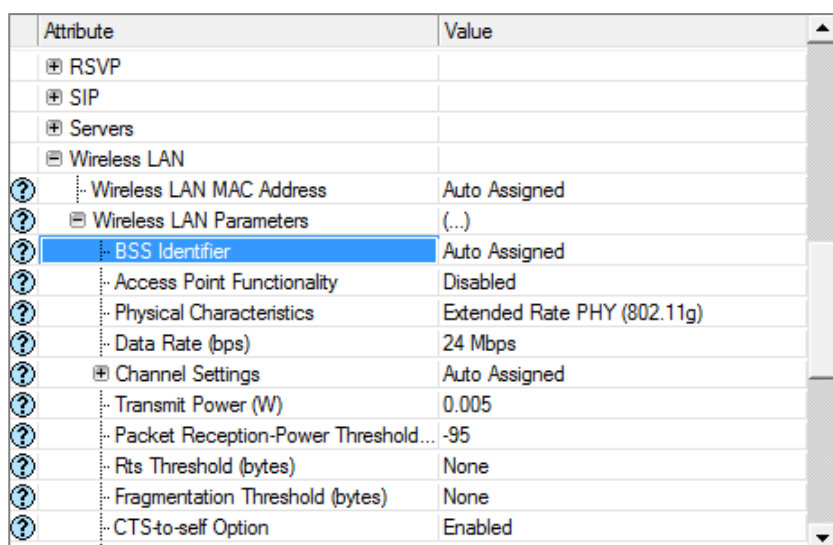
Область окна «Result Browser»	Содержит	Назначение
1	Графа «Results for:»	Выбор типа отображаемых данных
	Список сценариев	Включить/отключить отображение статистики по тому или другому сценарию (проекту)
2	Виды статистики	Выбор типа отображаемых параметров
3	Графа выбора способа отображения данных	Отображать данные в виде графика (Overlaid Statistics) или в виде гистограммы (Stacked Statistics)
	Графа выбора типа статистики	Выбор типа обработки отображаемых данных

## Настройка объектов беспроводной сети

В качестве примера разберем настройку беспроводной сети Wi-Fi, в которой приняты следующие обозначения: AP (AccessPoint) обозначается точка доступа, а STA (Station) – рабочая станция, которая является подключаемым к точке доступа устройством. Трафик поступает к AP по кабелю, затем передается STA по беспроводному каналу. В палитре объектов Riverbed точка доступа обозначается как объект wlan\_ethernet\_router\_adv, а устройство (рабочая станция) – как объект wlan\_wkstn\_adv. Оба объекта неподвижны, т.е. находятся в режиме Fixed mod. Если в сценарии присутствует несколько объектов одного типа, вместе с именем им присваиваются порядковые номера.

Чтобы выбранная STA получала трафик от выбранной AP, нужно чтобы они обе находились в одном BSS (базовый набор услуг). Для этого необходимо присвоить им один и тот же BSS-идентификатор. Если в сценарии несколько BSS, то BSS-идентификатор – это порядковый номер BSS. Так как в одной BSS находится всего одна точка доступа, то порядковый номер BSS совпадает с порядковым номером AP. BSS-идентификатор присваивается в Edit Attributes. Во вкладке Wireless LAN нужно выбрать вкладку Wireless LAN Parameters – пункт BSS Identifier. (рис.П1.3). Параметр должен быть применён ко всем объектам BSS.

Также, когда в сценарии несколько BSS, рекомендуется для каждой из них назначить уникальный цвет подписей. Например, все объекты первой BSS – красные, а объекты второй BSS – синие. Разделение по цветам сделает моделируемую сеть более наглядной и упростит работу. Цвет объекта можно изменить в Edit Attributes (пункт label color) (рис.П1.4). Параметр должен быть применён ко всем объектам BSS.



Attribute	Value
⊕ RSVP	
⊕ SIP	
⊕ Servers	
⊖ Wireless LAN	
⊕ Wireless LAN MAC Address	Auto Assigned
⊖ Wireless LAN Parameters	(...)
⊕ BSS Identifier	Auto Assigned
⊕ Access Point Functionality	Disabled
⊕ Physical Characteristics	Extended Rate PHY (802.11g)
⊕ Data Rate (bps)	24 Mbps
⊕ Channel Settings	Auto Assigned
⊕ Transmit Power (W)	0.005
⊕ Packet Reception-Power Threshold...	-95
⊕ Rts Threshold (bytes)	None
⊕ Fragmentation Threshold (bytes)	None
⊕ CTS-to-self Option	Enabled

Рисунок П1.3 – Установка BSS-идентификатора

Attribute	Value
name	AP
model	wlan_ethernet_router_adv
x position	36.62
y position	4.852
threshold	0.0
icon name	rtr_sat
creation source	Object Palette
creation timestamp	18:28:02 Mar 06 2017
creation data	
label color	black
AD-HOC Routing Parameters	
IP	
IP Routing Protocols	
IP Multicasting	

Рисунок П1.4 – Пример установки цвета BSS-идентификатора

Все элементы BSS необходимо настроить на поддержку HCF в Edit Attributes объекта. Во вкладке Wireless LAN нужно выбрать вкладку Wireless LAN Parameters и найти HCF Parameters. В графе Status выбрать Supported.

AP могут передавать информацию в определенном диапазоне частот. Настройка частоты, на которой ведётся передача, происходит в Edit Attributes. Во вкладке Wireless LAN нужно выбрать вкладку Wireless LAN Parameters – вкладка Channel Setting (Рисунок П1.5). В графе Bandwidth устанавливается ширина диапазона передачи, а в графе Min Frequency можно выбрать минимальную частоту передачи. Эти два параметра задают нужный канал.

Attribute	Value
VRRP	
Wireless LAN	
Wireless LAN MAC Address	Auto Assigned
Wireless LAN Parameters	(...)
BSS Identifier	Auto Assigned
Access Point Functionality	Enabled
Physical Characteristics	Extended Rate PHY (802.11g)
Data Rate (bps)	24 Mbps
Channel Settings	(...)
Bandwidth (MHz)	Physical Technology Dependent
Min Frequency (MHz)	BSS Based
Transmit Power (W)	0.005
Packet Reception-Power Threshold...	-95
Rts Threshold (bytes)	None
Fragmentation Threshold (bytes)	None

Рисунок П1.5 – Установка параметров физического беспроводного канала

Чтобы установить профиль на STA нужно зайти в Edit Attributes, открыть вкладку Applications и в Application: Supported Profiles выбрать количество профилей (Number of Rows) и их имена (Profile Name).

Объекты Application и Profile нужны для того, чтобы задавать тип трафика. Application используется для настройки приложений, работающих на клиентских станциях. Полное название объекта в палитре - Application Config. В объекте

Application - устанавливается количество используемых приложений и описание каждого из них. Количество приложений (Number of Rows) настраивается в Edit Attributes объекта Application, во вкладке Application Definitions. После указания количества работающих в сценарии приложений появляются вкладки «Enter Application Name», через которые приложениям присваиваются имена и описания в пунктах меню Name и Description. Все внесенные изменения необходимо сохранить, нажав кнопку ОК.

Когда приложения созданы, можно переходить к следующему шагу – созданию профилей пользователей, использующих эти приложения. Для этого используется объект Profile (в палитре это объект Profile Config). При помощи Profile происходит задание количества существующих в сценарии профилей и их настройка.

Профиль – это модель пользователя, работающего с какими-то приложениями. В данной лабораторной работе пользователь – это рабочая станция (STA). Профиль содержит в себе информацию о том, какие приложения использует STA, когда начинается взаимодействие станции и приложения, когда оно заканчивается и в каком режиме происходит. В Edit Attributes объекта Profile находится вкладка Profile Configuration, где устанавливается количество профилей (Number of Rows), существующих в сценарии (Рисунок П1.6).

Attribute	Value
name	node_1
model	Profile Config
x position	45.86
y position	18.51
threshold	0.0
icon name	util_profiledef
creation source	Object Palette
creation timestamp	14:23:36 Mar 07 2017
creation data	
label color	black
Profile Configuration	(...)
Number of Rows	0
hostname	0
minimized icon	1
role	2
	3
	Edit...

Рисунок П1.6 – Установка количества профилей

При настройке каждого профиля можно указать различные параметры, такие как его имя (Profile Name), начало использования данного профиля (Start Time), длительность (Duration) и частоту повтора (Repeatability). Во вкладке Applications к профилю подключаются приложения, которые он использует (Рисунок П1.7). Для этого сначала задаётся количество используемых в профиле приложений (Number of Rows), а затем выбираются те из них, которые нужны в данном профиле (графа Name).

Attribute	Value
Profile Configuration	(...)
Number of Rows	2
Enter Profile Name...	
Profile Name	Enter Profile Name...
Applications	(...)
Number of Rows	1
Enter Application Name...	
Name	Enter Application Name...
Start Time Offset (seconds)	uniform (5,10)
Duration (seconds)	End of Profile
Repeatability	Unlimited
Operation Mode	Serial (Ordered)
Start Time (seconds)	uniform (100,110)
Duration (seconds)	End of Simulation
Repeatability	Once at Start Time
Enter Profile Name...	...

Рисунок П1.7 – Настройка профиля

После создания в сценариях приложений и профилей пользователей нужно установить их на генераторы трафика и пользовательские станции. Трафик представляется в виде приложений и поступает от генератора трафика к точке доступа. Например, в качестве генератора трафика можно использовать объект палитры ethernet\_server. На каждый генератор трафика устанавливается по одному приложению, которое определяет название генератора. Установка приложения на генератор происходит следующим образом: в Edit Attributes генератора открывается вкладка Applications, в ней находится пункт Application: Supported Services (Рисунок П1.8).

Attribute	Value
x position	-61.62
y position	12.69
threshold	0.0
icon name	server
creation source	Object Palette
creation timestamp	21:21:40 Mar 13 2017
creation data	
label color	black
IP	
IP Multicasting	
Applications	
Application: Destination Preferences	None
Application: Supported Profiles	(...)
Application: Supported Services	(...)
Application: Transaction Model Tier C...	Unspecified
H323	

Рисунок П1.8 – Установка генератора приложений

При выборе строки Edit открывается окно настройки поддерживаемых служб (Supported Services). В графе Rows выбирается количество устанавливаемых на генератор приложений, после чего в столбце Name указывается имя подключаемого приложения (Riverbed предложит выбрать из списка тех приложений, которые были созданы при настройке объекта Application). Когда приложение установлено на генератор, в графе Description отображается статус Supported. Внесённые изменения нужно сохранить, нажав кнопку ОК.



## ПРИЛОЖЕНИЕ 2. РАБОТА С РАДИОТЕСТЕРОМ R&S CMU 200

### 1. Об устройстве

R&S CMU 200 является универсальным радиокommunikационным мультипротокольным тестером, используемый при сервисном обслуживании мобильных устройств. В состав лабораторного комплекса входят базовый блок тестера R&S CMU200, включающий в себя ВЧ анализатор и ВЧ генератор, и блок тестирования GSM 450/850/900/1800 МГц. Модульная структура позволяет использовать при измерениях именно те функции, которые необходимы для решения узких задач.

#### 1.1. Описание передней панели прибора

На передней панели прибора CMU расположен VGA-дисплей с областью функциональных клавиш (в левой части прибора) и областью аппаратных клавиш (правая часть прибора, Рисунок П2.1). Краткое описание клавиш управления и разъемов в области аппаратных клавиш и на задней панели приведено на рисунке П2.2 и в таблицах П2.1-П2.7.

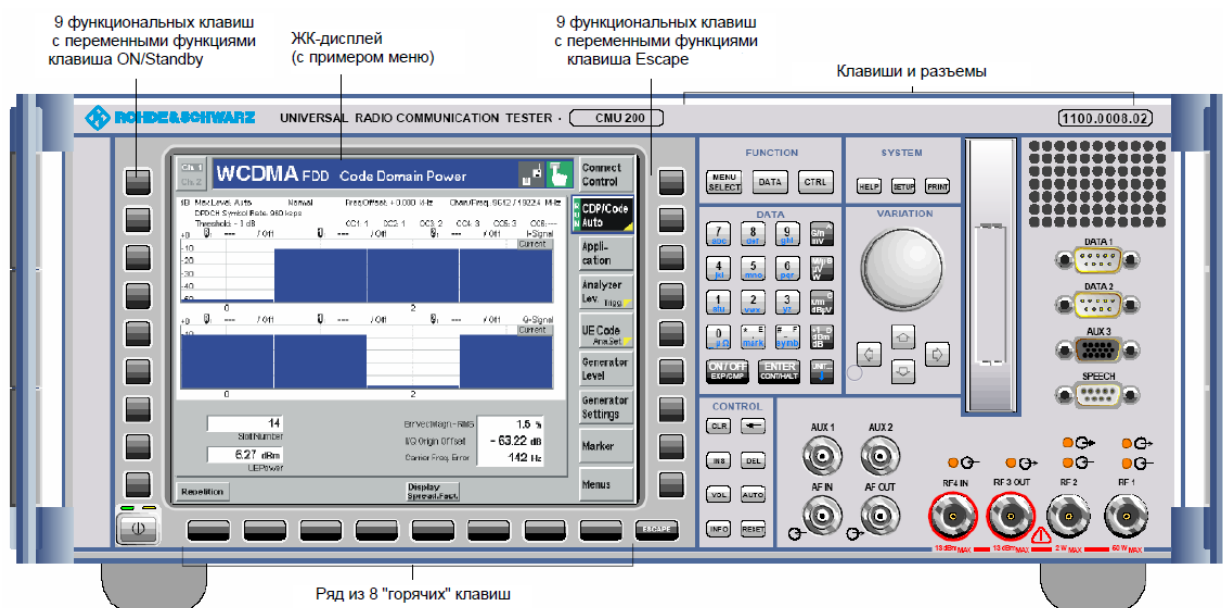


Рисунок П2.1 – Передняя панель радиотестера CMU

Таблица П2.1 – Панель выбора функций *FUNCTION*

Клавиша	Назначение
MENU SELECT	Выбор меню
DATA	Менеджер файлов
CTRL	Мастер измерений для сигнальных тестов GSMxxx-MS

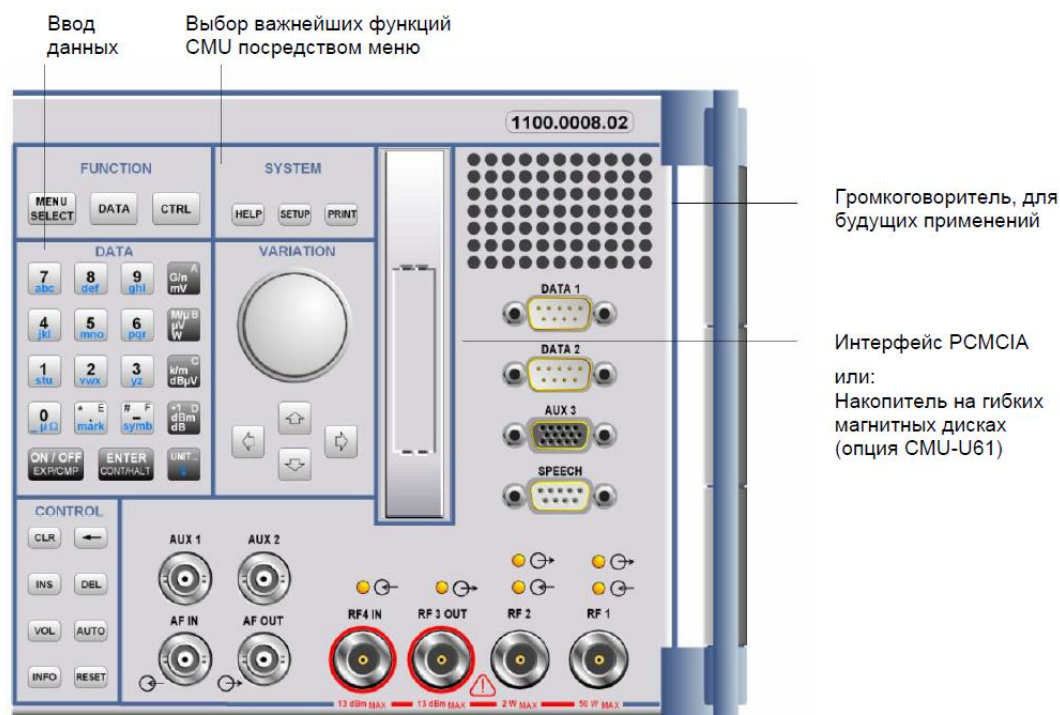


Рисунок П2.2 – Передняя панель радиотестера CMU: аппаратные клавиши

Таблица П2.2 – Панель ввода данных *DATA*

Клавиша	Назначение
0 ... 9	Ввод числовых значений (буквы вводятся при работе в строковых редакторах)
* . E	Специальные символы, десятичная точка, шестнадцатеричное значение "E"
# - F	Специальные символы, смена знака, шестнадцатеричное значение "F"
G/n mV A	Множитель 10 <sup>9</sup> /10 <sup>-9</sup> , единицы измерения, шестнадцатеричное значение "A"
M/μ μV W	Множитель 10 <sup>6</sup> /10 <sup>-6</sup> , единицы измерения, шестнадцатеричное значение "B"
k/m dB μV	Множитель 10 <sup>3</sup> /10 <sup>-3</sup> , единицы измерения, шестнадцатеричное значение "C"
*1 dBm dB	Множитель 100, единицы измерения, шестнадцатеричное значение "D"
ON / OFF	Включение/выключение редактирования/измерения EXP/COMP
ENTER	Подтверждение ввода в редакторах ввода
CONT/HALT	Вызов/закрытие редакторов ввода, управление измерением
UNIT	Для будущих применений

Таблица П2.3 – Панель системных функций *SYSTEM*

Клавиша	Назначение
HELP	Вызов справочной системы
SETUP	Настройки прибора
PRINT	Печать копии экрана

Таблица П2.4 – Панель *VARIATION*

Клавиша	Назначение
Поворотная ручка	Изменение значений в полях ввода и выбора параметров, выбор строк в таблицах, выделение полей во всплывающих меню. Нажатие на ручку приводит к разворачиванию/свертыванию таблиц и выпадающих списков, служит для подтверждения ввода и выбора.
Вертикальные курсорные клавиши	Выбор группы во всплывающих меню (по вертикали).
Горизонтальные курсорные клавиши	Выбор группы во всплывающих меню (по горизонтали), установка позиции курсора в редакторах ввода и таблицах.

Таблица П2.5 – Панель управления *CONTROL*

Клавиша	Назначение
CLR	Удаление всей строки в редакторе ввода
←	Удаление символов слева от курсора (клавиша возврата на одну позицию)
INS	Переключение между режимами вставки и перезаписи символов в редакторе
DEL	Удаление символов, выделенных с помощью курсора
VOL	Для будущих применений
AUTO	Для будущих применений
INFO	Системная информация и аппаратная диагностика
RESET	Возврат к значениям по умолчанию

Таблица П2.6 – Прочие клавиши

Клавиша	Назначение
ESCAPE	Выход из всплывающих меню, закрытие редактора ввода без применения сделанных изменений
ON/STANDBY	Переключение между режимом работы (зеленый светодиод) и дежурным режимом (оранжевый светодиод)

Таблица П2.7 – Разъемы

Клавиша	Назначение
Data 1/2, AUX 3, SPEECH	Входы и выходы для сигналов состояния, управления и запуска.
AUX1/2, AF IN/OUT	Разъемы для низкочастотных (звуковых) сигналов
RF 1/2	Двунаправленные ВЧ-разъемы для различных мощностных диапазонов.
RF 3/4	Разъем для сигналов с высоким выходным уровнем и разъем для высокочувствительных измерений (антенный).

## 1.2. Описание элементов задней панели

На задней панели прибора расположены интерфейсы для подключения устройств дистанционного управления, выключатель и разъем питания (Рисунок П2.3), а также сигнальные входы и выходы: LAN, I/O, для сигналов опорной и тактовой частоты (Рисунок П.2.4).



Рисунок П2.3 – Задняя панель радиотестера CMU



Рисунок П2.4 – Задняя панель радиотестера CMU: LAN и I/Q-IF входы и выходы

## 2. Подготовка к работе с лабораторной установкой

Перед началом выполнения измерений обратите внимание на технику безопасности при работе с измерительными приборами. При использовании в лабораторной работе фидерных соединений необходимо проверить соединения коннекторов с антенной и прибором, так как при неплотном прилегании могут возникнуть потери сигнала, что повлияет на выполнение измерений.

Для включения оборудования переведите радиотестер клавишей *ON/STANDBY*, расположенной на лицевой панели, в рабочее состояние. Проверьте установившийся режим работы по клавише *ON/STANDBY*. Если радиотестер CMU находится в дежурном режиме, нажмите клавишу *ON/STANDBY*. Прибор начнет загрузку, и через некоторое время отобразится начальное меню запуска (Рисунок П2.5). Обычно это меню закрывается сразу после окончания загрузки программного обеспечения прибора и выполнения начальной проверки.

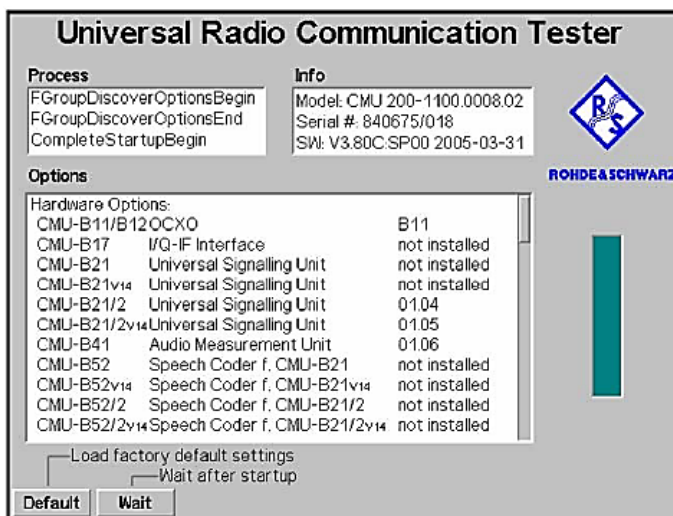


Рисунок П2.5 – Начальное меню запуска

Перед конфигурированием нового измерения нажмите клавишу RESET на передней панели для приведения прибора в стандартное состояние. Выберите для сброса настроек группы функций *Base* и *RF* (соответствующие узлы должны обозначиться черным цветом). С помощью курсорных клавиш перейдите на кнопку *Reset* (Рисунок П2.6) и нажмите *ENTER*.

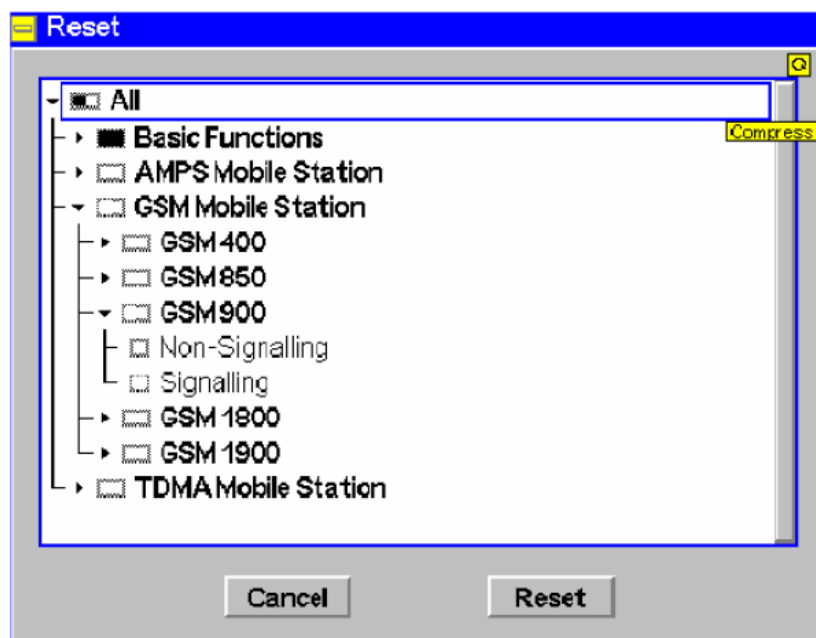


Рисунок П2.7 – Меню сброса группы функций

## Литература

1. OPNET Technologies – Network Simulator <https://www.riverbed.com/ru/products/steelcentral/OPNET.html?redirect=OPNET> [Электронный ресурс] (дата обращения 28.03.2018)
2. R&S®CMU200 Universal Radio Communication Tester [https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/cmu200-productstartpage\\_63493-7830.html](https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/cmu200-productstartpage_63493-7830.html) [Электронный ресурс] (дата обращения 28.03.2018)
3. Бабков, В. Ю. Сотовые системы мобильной радиосвязи [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. Ю. Бабков, И. А. Цикин. - СПб. : БХВ-Петербург, 2013. - 432 с.
4. Беспроводные сети Wi-Fi [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. В. Пролетарский [и др.]. – М. : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016. - 284 с
5. ГОСТ Р. 51061-97 «Системы низкоскоростной передачи речи по цифровым каналам //М.: Госстандарт России. – 1997.
6. Фокин, Г. А. Принципы и технологии цифровой связи. Основы расчетов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г. А. Фокин ; рец.: Н. В. Савищенко, А. М. Галкин ; Федеральное агентство связи, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2014. - 150 с.

## Оглавление

1. Субъективная оценка качества речи для двух сервисов: мобильной связи и пакетной передачи данных с использованием сегмента Wi-Fi.....	3
2. Анализ основных показателей качества пакетных сетей с использованием сетевых утилит.....	7
3. Исследование потерь в антенно-фидерном тракте.....	11
4. Исследование нагрузочных характеристик в сетях мобильной связи .....	13
5. Исследование качественных показателей сети Wi-Fi с высокой плотностью устройств .....	18
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. РАБОТА С RIVERBED MODELER ACADEMIC EDITION.....	23
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. РАБОТА С РАДИОТЕСТЕРОМ R&S CMU 200.....	33
Литература.....	39

Коротин Владимир Евгеньевич  
Ле Чан Дык  
Лесников Егор Андреевич  
Симонина Ольга Александровна

## **Обеспечение качественных показателей беспроводной связи**

Учебно-методическое пособие  
по выполнению лабораторных работ

Редактор ...

Компьютерная верстка ...

План издания 2018 г., п. ...

Подписано к печати XX.XX.20XX  
Объем ... усл.-печ. л. Тираж ... экз. Заказ ...

Редакционно-издательский отдел СПбГУТ  
191186 СПб., наб. р. Мойки, 61

Отпечатано в СПбГУТ