

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, назва факультету)
Радіотехніки та телекомунікації
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра
(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему „Власна дія головного вузла з мобільними
станціями групи на ближній зоні місцевості„

Виконав: студент 6 курсу, групи РТ-912м
спеціальності (напряму підготовки)

172 Телекомунікації та радіотехніки
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Закарова М.В. Мух
(прізвище та ініціали)

Керівник Костенко В.О. В.О.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Трохоров О.С. О.С.
(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
2017 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет ІІРЕ ФРЕТ
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
 Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
 Спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"
 (код і назва)
 Напрямок підготовки _____
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри К.М.Н. дос.
С.В. Моршавка
 "_____" 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Закаровій Марії Валентинівни
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Взаємодія човинового вузла з мобільними станціями групи на обмеженій зоні місцевості

керівник роботи _____,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "27" жовтня 2017 року № 426

2. Строк подання студентом роботи 15.12.2017

3. Вихідні дані до роботи кількість мобільних станцій для використання, площа на якій проходить дослідження, стандарт на основі якого працює МС, тип колективного доступу до середовища передачі даних

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Актуальність роботи та постановка завдання на її виконання 2) Колективний доступ до середовища передачі даних в стандарті IEEE 802.11n при наявності 3) Математична модель мережі 4) Імітаційне моделювання та його результати 5) Характеристика сучасного ринку мобільного зв'язку України 6) Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Прийняв виконане завдання
Актуальність	Костенко В.О. доцент	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>
Колективний досвід	Костенко В.О. доцент	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>
Мат. модель	Костенко В.О. доцент	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>
Імітаційне мо	Костенко В.О. доцент	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>
Економіка	доцент Крушкова В.В.	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>
Оцінювання	Коробко О.В. старш. викладач	<i>[підпис]</i> 31.10.17	<i>[підпис]</i> 28.11.17
Н/керівник	Мотузгова Л.М. старш. викладач	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>

7. Дата видачі завдання 1.09.2017

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Актуальність роботи	1 тиждень	
2.	Юстировка завдання	1 тиждень	
3.	Колективний досвід до середовища передгі дані	1 тиждень	
4.	Характеристики системи координат	1 тиждень	
5.	Математична модель мережі	1 тиждень	
6.	Розрахунок навантажень	1 тиждень	
7.	Імітаційне моделювання	1 тиждень	
8.	Порівняння результатів імітаційного моделювання	1 тиждень	
9.	Характеристика економічного ринку	1 тиждень	
10.	Розрахунок екологічної частини	1 тиждень	
11.	Оцінювання	1 тиждень	
12.	Аналіз потенційних небезпек.	1 тиждень	

Студент

[підпис]
(підпис)Захарова М.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

[підпис]
(підпис)Костенко В.О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 117 с, 47 рис., 11 табл., 28 источников

Объектом исследования является беспроводная сеть мобильных станций (МС) объединенных в группу на ограниченном участке местности.

Предметом исследования является групповой поллинг системы мониторинга за МС группы.

Цель работы и задачи исследования. Цель работы состоит в определении влияния применяемого метода коллективного доступа к среде на характеристики поллинга в беспроводных сетях мониторинга за МС группы и исследовании характеристик опроса с учетом, в частности, зависимости от расстояния между главным узлом и МС и от помех, создаваемых соседними МС.

Методы исследования. В работе использованы методы теории сетей связи, теории вероятностей и математической статистики, теории массового обслуживания и методы имитационного моделирования.

Научная новизна результатов:

1. Показана эффективность применения метода коллективного доступа к среде передачи данных с централизованной координацией (PCF) для поллинга при работе группы МС в стандарте IEEE 802.11n.
2. Построена и исследована математическая модель системы поллинга для мониторинга за МС группы на ограниченном участке местности.
3. Разработана программная модель для симуляции в Riverbed Modeler взаимодействия МС группы, позволяющая тестировать поллинг в группе МС, использующей для совместной работы стандарт IEEE 802.11n.

СОТОВАЯ СВЯЗЬ, БАЗОВАЯ СТАНЦИЯ, МОБИЛЬНАЯ СТАНЦИЯ, УЗЕЛ СЕТИ, ТОЧКА ДОСТУПА, ПОЛЛИНГ, ПАКЕТ ДАННЫХ, ПРОТОКОЛ, СТАНДАРТ

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1 АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ НА ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЕ	13
1.1 Возникновение локальной перегрузки сотовой сети	13
1.2 Способы решения проблемы локальной перегрузки.....	14
1.3 Актуальность исследования взаимодействия между головным узлом и мобильными станциями группы	16
1.4 Схема взаимодействия и выбор технологии связи между головным узлом и мобильными станциями группы.....	17
1.5 Постановка задач на исследование процесса взаимодействия между головным узлом и мобильными станциями группы.....	20
2 КОЛЛЕКТИВНЫЙ ДОСТУП К СРЕДЕ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕМЕЙСТВЕ СТАНДАРТОВ IEEE 802.11 ПРИ ПОЛЛИНГЕ	24
2.1 Семейство стандартов IEEE 802.11	24
2.2 Стандарт IEEE 802.11n	31
2.3 Распределенная функция координации (DCF).....	33
2.4 Функция централизованной координации (PCF).....	38
2.5 Классификация и характеристики систем поллинга	42
3 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕТИ.....	46
4 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ.....	58
4.1 Обзор ПО для имитационного моделирования сети	58
4.1.1. Cisco Packet Tracer.....	59
4.2.2. NetCracker Professional.....	61
4.2.3 Riverbed Modeler.....	62
4.3 Сравнительная характеристика программного обеспечения для имитационного моделирования	66
4.4 Моделирование заданной сети	67

4.4.1 Исследование влияния расстояния между главным узлом и одной мобильной станцией	69
4.4.2 Исследование влияния количества обслуживаемых главным узлом мобильных станций.....	76
4.4.3 Исследование влияния размеров зоны нахождения мобильных станций в группе	78
4.4.4 Сравнение результатов имитационного моделирования с математической моделью	81
5 ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО РЫНКА СОТОВОЙ СВЯЗИ УКРАИНЫ	83
5.1 Важность мобильной связи на сегодняшний день	83
5.2 Особенности рынка сотовой связи Украины	84
5.3 Расчет затрат на реализацию проекта	88
5.4 Балльная оценка экономической эффективности проекта	92
6 ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.....	97
6.1 Анализ потенциальных опасностей	97
6.2 Мероприятия по обеспечению техники безопасности.....	98
6.3 Мероприятия по производственной санитарии и гигиене труда	101
6.4 Мероприятия по пожарной безопасности	105
6.5 Мероприятия по обеспечению безопасности в ЧС.....	108
ВЫВОДЫ	113
ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК.....	115

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БС	– Базовая станция
МС	– Мобильная станция
ПБС	– Передвижная базовая станция
ПК	– Персональный компьютер
ПО	– Программное обеспечение
СПД	– Система передачи данных
ЦО	– Головной узел
АСК	– Acknowledgement – Пакет подтверждения
AIFS	– Arbitrary Interframe Spacing – Произвольное межкадровое расстояние
AP	– Access Point – Точка доступа
BSS	– Basic Service Set – Базовый или основной набор сервисов
CP	– Contention Period – Период условности
CFP	– Contention-Free Period – Бесконфликтный период
CSMA/CA	– Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance – метод множественного доступа с контролем несущей частоты и избеганием коллизий
CW	– Contention Window – Конфликтное окно
DCF	– Distributed Coordination Function – Функция распределенной координации
DIFS	– DCF Interframe spacing – Интервал между кадрами DCF
DSSS	– Direct Sequence Spread Spectrum – Спектр распространения прямой последовательности
EDCF	– Extended DCF – расширение DCF
EIFS	– Extended Interframe Space – используется станциями после ошибочного приема фрейма
ESS	– Extended Service Set – Расширенный набор сервисов

FHSS	– Frequency Hopping Spread Spectrum – Метод частотных скачков
GUI	– Графический интерфейс
HCF	– Hybrid Coordination Function – Гибридная функция координации
ID	– Идентификатор
IBSS	– Independent Basic Service Set – Независимый базовый сервисный набор
IFS	– Interframe Space – Межкадровое пространство
IMEI	– International mobile station equipment identity – Идентификация оборудования международной мобильной станции
IP	– Internet Protocol – Протокол Интернета
ISO/OSI	– International Standard Organization/Open Systems Interconnection – модель взаимодействия открытых систем
LAN	– Local Area Network – Локальная вычислительная сеть
LLC	– Logical Link Control – Управления логической связью
LTE	– Long-Term Evolution – Стандарт связи четвертого поколения
MAC	– Media Access Control – Управления доступом к носителю
MANET	– Mobile Ad hoc Network – Беспроводные децентрализованные самоорганизующиеся сети
MIMO	– Multiple Input Multiple Output – Многоканальный ввод/вывод
NIC	– Network Interface Card – Беспроводная сетевая карта
PCF	– Point Coordination Function – Функция централизованной координации
PDU	– Protocol Data Unit – Блок протокольных данных
PHY	– Physical layer – Физический уровень
PIFS	– PCF Interframe Space – Межфреймовое пространство PCF
PLCP	– Physical Layer Convergence Protocol – Протокол конвергенции физического уровня

PMD	– Physical Medium Dependent – Подуровень PHY
R&D	– Research and Development – Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
SIFS	– Short Interframe Space – Короткое межкадровое пространство
QAM	– Quadrature Amplitude Modulation – Модуляция методом Квадратичных Амплитуд
QoS	– Quality of Service – Качество обслуживания
RET	– Remote Electrical Tilt – Управлением углом наклона диаграммы направленности
WLAN	– Wireless Local Area Network – Беспроводная локальная сеть

ВВЕДЕНИЕ

Быстрый темп развития современных коммуникаций и высокий уровень конкуренции на рынке связи, требует от мобильных операторов предоставлять своим абонентам качественное обслуживание, то есть обеспечить передачу любого вида информации в любое время в любом месте любому пользователю при этом, не забывая о качестве обслуживания. Именно качество обслуживания зависит от того, насколько сеть устойчива к разного рода нагрузкам и перегрузкам. Поэтому актуальной является задача быстрого реагирования и превентивного применения различного рода мероприятия, которые могли бы предупреждать появления перегрузок в определенных сегментах сети. Это способствует развитию в науке направления, занимающемуся прогнозированием возможных перегрузок в сетях мобильной связи, которые могут возникнуть на базовых станциях (БС), в случае массового скопления абонентов в пределах ее действия.

Среди известных методов и способов прогнозирования перегрузок есть такие, которые основываются на контроле движения потока абонентов. Многие предложения используют геолокацию клиента, которая постоянно обновляется, строятся маршруты передвижения и отслеживаются его закономерности.

Существенным недостатком такого подхода является то, что все вышеперечисленные действия по постоянному обновлению геолокационных данных абонента связаны с занятостью радиоканала между базовой станцией и мобильной. Осуществление такого мониторинга за каждой в отдельности мобильной станцией (МС) может привести к тому, что на сеть сигнализации ляжет огромная нагрузка. Поэтому одним из способов уйти от этого является объединение попутно следующих абонентов в отдельную группу под руководством лидера, который будет передавать информацию системе мобильной связи о миграции и составе всей группы.

Для такого подхода требуется углубленное изучение механизмов взаимодействия между МС лидера и остальными МС группы. Подобные механизмы рассматривались для организации связи MANET сетей и сетей, используемых для военного применения по иерархическому управлению внутри войсковых подразделений. Однако ряд отличий от классической беспроводной самоорганизующейся сети и появление новых технологий, обеспечивающих передачу данных приводят к необходимости дополнительного изучения взаимодействия между МС группы.

Для организации связи с целью взаимодействия МС в группе нужно учитывать современный уровень развития абонентских терминалов. На сегодняшний день любой смартфон может не только иметь доступ к сети Интернет, а и выступать точкой доступа для других смартфонов. Это открывает новые возможности. Особенность этой функции заключается в разнообразии технологий, с помощью которых это можно реализовать (Wi-Fi, Bluetooth). В данной работе для мониторинга миграции абонентов, относящихся к группе, предлагается использовать технологию стандарта IEEE 802.11n, что позволит разгрузить радиоканалы сети сотовой связи.

Эффективность применения стандарта IEEE 802.11n для обеспечения связи при взаимодействии между МС в группе, во многом будет зависеть от используемого метода коллективного доступа к среде передачи данных. Поэтому крайне важно исследовать влияние применяемого метода коллективного доступа к среде на характеристики опроса (поллинга) в зависимости от расстояния между главным узлом и МС и от помех, создаваемых соседними МС группы. Этому и посвящена данная работа.

В первом разделе приводится анализ существующих на данный момент решений, которые применяются на массовых мероприятиях, схема взаимодействия и выбор технологии связи между МС группы. На основании этого ставятся задачи на проведение исследований. Во втором разделе детально рассмотрены механизмы коллективного доступа к среде передачи данных в семействе стандартов IEEE 802.11 и их особенности при групповом

поллинге. В третьем разделе построена математическая модель и определены оцениваемые показатели сети. В четвертом разделе для имитационного моделирования описывается процесс выбора симуляционного программного пакета и создание программной модели, реализующей в Riverbed Modeler, поллинг группы МС в стандарте IEEE 802.11n. Пятый раздел дает экономическую оценку проделанной работы. Шестой раздел посвящен вопросам охраны труда и безопасности жизнедеятельности.

1 АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ НА ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЕ

1.1 Возникновение локальной перегрузки сотовой сети

Какими бы быстрыми темпами не развивались технологии сотовой связи, всегда остается вероятность массового скопления абонентов на спортивные мероприятия, массовые гуляния на праздниках, митинги и т.д. (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Пример скопления абонентов в период массовых мероприятий

В таких местах возникают ситуации, когда абонент не может осуществить звонок, либо загрузить через мобильный Интернет интересующий его контент. То есть в пределах определенного фрагмента местности наступает локальная перегрузка сотовой сети. Во-первых, это проблема сотового оператора, который теряет доход и репутацию из-за не предоставления услуг.

Помимо имиджа компании, которая предоставляет услуги сотовой связи, в неприятном положении оказывается и сам абонент. Ведь, кроме развлекательных целей, последний использует свой телефон для решения важ-

ных вопросов (звонок о месте нахождения интересующих людей, вызов сервисов обслуживания, необходимых в данный момент, и, самое главное, просьба о помощи).

1.2 Способы решения проблемы локальной перегрузки

Решением данной проблемы активно занимаются существующие компании сотовой связи. Неоднократно можно увидеть, когда сотрудники операторов за день до мероприятия возводят ПБС (передвижные базовые станции), которые помогают разгрузить сеть в определенном месте. При этом используют многолучевые антенны, которые дают возможность «собирать трафик» с МС (мобильных станций) на обширной территории массового скопления людей (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Передвижная базовая станция на массовом мероприятии

Так же для борьбы с перегрузками есть еще один способ – использование антенны с системой RET (Remote Electrical Tilt – управлением углом наклона диаграммы). Данный способ позволяет удаленно конфигурировать вертикаль антенны, что в свою очередь предоставляет возможность регулировать качество предоставляемых сервисов в зависимости от количества абонентов. При этом он обеспечивает наличие непрерывной зоны обслуживания с требуемым качеством и мягким переключением между сотами в густонаселенных зонах со сложной городской застройкой. Реализация упомянутого способа приводит к появлению "дышащих" сот, когда размер соты изменяется в зависимости от загруженности каналов сети, из чего вытекает необходимость управления зонами обслуживания базовых станций в масштабе времени, близком к реальному.

Кроме перечисленных выше известно еще достаточно много способов борьбы с локальными перегрузками сети [1-3]. Однако их множество ограничивается тем, что они направлены на решение проблемы локальной перегрузки сети только в определенных местах и с заранее известными ситуациями. В случае, если абоненты массово направляются по маршруту, который оператор мобильной связи «не предугадал», то сеть будет не готова к подобной нагрузке и тогда возможна ее локальная перегрузка.

Для решения этой проблемы нужны превентивные меры, которые позволят осуществить прогноз и заблаговременно известят оператора о возможной перегрузке для принятия им адекватных действий. К таким мерам можно отнести способы прогнозирования, предложенные в [4-5]. Так же известен способ [6], позволяющий осуществлять прогноз локальной перегрузки, путем контроля движения потока абонентов к аттрактору с учетом их мобильности в соте-кандидате на перегрузку и соседних сотах. При этом для уменьшения нагрузки на управление сетью в этом способе было предложено объединение абонентов в отдельные группы (кластеры) под руководством лидера (главного узла), назначаемого непосредственно системой.

Для такого способа прогноза очень важна оптимальная организация взаимодействия между мобильным главным узлом и мобильными станциями группы.

1.3 Актуальность исследования взаимодействия между головным узлом и мобильными станциями группы

В упомянутой работе [6] было предложено организовать взаимодействие между мобильной станцией лидера и станциями группы по такому же принципу, как это сделано в MANET сетях. Это связано с тем, что такая сеть внутри группы будет обладать рядом классических свойств беспроводной самоорганизующейся сети:

- существует ограниченное время;
- имеет малый объём передачи служебных данных;
- обладает невысоким радиусом действия передатчиков мобильных станций.

Процесс взаимодействия между узлами в подобных сетях, применяемых для организации связи в условиях операций при ведении боевых действий, изучался давно. После изобретения самоорганизующихся MANET сетей этому вопросу стали уделять еще большее внимание. Это было обусловлено тем, что такие сети могут применяться для передачи информации при достаточном количестве абонентов.

В тоже время, предложенная в [6] внутригрупповая сеть отличается от классической беспроводной самоорганизующейся сети процедурой выбора лидера, который назначается непосредственно системой на основании ряда критериев:

- имеет наилучшие технические показатели;
- находится неподалёку от центра виртуальной зоны (кластера);
- имеет достаточный запас питания для выполнения возложенных функций.

С учетом выше сказанного возникает острая необходимость исследования процесса взаимодействия между головным узлом, который назначается системой по ряду критериев, и мобильными станциями группы. Это и определяет актуальность данной работы.

Для постановки задач на исследование процесса взаимодействия между узлами предложенной внутригрупповой сети необходимо определиться с технологией обеспечивающей связь между этими узлами.

1.4 Схема взаимодействия и выбор технологии связи между головным узлом и мобильными станциями группы

Для выбора технологии обеспечивающей связь между головным узлом и мобильными станциями группы стоит детальнее рассмотреть процесс взаимодействия между ними, предложенный в [6].

В соответствии с описанием способа абоненты беспроводной сети делится на отдельные группы, что в дальнейшем упростит процесс мониторинга МС и уменьшит нагрузку на систему управления сети. В каждой группе есть головной узел ($ЦО_j$) который мониторит все МС своей группы (рисунок 1.3). Таким образом, головной узел, назначенный системой, следит за состоянием своей группы. С определенной периодичностью опрашивая узлы, он собирает информацию о количестве и местоположении МС, которые прибыли в группу и покинули ее, чтобы вовремя сообщить через БС (базовую станцию) системе данные о составе и местоположении группы. Используя данные о количестве абонентов в подобных группах, их местоположении на отдельных улицах и скорости передвижения по ним, система делает предположение о времени и месте возможной перегрузки фрагмента сети мобильной связи.

Мониторинг за всеми МС выполняется на основании следующего алгоритма [7]. После назначения $ЦО_j$ отправляет запрос в виде широковещательного HELLO-пакета всем МС группы, расположение и размерность ко-

торой ограничено размерностью зоны (кластера). Такая зона является виртуальной, т.к. ее размер и географическое местоположение может изменяться в зависимости от ситуации. В свою очередь, на широковещательный запрос HELLO-пакетом от головного узла, МС группы отвечают, сообщением своего уникального международного идентификатора мобильного оборудования (IMEI – international mobile station equipment identity) и геокоординат своего месторасположения.

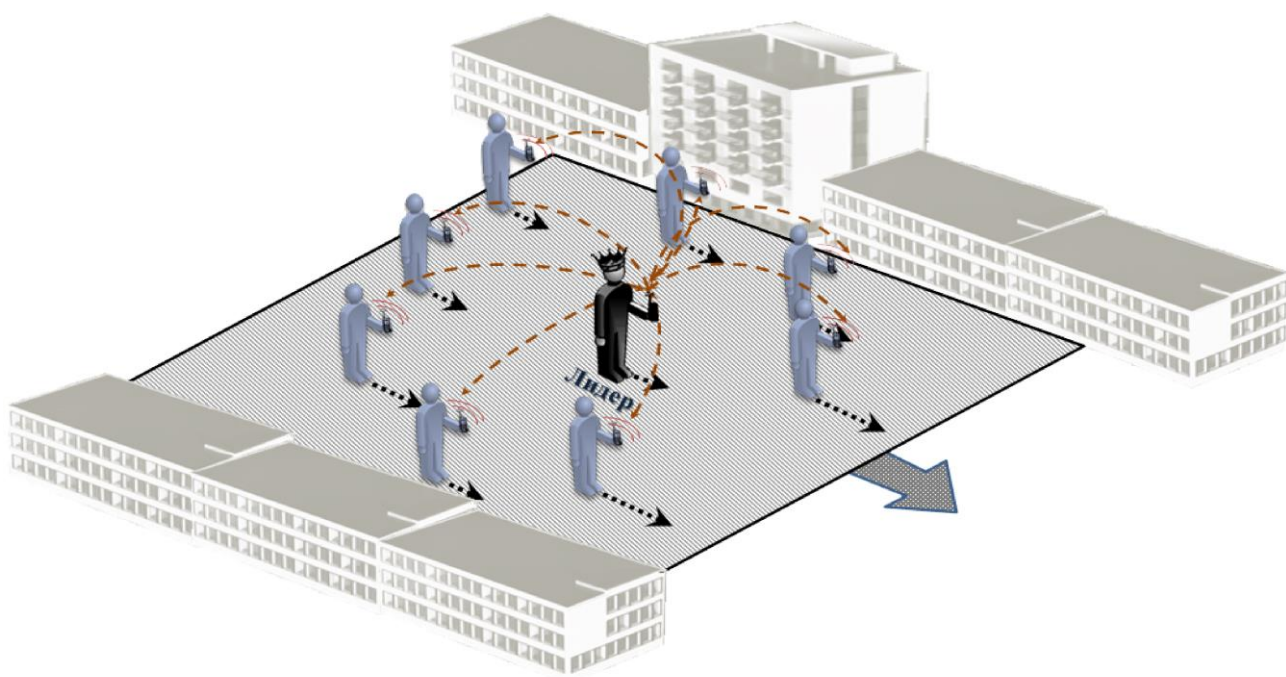


Рисунок 1.3 – Схема взаимодействия между головным узлом и мобильными станциями группы

На основании полученных данных МС получают от головного узла уникальный идентификатор группы, например, вида $ID_i = \langle ID_z, ID_n \rangle$, где ID_z – номер виртуальной зоны (кластера) на отдельной улице, ID_n – номер МС в виртуальной зоне. Причём МС, которые находятся ближе к ЦО_j принимают меньшее значение ID_n .

В дальнейшем ЦО_j путём повторных опросов контролирует наличие МС и при необходимости делает корректировку их ID_i . После окончания

очередного цикла опроса всех МС группы, головной узел передает базовой станции обновленные данные о составе и местоположении группы.

Вследствие этого мониторинг положения головного узла даёт представление о скорости и мощности всех абонентов его кластера. Такой способ передачи данных системе через БС о нескольких МС более энергоэффективен и менее ресурсозатратный, чем, если бы БС отслеживала каждую МС в отдельности.

Для реализации работы такого мониторинга МС группы возможны различные варианты организации связи беспроводных сетей на основе актуальных на данный момент технологий, общие сведения о которых приведены в таблице 1.1 [8-9].

Таблица 1.1 – Общие сведения о наиболее актуальных стандартах беспроводной сети передачи данных.

	Bluetooth	ZigBee	Wi-Fi
Рабочая частота	2,4 ГГц	2,4 ГГц	2,4/5 ГГц
Скорость передачи данных	721 кбит/с	250 кбит/с	min: 11 Мбит/с; max: 600 Мбит/с
Дальность связи, м	100, 10, 1	200	100
Потребление тока, active мА/ sleep мкА	70/2	30/1	450
Модуляция, доступ к среде	FHSS	DSSS	DSSS
Максимальное количество узлов	8	100 и более	128

Учитывая работу алгоритма мониторинга за МС группы со стороны головного узла, объем передаваемой информации, возможное количество МС в группе, дистанцию между ними и головным узлом, предлагается, для организации связи, при взаимодействии головного узла и МС группы, использовать технологию Wi-Fi стандарта IEEE 802.11n.

Определившись с технологией организации связи в сети группы, можно перейти к постановке задач на проведение исследований процесса взаимодействия между головным узлом и мобильными станциями.

1.5 Постановка задач на исследование процесса взаимодействия между головным узлом и мобильными станциями группы

Для предложенного в [6] алгоритма, более точное определение эффективности и оптимальная организация взаимодействия между мобильным главным узлом и мобильными станциями группы возможны при известных временных зависимостях прохождения Hello-пакета по узлам сети в соответствии с различными сценариями их поведения.

Как известно, одной из составляющих, влияющих на время прохождения пакетов по узлам сетей семейства стандартов IEEE 802.11, является используемый метод коллективного доступа к среде передачи данных. Поэтому есть смысл рассматривать задачи на исследования в контексте именно этого направления.

Тогда с этой целью в работе необходимо решить ряд задач.

1) Так как базовой характеристикой является время прохождения пакета за один сеанс связи без помех (в идеальных условиях), то необходимо определить, как изменяются временные характеристики прохождения Hello-пакета от главного узла к одной МС и получения от нее ответа в зависимости от расстояния между главным узлом и мобильной станцией при неработающих остальных МС группы (рисунок 1.4).

2) В связи с тем, что в реальных условиях прохождение пакета за сеанс связи сопровождается помехами (в том числе и от соседних станций), то необходимо определить временные характеристики при прохождении Hello-пакета от главного узла к одной МС и получения от нее ответа в зависимости от количества обслуживаемых главным узлом мобильных станций, которые активны и работают в этой группе (рисунок 1.5).

Для этого необходимо провести моделирование процесса прохождения Hello-пакета для различных методов коллективного доступа: распределенной (DCF) и централизованной (PCF) функций координации доступом.

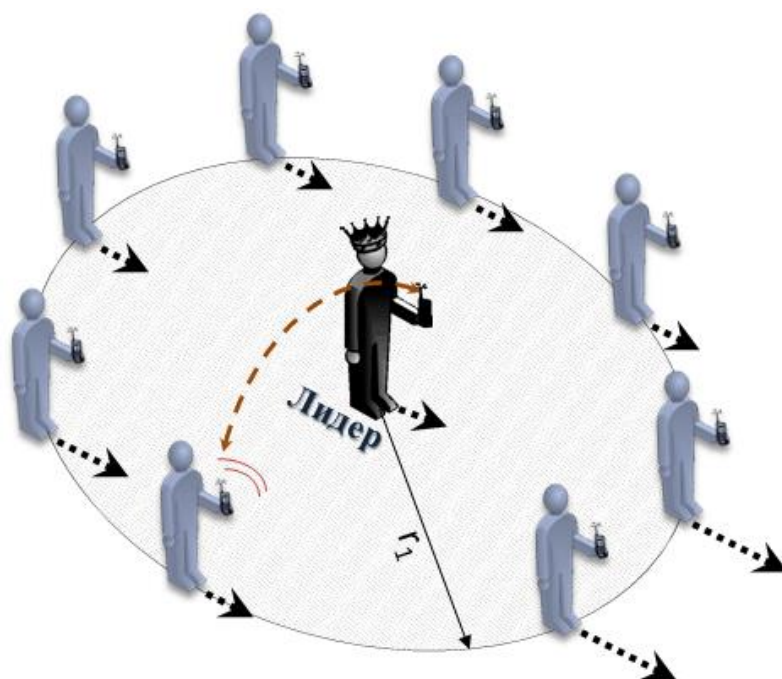


Рисунок 1.4 – Взаимодействие главного узла и одной МС в идеальных условиях

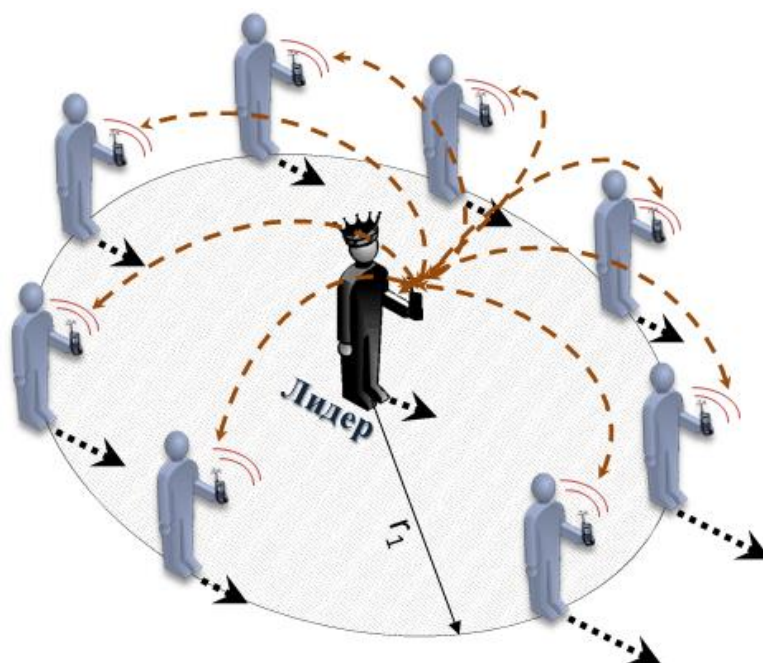


Рисунок 1.5 – Взаимодействие главного узла и одной МС в условиях помех от соседних станций, находящихся на одинаковом расстоянии от лидера

3) Если учесть тот факт, что в рассматриваемом алгоритме $ЦО_j$ на основании ранжирования по расстоянию, присваивает соответствующий ID_n МС, которые работают в реальных условиях (с помехами от соседних станций), то необходимо исследовать временные характеристики при прохождении Hello-пакета от главного узла к одной МС и получения от нее ответа, в зависимости от расстояния между ними и количества обслуживаемых главным узлом мобильных станций (рисунок 1.6). Моделирование этого процесса также лучше провести для распределенного (DCF) и централизованного (PCF) методов коллективного доступа.

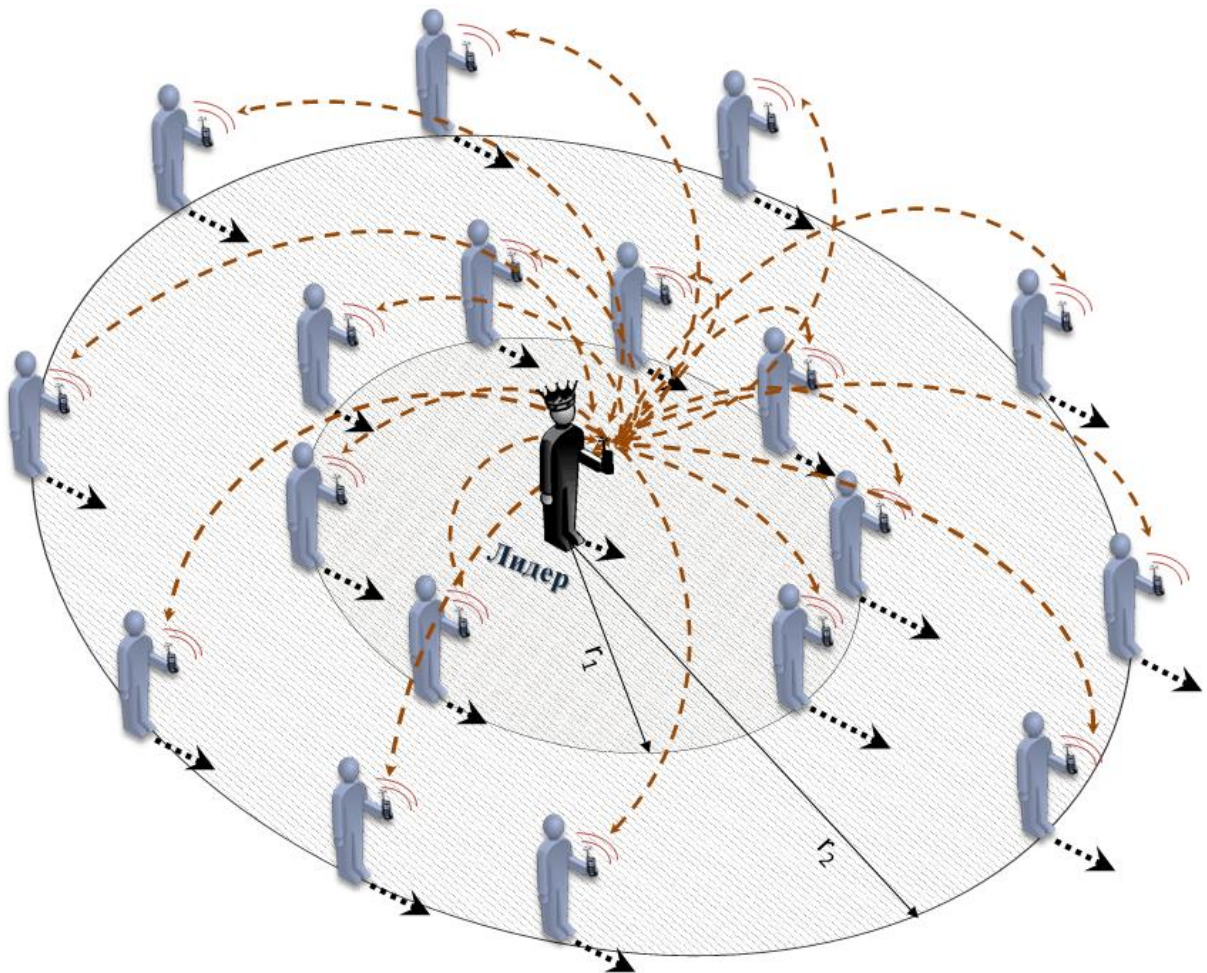


Рисунок 1.6 – Взаимодействие главного узла и мобильных станций при разных расстояниях между ними

Таким образом, поставлена задача построить модели сети, работающей на технологии стандарта IEEE 802.11n и исследовать базовые характеристики взаимодействия мобильного главного узла с МС группы в пределах географически ограниченной зоны при различных сценариях их поведения и условиях работы.

Построение заданных моделей возможно после детального рассмотрения методов коллективного доступа к среде передачи данных в семействе стандартов IEEE 802.11 при опросе (поллинге).

2 КОЛЛЕКТИВНЫЙ ДОСТУП К СРЕДЕ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕМЕЙСТВЕ СТАНДАРТОВ IEEE 802.11 ПРИ ПОЛЛИНГЕ

2.1 Семейство стандартов IEEE 802.11

Стандарт IEEE 802.11 является базовым стандартом и определяет протоколы, необходимые для организации *беспроводных локальных сетей* (WLAN).

Этот стандарт подразумевает использование оборудования, которое оснащено беспроводным адаптером (*беспроводной сетевой картой* – Network Interface Card, NIC) и осуществляет обмен информацией между устройствами посредством передачи ее по радиоканалу.

Стандарты IEEE 802.11 предусматривают следующие режимы работы беспроводных сетей:

- режим «Ad Hoc»;
- клиент/сервер (Infrastructure Mode).

В режиме Ad Hoc (Independent Basic Service Set, IBSS) или режиме Peer to peer (точка-точка) все узлы (компьютеры, смартфоны либо станции), взаимодействуют непосредственно друг с другом (рисунок 2.1). При таком режиме работы создание инфраструктуры нецелесообразно. Наиболее важными недостатками этого режима является ограниченный радиус действия организованной сети и проблемы с маршрутизацией для передачи информации за пределы зоны расположения узлов.

В режиме клиент/сервер (Infrastructure Mode) все узлы сети взаимодействуют друг с другом через точку доступа (Access Point, AP), а не напрямую, как в режиме Ad Hoc. Точка доступа – программно-аппаратное устройство, выполняющее роль распределителя информации между клиентами беспроводной сети и дополнительно обеспечивающее обмен ею с внешней сетью.



Рисунок 2.1 – Взаимодействие беспроводных устройств в режиме Ad Hoc

Существует два варианта взаимодействия узлов с точками доступа:

- базовый или основной набор сервисов (Basic Service Set, BSS);
- расширенный набор сервисов (Extended Service Set, ESS).

При BSS (рисунок 2.2) все станции связываются с одной точкой доступа, которая так же выполняет функцию моста с внешней СПД (сетью передачи данных). В расширенном режиме ESS инфраструктура сети объединяет несколько BSS. В таком случае точки доступа взаимодействуют между собой по LAN (через кабельную сеть или через радиомост), что, в свою очередь, позволяет передавать трафик от станции, обслуживаемой одной точкой доступа BSS до станции, обслуживаемой другой точкой доступа и во внешнюю сеть передачи данных (рисунок 2.3).

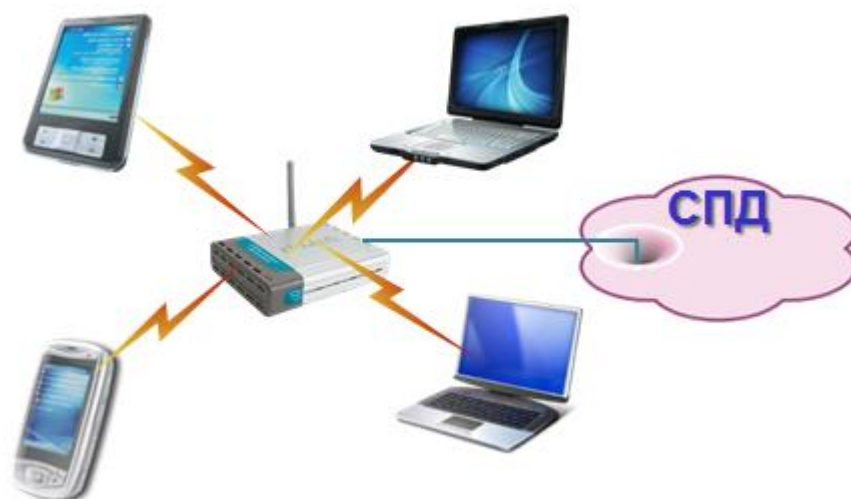


Рисунок 2.2 – Взаимодействие узлов связи в режиме клиент/сервер (Infrastructure Mode) в режиме BSS.

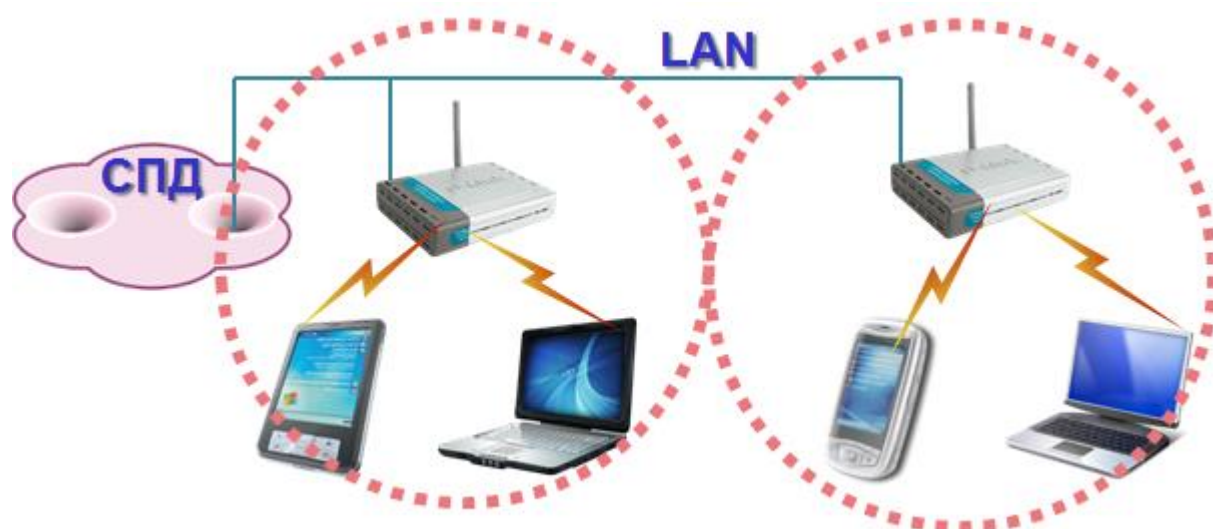


Рисунок 2.3 – Взаимодействие узлов связи в режиме клиент/сервер (Infrastructure Mode) в расширенном режиме ESS.

Необходимо отметить, что сетевые приложения, операционные системы, протоколы могут так же хорошо работать в сети IEEE 802.11, как и в Ethernet. В связи с этим стандарты IEEE 802.11 определяют работу беспроводной сети лишь на двух нижних уровнях модели ISO (International Organization for Standardization)/OSI (Open Systems Interconnection) – физическом и канальном (рисунок 2.4).

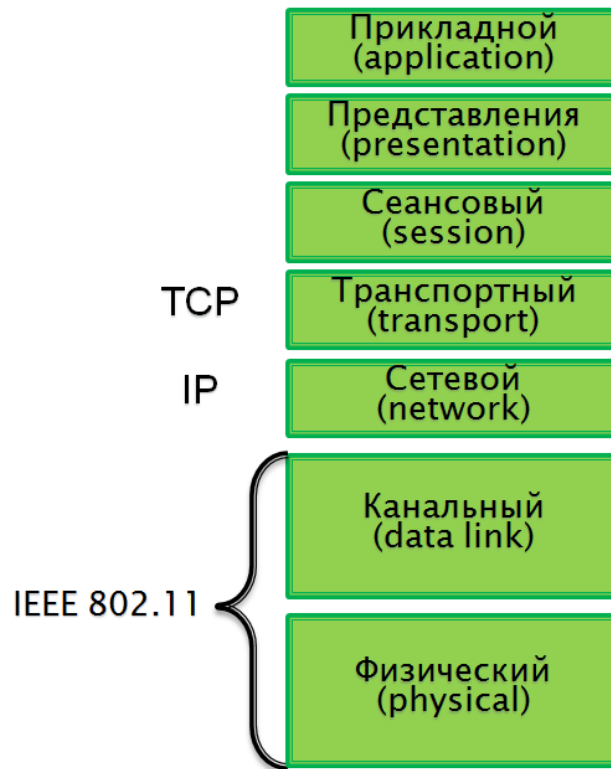


Рисунок 2.4 – Соответствие семейства стандартов IEEE 802.11 уровням модели ISO/OSI

Оба этих уровня имеют особенности из-за потерь пакетов вследствие помех и коллизий, а также того, что передача информации через беспроводную среду сопряжена с опасностью несанкционированного доступа. Поэтому стандарт IEEE 802.11 включает в себя описание физического уровня (PHY) и уровня управления доступом к среде (MAC) (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Уровни модели ISO/OSI и соответствующие подуровни в стандартах IEEE 802.11

Физический уровень (PHY) в семействе стандартов IEEE 802.11, разделен на два подуровня PLCP и PMD.

PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) – подуровень, который выполняет процедуру отображения модуля данных протокола (Protocol Data Unit, PDU) подуровня MAC во фрейм формата DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) и FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). Эта процедура выполняет передачу, обнаружение несущей и прием сигнала.

Стоит обратить внимание на то, что для расширения спектра сигнала и его защиты от искажений данных и помех на физическом уровне в стандарте IEEE 802.11 используется один из методов передачи сигналов: прямой последовательности DSSS или метод частотных скачков FHSS. Совместное применение этих методов невозможно, так как эти методы не имеют совместимости друг с другом. Новые технологии применения широкополосного сигнала, которые используются в радиочастотных методах, увеличивают надежность и пропускную способность.

PMD (Physical Medium Dependent) – подуровень, зависящий от среды передачи данных. Он обеспечивает данные и сервис для подуровня PLCP и функции радиопередачи, приема, результатами которых являются поток данных, информация о времени приема, параметры приема. Основным рабочим состоянием PLCP является обнаружение несущей и оценка занятости канала. Для выполнения передачи PLCP переключает PMD из режима «Прием» в режим «Передача».

Канальный уровень стандартов IEEE 802.11, так же, как и физический, разделен на два подуровня:

- LLC (Logical Link Control) – управления логической связью;
- MAC (Media Access Control) – управления доступом к носителю.

В сетях стандартов IEEE 802.11 используется тот же LLC и 48-битовая адресация, что и в других сетях семейства стандартов IEEE 802.x. Это дает возможность легко объединять беспроводные и проводные сети.

Вопросы, которые касаются регулирования совместного использования среды передачи данных узлами беспроводной сети, решаются на уровне доступа к среде передачи данных (MAC-уровне). Очевидно, что должны существовать определенные регламентирующие правила совместного использования среды. Если каждый узел беспроводной сети, не соблюдая правил, будет передавать данные в эфир, то в результате интерференции нескольких таких сигналов узлы, для которых предназначалась отправленная информация, не только не смогут ее получить, но и понять, что данная информация была предназначена им. Описанная выше ситуация указывает на необходимость существования жестких регламентирующих правил, которые определяют коллективный доступ к среде передачи данных.

Для имплементации таких правил в семействе стандартов IEEE 802.11 на MAC уровне определяются следующие типы коллективного доступа к среде передачи данных (рисунок 2.6):

- DCF – Distributed Coordination Function – функция распределенной координации;
- EDCF – Extended DCF – расширение DCF;
- PCF – Point Coordination Function – функция централизованной координации;
- HCF – Hybrid Coordination Function – гибридная функция координации [10].

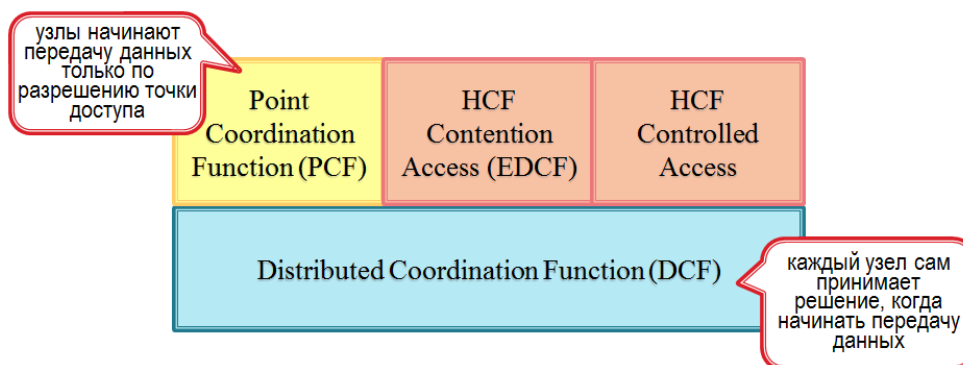


Рисунок 2.6 – Типы коллективного доступа к среде передачи данных в стандарте IEEE 802.11

Каждый приведенный выше способ управления совместным доступом к среде, при передаче кадров данных предусматривает использование определенных временных интервалов, во время которых передача излучения от станций запрещена. Эти временные интервалы между кадрами – (Interframe Space, IFS) не дают начать передачу пока не закончится время простоя, при этом уменьшая вероятность столкновения станций. Временные интервалы описаны для MAC-уровня в стандартах IEEE 802.11:

- SIFS – Short Interframe Space – самый короткий интервал. Используется в определенных последовательностях обмена кадрами, в частности отправка кадра ACK (ACKnowledgment) в ответ на успешный прием кадра данных (длительность этого промежутка обусловлена физическим уровнем – за промежутком SIFS система должна успеть переключиться из приема на передачу и наоборот);

- PIFS – станции используют его в режиме централизованной координации;

- DIFS – станции используют его в режиме DCF;

- AIFS – используется станциями в расширенном режиме DCF – EDCF;

- EIFS (Extended Interframe Space) – используется станциями после ошибочного приема фрейма.

На сегодняшний день в беспроводных сетях наиболее часто используется одна из последних модификаций стандарта IEEE 802.11 - 802.11n. Устройства, работающие в соответствии со спецификациями этого стандарта, достигают значительно большей производительности по сравнению с предыдущими технологиями IEEE 802.11a, 802.11b и 802.11g. Рассмотрим этот стандарт более подробно.

2.2 Стандарт IEEE 802.11n

При использовании устройств стандарта IEEE 802.11n, крайне важно понять, какие именно усовершенствования были реализованы в этом стандарте, на что они влияют, а также как они совмещаются и сосуществуют с сетями устаревшего стандарта IEEE 802.11a/b/g беспроводных сетей. Важно понять, какие именно дополнительные особенности стандарта IEEE 802.11n реализованы и поддерживаются в новых беспроводных устройствах.

Усовершенствования в стандарте IEEE 802.11n коснулись изменению на канальном и физическом уровнях. На канальном MAC-уровне реализовано более эффективное использование доступной пропускной способности. На физическом уровне (PHY) реализована улучшенная обработка сигнала и модуляции, добавлена возможность одновременной передачи сигнала через четыре антенны. Вместе эти усовершенствования позволяют увеличить теоретическую скорость передачи данных до 600 Мбит/с – увеличение более чем в десять раз, по сравнению с 54 Мбит/с стандартов IEEE 802.11a/g (в настоящее время эти устройства уже считаются устаревшими).

Одним из основных моментов стандарта IEEE 802.11n является поддержка технологии многоканального входа/выхода (Multiple Input Multiple Output, MIMO). С помощью технологии MIMO реализована способность одновременного приема/передачи нескольких потоков данных через несколько антенн, вместо одной.

Стандарт IEEE 802.11n определяет различные антенные конфигурации « $M \times N$ », начиная с « 1×1 » до « 4×4 » (самые распространенные на сегодняшний день это конфигурации « 3×3 » или « 2×3 »). Первое число (M) определяет количество передающих антенн, а второе число (N) определяет количество приемных антенн. Например, точка доступа с двумя передающими и тремя приемными антеннами является « 2×3 » MIMO-устройством.

Чем больше устройство поддерживающее стандарт IEEE 802.11n использует антенн для одновременной работы передачи/приема, тем будет вы-

ше максимальная скорость передачи данных. Однако, само по себе использование нескольких антенн не увеличивает скорость передачи данных или расширение диапазона. Основным в устройствах, поддерживающих стандарт IEEE 802.11n является то, что в них реализован усовершенствованный метод обработки сигнала, который и определяет алгоритм работы MIMO-устройства при использовании нескольких антенн».

Конфигурация «4x4» при использовании модуляции 64-QAM обеспечивает скорость до 600 Мбит/с, конфигурация «3x3» при использовании модуляции 64-QAM обеспечивает скорость до 450 Мбит/с, в то время как конфигурации «2x3» и «1x2» обеспечат скорость до 300 Мбит/с.

Другой дополнительной особенностью стандарта IEEE 802.11n является увеличение ширины канала с 20 до 40 МГц.

В беспроводных сетях используются два частотных диапазона 2.4 ГГц и 5 ГГц. Беспроводные сети стандарта 802.11b/g работают на частоте 2.4 ГГц, сети стандарта 802.11a работают на частоте 5 ГГц, а сети стандарта 802.11n могут работать как на частоте 2.4 ГГц, так и на частоте 5 ГГц.

В полосе частот 2.4 ГГц для беспроводных сетей семейства стандартов IEEE 802.11 доступны 13 каналов с интервалами 5 МГц между ними. Для передачи сигнала беспроводные устройства стандарта используют каналы шириной 20 МГц. При этом такое беспроводное устройство фактически задействует 5 пересекающихся каналов. Например, если точка доступа использует канал 6, то она оказывает значительные помехи на каналы 5 и 7, а также оказывает помехи на каналы 4 и 8. Когда происходит передача данных устройством, беспроводной сигнал отклоняется от центральной частоты канала ± 11 МГц. В некоторых случаях происходит отклонение энергии радиочастоты до 30 МГц от центрального канала. Для исключения взаимных помех между каналами необходимо, чтобы их полосы отстояли друг от друга на 25 МГц. Таким образом, остается всего 3 непересекающихся канала на полосе 20 МГц: 1, 6 и 11.

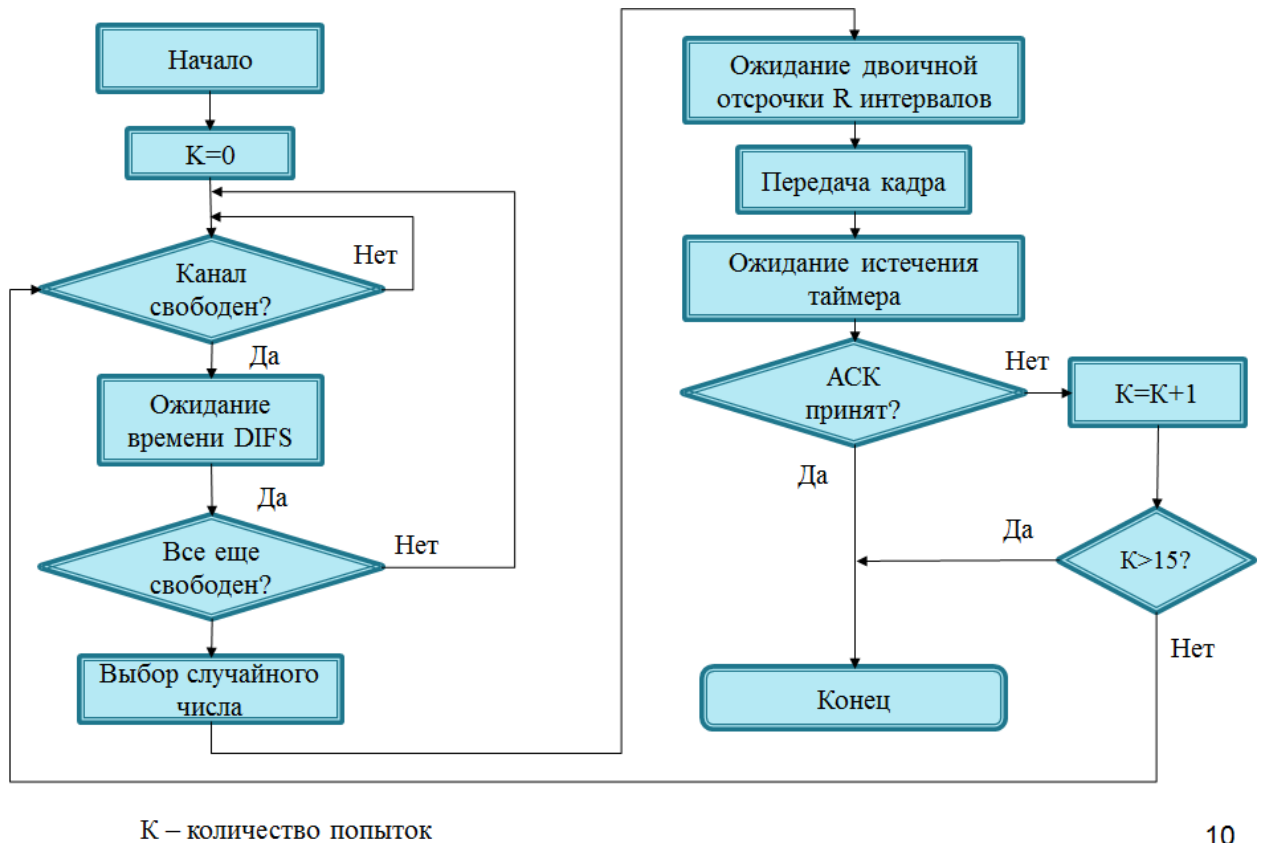
Беспроводные точки доступа, работающие в полосе частот 2.4 ГГц, в пределах одной покрываемой зоны обслуживания должны избегать перекрытия каналов для обеспечения качества беспроводной сети.

В реальности, производительность беспроводной сети зависит от многочисленных факторов, таких как среда передачи данных, частота радиоволн, размещение устройств и их конфигурация. Однако не меньшее влияние на производительность сети оказывает применяемый тип коллективного доступа к среде передачи данных. Поэтому есть необходимость более подробно рассмотреть методы управления коллективным доступом: с распределенной функцией DCF и централизованной функцией PCF координации, которые, в свою очередь, являются неотъемлемыми, если не базовыми механизмами доступа к среде передачи данных в семействе стандартов IEEE 802.11 [11].

2.3 Распределенная функция координации (DCF).

DCF является одним из вариантов организации равноправного доступа к среде передачи. Данная функция основана на методе коллективного доступа с обнаружением несущей и механизмом избегания коллизий (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance – CSMA/CA).

При методе коллективного доступа с обнаружением несущей (CSMA) каждый узел прослушивает среду перед началом передачи, чтобы обнаружить несущий сигнал. Когда среда свободна – начинается передача данных. Однако есть большая вероятность возникновения коллизий, потому что два (и более) узла в сети могут решить, что среда является свободной и начнут передачу данных, в то время, когда какой-нибудь узел сети ведет передачу. Для снижения вероятности возникновения подобных ситуаций, используется механизм избегания коллизий (Collision Avoidance, CA).



10

Рисунок 2.7 - Алгоритм работы механизма CSMA/CA

Суть работы механизма CSMA/CA заключается в следующем (рисунок 2.7). После того, как каждый узел убедился, что среда свободна, прежде чем начать передавать данные, он выжидает в течение определенного промежутка времени. Этот промежуток является случайным и состоит из двух частей: обязательного промежутка DIFS и промежутка обратного отчета (Back off time), который выбирается случайным образом. По итогу каждый узел сети перед началом выжидает в течение случайного промежутка времени. Это ощутимо снижает вероятность возникновения коллизий, так как вероятность того, что два узла сети будут выжидать одинаковый отрезок времени, чрезвычайно мала.

Чтобы обеспечить гарантированный равноправный доступ к среде передачи данных, важно определить алгоритм выбора длительности промежутка обратного отсчета (Back off time). Промежуток обратного отсчета определяется с помощью множества дискретных промежутков времени, то есть ра-

вен целому числу элементарных временных промежутков, которые называются тайм-слотами. При выборе промежутка обратного отсчета каждый узел сети формирует окно конкурентного доступа (Contention Window, CW), использующееся для определения количества тайм-слотов, в течение которых станция выжидала перед началом передачи. Окно CW – это диапазон для выбора количества тайм-слотов. Минимальный размер окна определяется в 31 тайм-слот, а максимальный размер – в 1023 тайм-слота. Промежуток обратного отсчета определяется как количество тайм-слотов, определяемое исходя из размера окна CW [12]:

$$Backoff = Random(CW) * SlotTime, \quad (2.1)$$

где $Random(CW)$ – целое число, равновероятно выбранное из промежутка $(0, CW - 1)$. Значение CW в момент времени зависит от числа n сделанных попыток передачи текущего кадра [12]:

$$CW = C * W_0 * 2^n, \quad (2.2)$$

где $C * W_0$ – минимальное окно, $0 \leq n \leq m$, m – максимальное количество попыток передачи кадра.

При попытке узла сети получить доступ к среде передачи данных после обязательного промежутка ожидания DIFS запускается процедура обратного отсчета – активируется обратный отсчет счетчика тайм-слотов (начиная от выбранного значения окна CW). При условии, что в течение всего промежутка ожидания среда была свободной (счетчик обратного отсчета равняется нулю), узел начинает передавать информацию.

После того, как информация была успешно передана, окно CW вновь формируется. В случае, когда в период ожидания передачу сигнала начал другой узел сети, значение счетчика обратного отсчета останавливается, сле-

довательно, передача данных откладывается. Когда среда станет свободной, данный узел снова начинает обратный отсчет, однако с меньшим размером окна CW , которое определяется предыдущим значением счетчика обратного отсчета, и с меньшим значением времени ожидания.

Чем больше раз узел откладывает передачу данных из-за занятости среды, тем выше вероятность, что он получит доступ к среде передачи данных в следующий раз (рисунок 2.8) [13]:

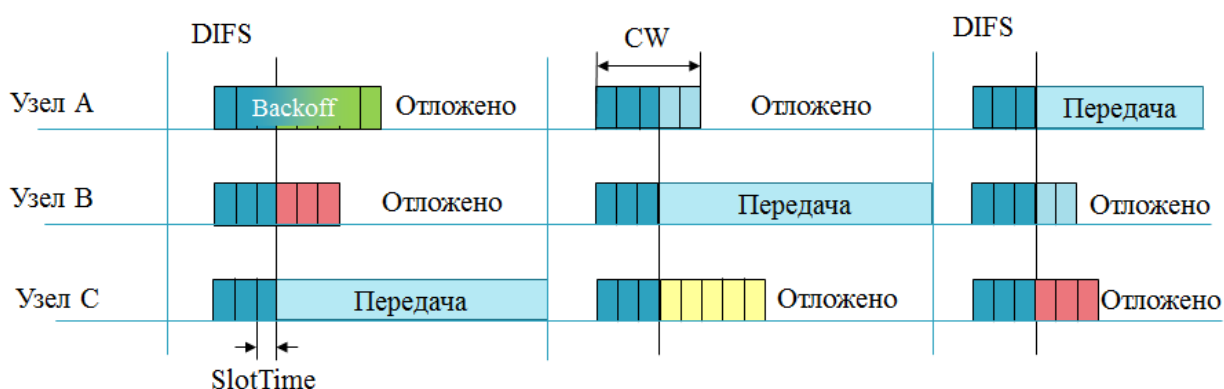


Рисунок 2.8 – Реализация равноправного доступа к среде передачи данных в методе DCF.

Рассмотренный алгоритм гарантирует равноправный коллективный доступ к среде передачи данных. Однако вероятность возникновения коллизии все равно остается. Если увеличить максимальный размер формируемого окна CW , то можно снизить вероятность возникновения коллизии. Однако это повлечет за собой увеличение задержек при передаче и тем самым снизит производительность сети. По этой причине в DCF для минимизации вероятности возникновения коллизий используется следующий алгоритм. Сторона, которая получает сигнал, после каждого успешного приема кадра через короткий промежуток SIFS подтверждает успешный прием, посылая в ответ квитанцию – кадр ACK (рисунок 2.9) [13]:

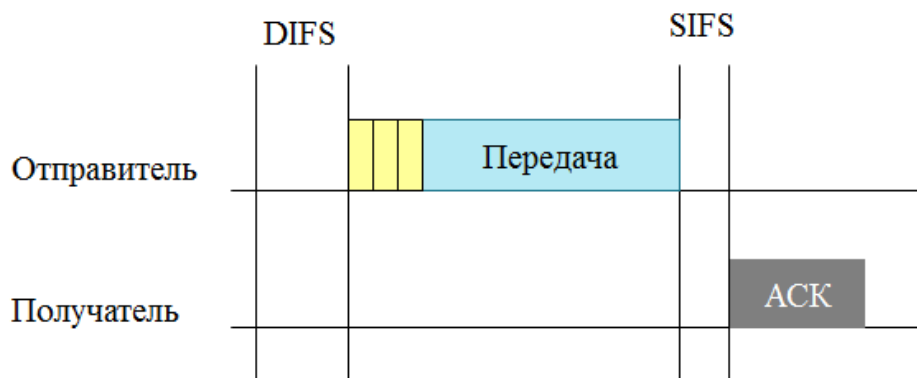


Рисунок 2.9 – Кадры квитанции, отсылаемые в случае успешной передачи данных

Когда при передаче данных возникает коллизия, передающая сторона не получает кадр ACK. Передающая сторона ожидает этот кадр в течение промежутка EIFS. Если кадр не получен – для передающего узла размер CW-окна увеличивается. Так, если для первой передачи размер окна равен 31 слоту, то для второй попытки передачи он уже составляет 63, для третьей – 127, для четвертой – 255, для пятой – 511, а для всех последующих – 1023 слота. Наблюдается динамическое увеличение окна по мере роста числа коллизий, что позволяет одновременно уменьшить временные задержки и снизить вероятность возникновения коллизий.

Следует отметить, кадр ACK, который уведомляет об успешном получении, может быть не получен не только из-за коллизии, но и по причине помех и искажений при передаче кадра или кадра ACK. В этом случае передающая сторона не может различить коллизию и помехи.

Как уже упоминалось ранее, в механизме DCF все узлы сети получают равноправный доступ к среде передачи. Поэтому невозможно выделить приоритетный узел. Это, в свою очередь, ограничивает использование DCF для обеспечения качества обслуживания (Quality of Service, QoS). Для реализации этой цели в стандарте IEEE 802.11e предусматривается расширенная

функция распределенной координации EDCF. Однако в данной работе эта функция не рассматривается ввиду несоответствия поставленных задач.

Также из-за равноправности доступа к среде передачи в механизме DCF невозможно осуществить ее централизованную координацию, что бывает довольно часто необходимо при определенных обстоятельствах. Такую задачу может выполнить механизм, поддерживающий функцию централизованной координации (PCF) [13].

2.4 Функция централизованной координации (PCF)

Механизм распределенной координации DCF является основным для семейства стандартов 802.11 и может использоваться в беспроводных сетях, которые функционируют в режиме Ad Hoc, так и в сетях, которые функционируют в режиме с инфраструктурой, то есть в сетях, где инфраструктура включает точку доступа.

Однако для сетей, функционирующих в режиме с инфраструктурой, более привычными являются другие механизмы, которые регулируют коллективный доступ: функция централизованной координации PCF и гибридная функция координации (Hybrid Coordination Function). Эти механизмы являются опциональными и применяются только в сетях с точкой доступа.

Как упоминалось ранее, в механизме DCF каждый узел сам принимает решение, когда начинать передачу данных. В режиме же PCF узлы начинают передачу данных только по разрешению точки доступа, это, в свою очередь, гарантирует приоритетный доступ к среде. Отсутствие конкурирующего доступа к среде исключает возможность возникновения коллизий.

При активации режима PCF одному из узлов сети присваивается статус центрального – точки доступа и называется *центром координации* (Point Coordinator, PC). Этому узлу ставится задача управлять коллективным доступом всех остальных узлов сети к среде передачи. Основой этого управления является специальный опрос, который точка доступа проводит по определен-

ному алгоритму исходя из приоритетов узлов сети. Центральный узел опрашивает все узлы согласно списку опроса. На основании этого опроса осуществляется организация передачи данных между всеми узлами сети.

Рассмотрим организацию передачи данных между узлами (рисунок 2.10) [13]:

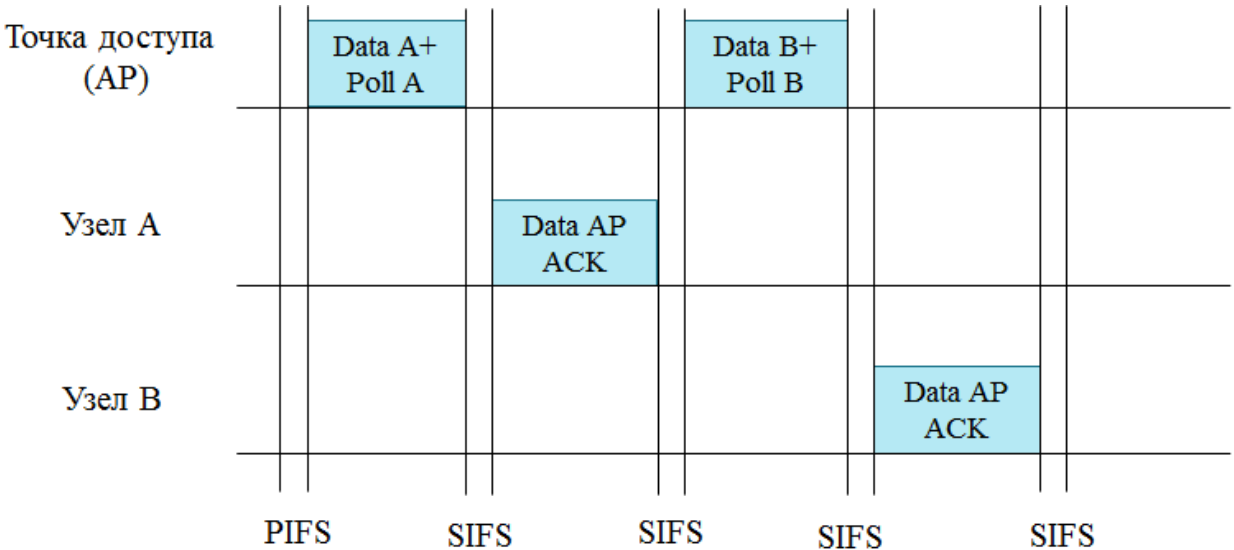


Рисунок 2.10 – Организация передачи данных между узлами сети в режиме PCF

В период работы механизма PCF точка доступа пересылает кадры с данными (Data A+), которые предназначены для узлов сети, опрашивает все узлы о кадрах, которые стоят в их очередях для передачи. Опрос узлов точка доступа проводит согласно списку, который хранится в ее памяти. Чтобы передать кадр с данными происходит отправка узлу А служебных кадров опроса Poll A – приглашение к передаче.

Узел А может начать передачу данных только после получения кадра Poll A. После получения последнего, узел через короткий интервал SIFS передает ответный кадр, который содержит данные (если их нет – узел отвечает нулевым кадром, который состоит только из заголовка), а также подтверждение на прием пакета от точки доступа (опять же – если он был). После полу-

чения кадра от узла сети точка доступа спустя период SIFS переходит к опросу следующего узла сети. Если в течение периода PIFS, точка доступа не получает ответ от узла, то она считает, что узел недоступен в данный момент и переходит к следующему этапу опроса.

С целью экономии расходов точка доступа может совмещать кадр опроса с передачей данных для узла А (кадр Data А + Poll А). Точно так же узлами сети могут быть совмещены кадры подтверждения с передачей данных, например, для точки доступа AP (Data AP + ACK).

Следует отметить, что функция центральной координации дополняет, а не отрицает функцию распределенной координации. Поэтому в сетях с механизмом PCF реализуется как механизм PCF, так и традиционный DCF. При этом механизмы DCF и PCF постоянно чередуются в работе: сначала – один, потом – другой. И так процесс повторяется (рисунок 2.11).

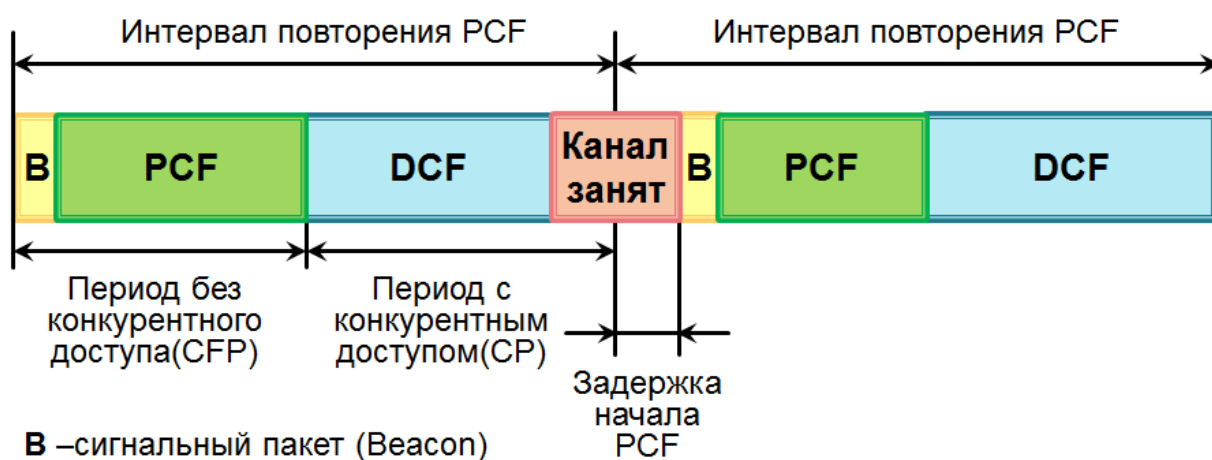


Рисунок 2.11 – Циклы работы в сети с концентрированным PCF и распределенным DCF

Чтобы режимы DCF и PCF чередовались между собой, необходимо, чтобы точка доступа имела приоритетный доступ к среде передачи данных: как и в методе DCF, используется конкурентный доступ к среде передачи, но для центра координации разрешается использовать промежуток ожидания, меньший DIFS. В этом случае, когда центр координации пытается получить

доступ к среде передачи, он ждет (как и все прочие узлы сети) завершения текущей передачи, а так как для главного узла промежуток ожидания меньше, то он первым получит доступ к среде после обнаружения свободного эфира. Промежуток ожидания для точки доступа, как это было сказано ранее, называется PIFS.

Режимы DCF и PCF объединяются в суперфрейм, который образуется из PCF-промежутка бесконкурентного доступа к среде, называемого CFP (Contention-Free Period), и следующего за ним DCF-промежутка CP (Contention Period) конкурентного доступа к среде. Длительность CP-промежутка должна быть такой, чтобы дать механизму DCF передать хотя бы один кадр (рисунок 2.12):

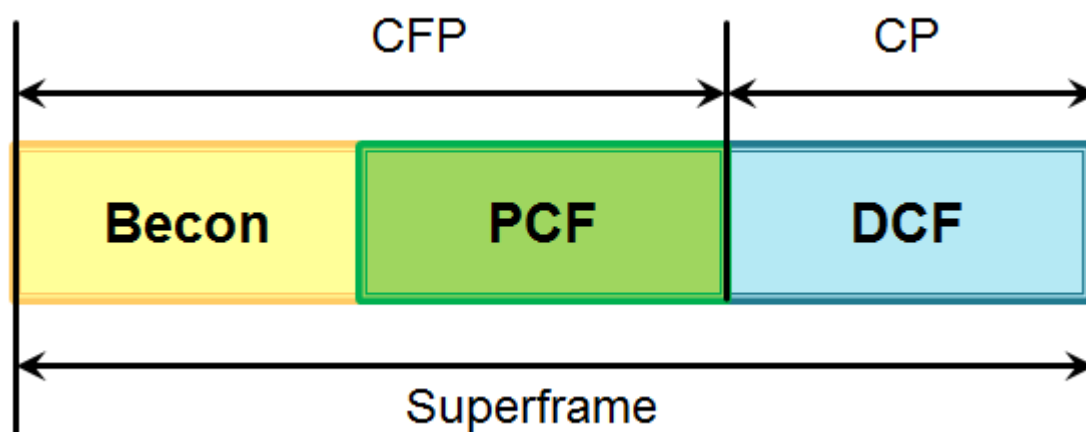


Рисунок 2.12 – Объединение режимов PCF и DCF в одном суперфрейме

Служебный кадр-маячок (Beacon) начинает суперфрейм. При приеме Beacon все узлы сети приостанавливают попытки передачи данных на время, которое определяется длительностью периода CFP. Кадры-маяки информируют о продолжительности CFP периода. Кроме этого кадры Beacon помогают синхронизировать работу всех узлов сети.

Метод управления коллективным доступом с централизованной функцией координации (PCF) можно рассматривать как систему массового обслуживания с несколькими очередями, которая основывается на упорядо-

ченном опросе главным узлом остальных станций. Поэтому необходимо ввести понятие поллинга, и более подробно ознакомиться с ним, так как он является неотъемлемой частью работы точки доступа [13].

2.5 Классификация и характеристики систем поллинга

Системы поллинга, или системы упорядоченного опроса, являются разновидностью систем массового обслуживания с несколькими очередями и обслуживающим главным узлом.

Характеристиками дискретных систем поллинга являются: число очередей, количество серверов, порядок и дисциплина обслуживания очередей, поступление и обслуживание заявок, а также длительность ожидания и переключения сервера между очередями.

По количеству очередей системы поллинга делятся на дискретные (число очередей конечно) и непрерывные (число очередей бесконечно). В данной работе проводится исследование только дискретных систем поллинга.

Системы первого класса базируются на работе нескольких серверов, и заявки, поступая в систему, выбирают сервер, где они могут быть обслужены. Таким образом, на каждом сервере накапливается своя очередь, а заявки в таких системах являются активными, а серверы – пассивными.

В системах поллинга второго класса имеется общий сервер для всех очередей, который согласно определенному алгоритму обходит очереди и обслуживает заявки, находящиеся в них.

Алгоритм, согласно которому сервер выбирает следующую очередь для обработки, называется *порядком опроса очередей*, и условно делится на:

- циклический порядок: сервер посещает очереди в порядке $Q_1, Q_2, \dots, Q_N, Q_1, Q_2, \dots, Q_N, \dots$. Такие системы поллинга называются циклическими;
- периодический порядок: задается в виде таблицы поллинга ($T(1), T(2), \dots, T(M)$) длины M ($M \geq N$), $T(i) \in \{1, \dots, N\}$, $i = \overline{1, M}$. Сервер обрабаты-

ет очереди в порядке $Q_{T(1)}, Q_{T(2)}, \dots, Q_{T(M)}, Q_{T(1)}, Q_{T(2)}, \dots, Q_{T(M)}, \dots$. При этом подразумевается, что в таблице поллинга содержатся номера всех очередей системы;

– случайный порядок, при котором с вероятностью $p_i, i = \overline{1, N}$, для обслуживания выбирается очередь $Q_i, \sum_{i=1}^N p_i = 1$. Возможен другой вариант выбора очереди: с вероятностью $p_{ij}, j = \overline{1, N}$, после посещения очереди Q_i , сервер переключается к $Q_j, \sum_{j=1}^N p_{ij} = 1, i = \overline{1, N}$;

– приоритетный порядок, при котором в системе имеется очередь приоритетов и какая-либо очередь может быть обслужена, если в более приоритетных очередях не содержатся заявки.

Рассмотренные выше порядки опроса очередей можно условно разделить на статические и динамические. При статическом порядке алгоритм выбора очередей на обслуживание не изменяется по ходу работы системы. Динамический порядок предполагает выбор очереди на обслуживание в определенные моменты принятия решений на основе информации (частичной или полной) о состоянии системы.

Дисциплиной обслуживания очереди называется число заявок, которое обслуживает сервер за одно посещение очереди. Дисциплина обслуживания заявок определяет, в каком порядке будут обслуживаться заявки внутри очереди. Дисциплины обслуживания очереди включают в себя:

– исчерпывающую дисциплину, при которой заявки обслуживаются сервером до тех пор, пока очередь не опустеет;

– шлюзовую дисциплину, при которой заявки находящиеся в очереди в момент опроса (момент завершения подключения к ней сервера) обслуживаются сервером. Заявки, поступившие в очередь после момента опроса, обслуживаются в следующем цикле;

– l_i -ограниченную дисциплину, при которой заявки, которые могут быть обслужены сервером, ограничены числом $l_i, l_i \geq 1$;

- l_i -уменьшающую дисциплину, при которой заявки обслуживаются в очереди до тех пор, пока длина последней не станет на l_i меньше, чем была в момент подключения сервера, либо пока очередь не опустеет, $l_i \geq 1$;
- Т-ограниченную дисциплину, при которой ограничивается время пребывания сервера у очереди;
- пороговую дисциплину, при которой сервер обслуживает очередь, если число заявок в ней не меньше заданной величины (порога);
- случайную дисциплину, при которой сервер может обслужить число заявок, которое определяется дискретной случайной величины ξ_i , имеющей закон распределения, который, в свою очередь, может меняться при каждом посещении очереди.

В структуре поллинга различают смешанные системы (если дисциплины обслуживания различны); если же все дисциплины обслуживания одного типа, говорят о системах данного вида (шлюзовую, l_i -уменьшающую).

Во многих исследованиях систем поллинга ставится задача нахождения *средних времен ожидания*. Однако зачастую эта задача сводится к нахождению взвешенной суммы этих характеристик.

Под взвешенной суммой средних времен ожидания понимается выражение [14]:

$$\sum_{i=1}^N p_i * M[W_i], \quad (2.3)$$

где W_i – случайная величина, характеризующая время ожидания в очереди Q_i ;

$M[W_i]$ – математическое ожидание;

$p_i = \lambda_i * b_i$ – загрузка очереди Q_i ;

λ_i – интенсивность потока заявок;

b_i – среднее время обслуживания заявок в очереди Q_i , $i = \overline{1, N}$.

Следует отметить, что согласно формуле Литтла, взвешенная сумма средних времен ожидания представляет собой среднее количество работы в системе в произвольный момент времени. Под количеством работы в некоторый момент времени понимается время, которое затратит сервер на обслуживание заявок, находящихся в системе в этот момент.

Нахождение взвешенной суммы этих характеристик объясняется тем, что не всегда удастся получить точные явные формулы, поэтому много внимания уделяется для нахождения приближенных формул. В связи с этим для выполнения поставленных задач создадим математическую модель исследуемой системы [15].

3 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕТИ

В исследуемой системе имеется главный узел и множество мобильных станций, следовательно, такую систему массового обслуживания можно представить в виде одного сервера и N ($N \geq 2$) очередей (обозначим через Q_i), которые создаются МС и характеризуются неограниченным числом мест для ожидания.

Учитывая тот факт, что поток заявок в эту систему является стационарным пуассоновским с параметром λ_i , а время обслуживания заявок имеет функцию распределения $B_i(t)$, то исследуемая система массового обслуживания будет соответствовать системе поллинга i -й очереди. При этом величина параметра λ будет определяться как [12]:

$$\lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i, \quad (3.1)$$

А функция распределения времени обслуживания заявок определяется по формуле [12]:

$$B(t) = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\lambda} B_i(t), \quad (3.2)$$

Предположим, что времена обслуживания заявок в очереди Q_i независимы и одинаково распределены с функцией распределения $B_i(t)$ со средним $b_i = \int_0^\infty t dB_i(t)$, вторым моментом $b_i^{(2)}$ и преобразованием Лапласа-Стильеса (ПЛС) $\tilde{B}_i(x), i = \overline{1, N}$. Так же считаем, что потоки заявок и времена обслуживания заявок независимы.

Учитывая то, что главный узел должен проводить периодические опросы группы МС, то в данном случае под моментом опроса (поллингом) подразумеваем момент времени, когда главный узел принимает решение о том, сколько заявок в очереди он будет обслуживать при этом переключении.

Обычно за момент опроса принимается момент, когда главный узел завершил переключение к очереди и готов начать ее обслуживание.

В данной работе выбрана исчерпывающая дисциплина обслуживания, то есть очередь обслуживается до тех пор, пока не опустеет, после чего главный узел переходит к следующей очереди, подлежащей обслуживанию.

Исходя из периодичности опросов очередей главным узлом группы МС считается, что правило переключения между узлами – циклическое. Главный узел обслуживает очереди, следуя определенному списку опроса.

Время подключения к очереди Q_i (время переключения) имеет функцию распределения $S_i(t)$ со средним s_i , вторым моментом $s_i^{(2)}$ и ПЛС $\tilde{S}_i(x), i, j = \overline{1, N}$.

Для исследуемой системы с циклическим опросом очередей выделяем периоды времени, называемые *циклами* (в том числе гамильтонов цикл). В данном случае под циклом будем понимать время, затрачиваемое на опрос группы МС очередей от Q_1 до Q_2 . Отметим, что гамильтонов цикл – время, за которое все очереди опроса МС группы будут обслужены главным узлом ровно один раз.

Для данной системы с циклическим опросом очередей обозначим через s_1 и $s^{(2)}$ соответственно первый и второй моменты совокупной длительности переключений главного узла за один цикл опроса группы МС, тогда [12]:

$$s_1 = \sum_{j=1}^N s_j, \quad (3.3)$$

$$s^{(2)} = s^2 + \sum_{j=1}^N (s_j^{(2)} - s_j^2), \quad (3.4)$$

Обозначим загрузку очереди Q_i через p_i [12]

$$p_i = \lambda_i \times b_i, \quad (3.5)$$

Тогда загрузку системы можно представить в виде [12]:

$$p = \sum_{i=1}^N p_i, \quad (3.6)$$

Временем цикла считается время, когда главный узел обслуживает очереди опроса группы МС (доля времени t_0), и время переключения между очередями (в среднем - время s за цикл). Таким образом [12]:

$$C = t_0 * C + s, \quad (3.7)$$

где C – время цикла опроса группы МС;

t_0 – время, которое главный узел тратит на обслуживание очередей;

s – время, которое главный узел тратит на переключение между очередями опроса.

Из формулы (3.7) выводим формулу (3.8) [12]:

$$C = \frac{s}{(1 - t_0)}, \quad (3.8)$$

Вероятность ошибки от коллизии при передаче широковещательного пакета опроса группы МС по протоколу канального уровня CSMA/CA с активированным механизмом распределенного управления DCF равна [16]:

$$P_e = \lambda_{\Sigma} * \Delta \approx N_{nb} * \lambda_B * \Delta = N * \lambda_B * \Delta * \frac{\pi * R^2}{A}, \quad (3.9)$$

где $\Delta = 20$ мкс – временной слот, в течение которого сетевой интерфейс узла занят (при приеме HELLO-пакета).

Важной характеристикой математической модели является среднее время распространения информации между главным узлом и каждым опро-

шенным в кластере. Главный узел «узнает» о расположении соседних узлов (топологии сети) из HELLO-пакетов.

В случае, когда зона (кластер) имеет форму круга, максимальное расстояние между узлами будет равно его диаметру $D = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}$.

Так как узлы обмениваются трафиком в две стороны, то минимальное расстояние h для передачи информации из одного конца зоны (кластера) в другой будет рассчитываться по формуле (3.10):

$$h_1 = \left\lceil \frac{D}{2 \cdot R} \right\rceil + 1 = \left\lceil \frac{A}{\pi \cdot R^2} \right\rceil + 1, \quad (3.10)$$

где R – радиус зоны покрытия главного узла.

Вероятность передачи информации из одного конца зоны (кластера) в другой без ошибок равна $(1 - P_e)^{h_1}$.

Время распределения информации о топологии зоны (кластера) при наличии коллизий T_1 равно $(T_{HELLO} \cdot h_1)$.

Приблизительная оценка T_1^c , выраженная в формуле (3.11), показывает среднее время распространения информации об изменении топологии сети в кластере при наличии коллизий [16]:

$$T_1^c = \frac{T_{HELLO} \cdot h_1}{(1 - P_e)^{h_1}} = \frac{T_{HELLO} \cdot ([k] + 1)}{\left(\frac{1 - N \cdot \lambda_B \cdot \Delta}{k^2}\right)^{[k] + 1}}, \quad (3.11)$$

где $k = \sqrt{\frac{A}{\pi \cdot R^2}}$.

Один из основных показателей производительности – среднее время обслуживания пакета T . Это время отсчитывается от момента либо поступления пакета в пустую очередь данного узла, либо окончания обслуживания предыдущего пакета из этой очереди, и до момента, либо получения под-

тверждения АСК, либо истечения интервала IFS после последней неудачной попытки передачи (т.е. в случае потери пакета).

Как и ранее, считается, что в систему поступает пуассоновский поток пакетов с интенсивностью λ и распределением $D(l_i)$ длин пакетов l_i . Канал считается идеальным. При базовом доступе длительность коллизии определяется максимальной длиной кадров DATA.

Передача пакетов может быть синхронной и асинхронной. Асинхронная передача имеет место, если в момент прихода пакета станция была в состоянии простоя и канал был свободен в течение, как минимум, DIFS или EIFS. Таким образом, асинхронная передача происходит только при отсутствии синхронных передач других станций, $N\lambda_\sigma \ll 1$, то считается, что за время одного слота отсрочки в сети может произойти не более одной асинхронной передачи. Следовательно, асинхронная передача всегда успешна.

Для оценки времени T строим модель поведения исследуемой станции в виде цепи Маркова с дискретным целочисленным временем, единицей которого является виртуальный слот – промежуток времени между последовательным изменением счетчика отсрочки у каждой станции, не находящейся в состоянии простоя. Пусть $b(t)$ – стохастический процесс изменения счетчика отсрочки для данной станции, моменты времени t и $t + 1$ соответствует началу двух последовательных виртуальных слотов, причем станция передает, когда $b(t) = 0$. В то же время, $s(t)$ – стохастический процесс изменения стадии отсрочки $0, \dots, m$, расширенный значением -1 для ситуации, когда в очереди нет пакета.

Заметим, что, исходя из принятой модели, эта шкала виртуального времени не имеет прямого соответствия шкале реального времени и виртуальные слоты неоднородны. Как уже было сказано, счетчик отсрочки «замораживается», если станция замечает передачу другой станции. Поэтому реальное время, прошедшее между t и $t + 1$, больше слота отсрочки σ при

наличии передачи другой станции. Таким образом, имеем три вида виртуальных слотов:

- «пустой слот», во время которого ни одна станция не вела передачу;
- «успешный слот», когда только одна станция вела передачу;
- «коллизийный слот», во время которого произошла коллизия.

Двумерный процесс $\{s(t), b(t)\}$ опишем цепью Маркова, где состоянию простой станции соответствует состояние $(-1, 0)$. Состояние, когда станция не имеет пакета для передачи, но выполняет процедуру отсрочки после удачной передачи или отказа, – это $(-1, 1 \dots W_0 - 1)$. Состояние, когда станция имеет пакет и выполняет процедуру отсрочки, – это все остальные (i, k) , где $k = 0, \dots, W_i - 1$ – значение счетчика отсрочки, а $i = 0, \dots, m$ – стадия отсрочки.

Пусть $\alpha(i, k)$ – стационарная вероятность состояния (i, k) , а $\{P(i_2, k_2) | (i_1, k_1)\}$ – вероятность одношагового перехода из (i_1, k_1) в (i_2, k_2) .

Введем следующие обозначения:

P_0 – вероятность опустошения очереди после завершения синхронного обслуживания;

P_S – вероятность прихода хотя бы одного пакета за время виртуального слота при условии, что очередь данной станции пуста. Очевидно, что эта вероятность включает в себя два компонента [17]:

$$P_S = P_S^F + P_S^E, \quad (3.12)$$

где P_S^F – вероятность прихода хотя бы одного пакета за время непустого слота, при условии, что очередь данной станции пуста;

P_S^E – вероятность прихода хотя бы одного пакета за время пустого слота, при условии, что очередь данной станции пуста.

P_T – вероятность прихода хотя бы одного пакета за время успешной передачи другого пакета;

p – вероятность неудачной попытки передачи из-за коллизии.

Очевидно, что:

$$\sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} \alpha(i, k) + \sum_{k=0}^{W_0-1} \alpha(-1, k) = 1 \quad (3.13)$$

Для $i \in (1, m)$ и $k \in (0, W_i - 1)$, т.е. состояний, соответствующих процедуре отсрочки при имеющемся пакете для передачи и уже не первой попытке передать его, стационарные вероятности определяются формулами:

$$\alpha(i, k) = \frac{p}{W_i} \alpha(i - 1, 0) + \alpha(i, k + 1),$$

$$\alpha(i, 0) = \frac{p}{W_i} \alpha(i - 1, 0) + \alpha(i, 1) = \dots = p \alpha(i - 1, 0),$$

то есть:

$$\alpha(i, k) = \frac{W_i - k}{W_i} p \alpha(i - 1, 0), \quad \alpha(i, 0) = \dots = p^i \alpha(0, 0),$$

и их сумма имеет вид [17]:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} \alpha(i, k) = \sum_{i=1}^m \frac{W_i+1}{2} p^i \alpha(0, 0). \quad (3.14)$$

Для $i = -1$ и $k \in (1, W_0)$, то есть состояний, соответствующих процедуре отсрочки после удачно переданного пакета или отказа, но при отсутствии пакета для передачи, из уравнения глобального баланса имеем:

$$\alpha(-1, k) = \alpha(0, 0) P_S \widehat{P_0} A(k) / C,$$

а для состояния простоя $(-1, 0)$:

$$\alpha(-1,0) = \alpha(0,0)\widehat{P}_0 A/C,$$

где

$$\widehat{P}_0 = P_0[e^{-\lambda DIFS}(1 - p^{m+1}) + e^{-\lambda EIFS}p^{m+1}],$$

$$A(k) = \sum_{t=k}^{W_0-1} (1 - P_S)^{W_0-1-t}, k = 0, \dots, W_0 - 1, A = A(0),$$

$$C = P_S W_0 + P_S^E (1 - P_T) A.$$

После сложения и простых преобразований получаем [17]:

$$\sum_{k=0}^{W_0-1} \alpha(-1, k) = \alpha(0,0) \widehat{P}_0 W_0 / C, \quad (3.15)$$

Для $i = 0$ и $k = 1, \dots, W_0 - 1$ после преобразований имеем:

$$\alpha(0, k) = \left[\frac{W_0 - k}{W_0} \left(1 - \widehat{P}_0 + (P_S^F + P_S^E P_T) \frac{\widehat{P}_0 A}{C} \right) + \frac{P_S^2 \widehat{P}_0}{C} \sum_{t=k+1}^{W_0-1} A(t) \right] \alpha(0,0) \quad (3.16)$$

Из формул (3.13 – 3.16) получаем:

$$\begin{aligned} \alpha(0,0)^{-1} = & 1 + \sum_{i=1}^m \frac{W_i + 1}{2} p^i + \frac{W_0 \widehat{P}_0}{C} + \\ & + \frac{W_0 - 1}{2} \left(1 - \widehat{P}_0 + (P_S^F + P_S^E P_T) \frac{\widehat{P}_0 A}{C} \right) + \frac{P_S^2 \widehat{P}_0}{C} \sum_{k=1}^{W_0-2} \sum_{t=k+1}^{W_0-1} A(t) \end{aligned}$$

Пусть τ – вероятность синхронной передачи данных станции за время виртуального слота. Очевидно [17]:

$$\tau = \sum_{i=0}^m \alpha(i, 0) = \sum_{i=0}^m p^i \alpha(0, 0) = \frac{1-p^{m+1}}{1-p} \alpha(0, 0) \quad (3.17)$$

Считая независимыми стохастические процессы $\{s(t), b(t)\}$ всех станций, находим вероятность того, что синхронная передача данной станции будет неудачна из-за коллизии [17]:

$$p = 1 - (1 - \tau)^{N-1} \quad (3.18)$$

Вероятность же асинхронной передачи за время виртуального слота равна [17]:

$$\tau_a = \alpha(-1, 0) P_S^E \quad (3.19)$$

Перейдем к определению вероятностей P_S, P_S^F, P_S^E, P_T . Так как $N\lambda_\sigma \ll 1$ вероятность прохода в очередь данной станции хотя бы одного пакета за время пустого слота при условии, что эта очередь пуста, равна [17]:

$$P_S^E = (1 - \tau)^{N-1} (1 - e^{-\lambda_\sigma}) \quad (3.20)$$

Для того, чтобы определить вероятности P_S^F и P_T найдем времена «непустых» слотов, за которые прошли либо успешная передача, либо коллизия. Очевидно, время успешной передачи пакета длиной l_i равно [17]:

$$t_i^S = \frac{l_i}{V} + t_{const}^S \text{ при } l_i \leq L, \quad (3.21)$$

где $t_{const}^S = H + t_{ACK} + SIFS + DIFS$;

t_{ACK} – время необходимое для передачи пакета ACK;

H – время, необходимое для передачи заголовка DATA;

V – скорость передачи MAC-части любого кадра.

Таким образом, вероятность прихода хотя бы одного пакета за время успешной передачи [17]:

$$P_T = 1 - \sum_i e^{-\lambda t_i^S} D(l_i) \quad (3.22)$$

При определении времени коллизии пренебрежем вероятностью коллизий, в которые вовлечены больше двух кадров. Тогда время коллизии складывается из времени передачи фрейма максимальной длины из числа фреймов, вовлеченный в коллизию, а также EIFS, т.е. длительности коллизии равна [17]:

$$t_j^C = \frac{l_j}{V} + t_H \text{ для } l_j \leq L \text{ с вероятностью } D_j^C,$$

где $D_j^C = D^2(l_j) + 2D(l_j)[\sum_{h:l_h < l_j} D(l_h) + \sum_{h:l_h > L} D(l_h)]$.

Таким образом, вероятность прихода хотя бы одного пакета за время коллизии равна [17]:

$$P_C = 1 - \sum_{h \leq L+1} e^{-\lambda t_h^C} D_h^C \quad (3.23)$$

Окончательно, учитывая асинхронную передачу, получаем среднее время, затрачиваемое на обслуживание пакета (исключая пакеты, «отвергнутые» из-за переполнения буфера) [17]:

$$T = \frac{\pi_0 p_a}{1 - \pi_K} \sum_i (t_i^S - DIFS) D(l_i) + \frac{1 - \pi_0 p_a - \pi_K}{1 - \pi_K} T_S \quad (3.24)$$

Первое слагаемое ответственно за асинхронный, второе – за синхронный режим передачи.

В заключении найдем другие показатели производительности. Вероятность отказа в обслуживании пакета:

$$p_r = 1 - (1 - \pi_K)[1 - p^{m+1}(1 - p_a)] \quad (3.25)$$

Отказ происходит при:

- полном заполнении очереди, когда количество пакетов в ней равно K , с вероятностью π_K ;
- исчерпании количества попыток на передачу пакета с вероятностью $p^{m+1}(1 - p_a)$.

На основании формулы Литтла находим среднее время задержки пакета на МАС-уровне (также за исключением пакетов, «отвергнутых» из-за переполнения буфера), т.е. среднее его пребывание на станции, включая возможное ожидание в очереди на обслуживание [17]:

$$\begin{aligned} T_{MAC} &= \frac{\pi_0 p_a}{1 - \pi_K} \sum_i t_i^s D(l_i) + \frac{1 - \pi_0 p_a - \pi_K}{1 - \pi_K} \frac{\sum_{i=1}^B i \pi_i}{\lambda_0 \pi_0 + \lambda \sum_{i=1}^{B-1} \pi_i} = \\ &= \frac{\pi_0 p_a}{1 - \pi_K} \sum_i t_i^s D(l_i) + \frac{1}{(1 - \pi_K) \lambda} \sum_{i=1}^B i \pi_i \end{aligned} \quad (3.26)$$

Согласно (3.5) рассчитаем нагрузку от двух узлов сети (точка доступа и МС), где каждый из узлов генерирует пакеты объемом 512 байт с экспоненциальной интенсивностью G_1 , следовательно:

$$p_i = 512 * G_1 = 2535.95 \text{ (байт/с)}, \quad (3.27)$$

где $G_1 = e^{1.6}$ – интенсивность поступающего трафика (1-й эксперимент).

Так как на графиках имитационной программы (раздел 4) все параметры имитационной модели приведены в битах, то переведем полученный в байтах результат в удобный вид (так как 1 байт – 8 бит): $p_i = 2535.95 \text{ байт} = 20287 \text{ (бит/с)}$.

Рассчитаем общую нагрузку для случая, когда трафиком обмениваются точка доступа и один узел, тогда общая загрузка согласно формуле (3.6):

$$p = p_1 + p_2 = 20\,287 * 2 = 40\,574 \text{ (бит/с)}.$$

Рассчитаем нагрузку для ситуации, когда каждый узел группы генерирует пакеты объемом 512 байт с экспоненциальной интенсивностью $G_{гр}$, следовательно:

$$p_{igr} = 512 * G_{гр} = 844.15 \text{ (байт/с)} = 6753.16 \text{ (бит/с)}, \quad (3.28)$$

где $G_{гр} = e^{0.5}$ – интенсивность поступающего трафика (2-й эксперимент).

Пусть, в этом случае трафиком обмениваются 7 узлов и одна точка доступа, соответственно общая загрузка:

$$p = p_1 + p_2 + \dots p_8 = 6753.16 * 8 = 54\,025.29 \text{ (бит/с)}.$$

После построения математической модели системы приступим к ее практической реализации на имитационном моделировании.

Согласно формуле 3.26 было рассчитана задержка пакетов для расстояния 80м и 10 м, и 5м.

При 80м задержка пакета составляет 229 мкс. При 10 м снижается до 177мкс. При уменьшении расстояния до 5 м задержка составляет 157мкс.

4 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ

Вначале выберем наиболее подходящее программное обеспечение для проведения имитационного моделирования.

Было проанализировано следующее программное обеспечение:

- Cisco Packet Tracer;
- Net Cracker Professional;
- Riverbed Modeler Academic Edition 17.5

4.1 Обзор программного обеспечения для имитационного моделирования сети

Имитационное моделирование незаменимо для анализа работоспособности сложных систем, какими и являются мобильные сети.

Основной особенностью программного обеспечения, которое позволяет имитировать работу сети, связи является возможность отслеживания событий на различных уровнях модели (физический, канальный) сети. Чтобы результаты моделирования были близки к реальности, имитационное программное обеспечение должно достаточно точно воспроизводить все основные параметры реального оборудования.

Симуляторы дают возможность оценить работу сети по более широкому диапазону параметров (число узлов, тип среды передачи данных, тип протоколов, что используется).

Сетевые симуляторы в процессе своей работы могут собирать статистику о наиболее важных событиях, происходящих в модели (потери и задержки в передаче пакетов, коэффициент использования каналов).

В данный момент рынок программного обеспечения наполнен множеством решений, большинство которых являются крупными программными пакетами, стремящимися охватить все многообразие телекоммуникационных сетей.

Существует множество продуктов, бесплатное использование в некоммерческих целях для учебных заведений или частных лиц. Ограничения для других целей оговариваются в лицензии продукта. Исходный код находится либо в свободном доступе, либо его высылают по запросу. Наиболее предпочтительные с этой точки зрения – открытые программные пакеты. Исходный код доступен для просмотра и изучения. Рассмотрим некоторые наиболее популярные пакеты [18].

4.1.1. Cisco Packet Tracer

Программный пакет Cisco Packet Tracer разработан компанией Cisco и рекомендован использоваться при изучении телекоммуникационных сетей и сетевого оборудования, а также для проведения уроков по лабораторным работам в высших заведениях.

Основные возможности Packet Tracer:

- дружественный графический интерфейс (GUI), что способствует к лучшему пониманию организации сети, принципов работы устройства;
- возможность смоделировать логическую топологию: рабочее пространство для того, чтобы создать сети любого размера на CCNA-уровне сложности;
- моделирование в режиме real-time (реального времени);
- режим симуляции;
- многоязычность интерфейса программы, что позволяет изучать программу на своем родном языке;
- усовершенствованное изображение сетевого оборудования со способностью добавлять / удалять различные компоненты;
- наличие Activity Wizard позволяет сетевым инженерам, студентам и преподавателям создавать шаблоны сетей и использовать их в дальнейшем;
- проектирование физической топологии: доступное взаимодействие с физическими устройствами, используя такие понятия как город, здание;

Широкий круг возможностей данного продукта позволяет сетевым инженерам: конфигурировать, отлаживать и строить вычислительную сеть. Также данный продукт незаменим в учебном процессе, поскольку дает наглядное отображение работы сети, что повышает освоение материала учащимися.

Эмулятор сети позволяет сетевым инженерам проектировать сети любой сложности, создавая и отправляя различные пакеты данных, сохранять и комментировать свою работу. Специалисты могут изучать и использовать такие сетевые устройства, как коммутаторы второго и третьего уровней, рабочие станции, определять типы связей между ними и соединять их.

На заключительном этапе, после того как сеть спроектирована, специалист может приступить к конфигурированию выбранных устройств посредством терминального доступа или командной строки.

Одной из самых важных особенностей данного симулятора является наличие в нем «Режима симуляции». В данном режиме все пакеты, пересылаемые внутри сети, отображаются в графическом виде. Эта возможность позволяет сетевым специалистам наглядно продемонстрировать, по какому интерфейсу в данный момент перемещается пакет, какой протокол используется.

В «Режиме симуляции» сетевые инженеры могут не только отслеживать используемые протоколы, но и видеть, на каком из семи уровней модели OSI данный протокол задействован.

Packet Tracer способен моделировать большое количество устройств различного назначения, а также немало различных типов связей, что позволяет проектировать сети любого размера на высоком уровне сложности [19].

Однако в Cisco Packet Tracer нет привязки к расстоянию между узлами сети, которая моделируется, что делает исследования неправдоподобными к реальным условиям. Расстояние между узлами является ключевым фактором, от которого будут зависеть рассматриваемые в работе характеристики.

В Cisco Packet Tracer и Net Cracker Professional при моделировании в качестве точки доступа выступает маршрутизатор (рисунок 4.1). Это является существенным минусом, т.к. в данной работе математическая и экспериментальная части строятся для мобильных станций.

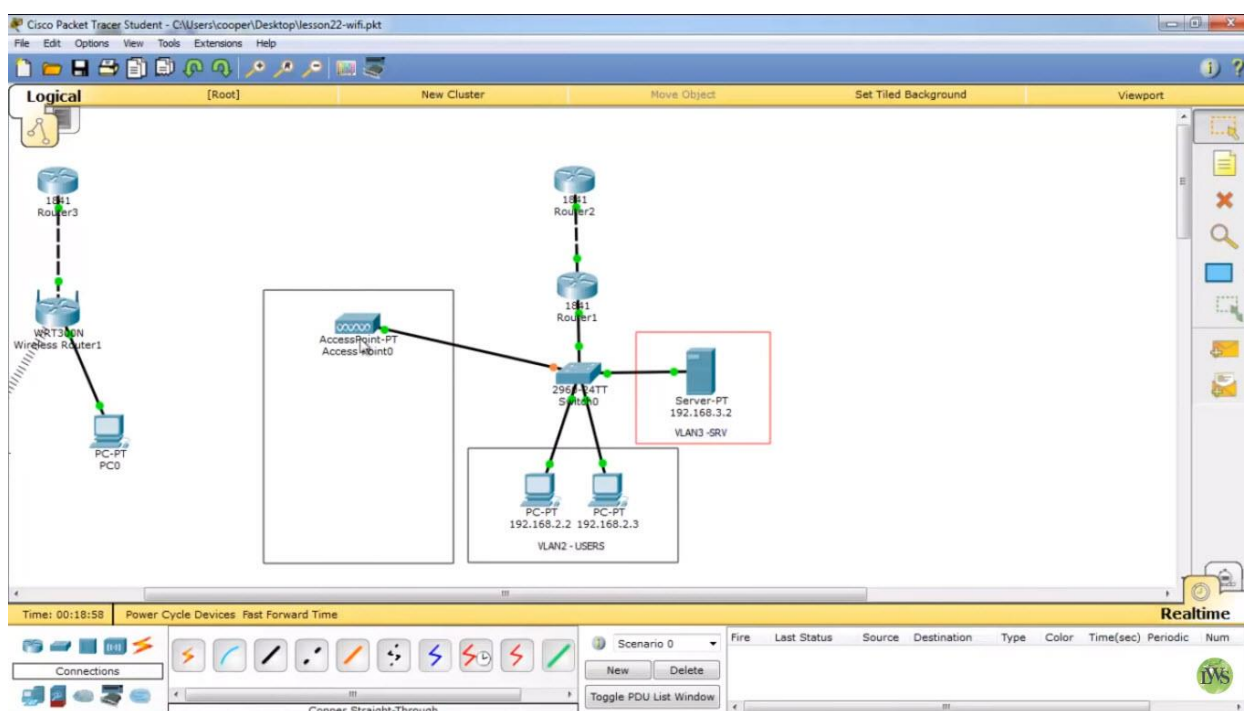


Рисунок 4.1 – Моделирование точки доступа в программе CiscoPacketTracer

4.2.2. NetCracker Professional

Программный продукт NetCracker Professional, разработанный компанией Netcracker Technology, это инструмент для проектирования и моделирования как локальных (одно- и многоуровневых), так и распределённых сетей, который представляет модель сети в уникальном, динамическом и визуальном виде. Программа содержит базу данных с тысячами сетевых устройств различных производителей и позволяет создавать, и добавлять в базу собственные устройства. Графический интерфейс drag-and-drop позволяет проектировать и планировать сети легко – без обучения.

Одной из наиболее интересных и полезных функций программы является наглядная имитация работы сети с помощью анимации. После того, как сеть спроектирована, мы можем задать в ней виды трафика и проверить ее работу, используя функцию NetCracker Professional Auto Simulation и различные статистические сообщения.

В случае небольших проектов имитация работы сети происходит в режиме реального времени. В процессе имитации работы проекта с параметрами, максимально приближенными к реальным, программа отображает и накапливает различные статистические данные, которые по окончании имитации работы можно просмотреть и распечатать в виде отчётов.

В качестве дополнительных функций в программе реализованы следующие возможности:

- сканирование и распознавание реальной сети (Auto discovery) и её устройств (параметров их настройки) с автоматическим созданием нового проекта на основе полученных данных;
- импортирование проектов, созданных с помощью программы Microsoft Visio;
- экспортирование созданного проекта в графический файл;
- возможность автоматического подсчёта стоимости всего оборудования в проекте и протяжённости линий связи.

Как и в Cisco Packet Tracer, в Net Cracker Professional нет привязки к расстоянию между узлами сети, что моделируется. И точно так же нет возможности промоделировать точку доступа на основе МС [20] (рисунок 4.2):

4.2.3 Riverbed Modeler

Программный пакет Riverbed Modeler, разработанный компанией Riverbed Technology, обеспечивает моделирование с высокой точностью воспроизведения, масштабируемое моделирование и детальный анализ широкого спектра проводных и беспроводных сетей.

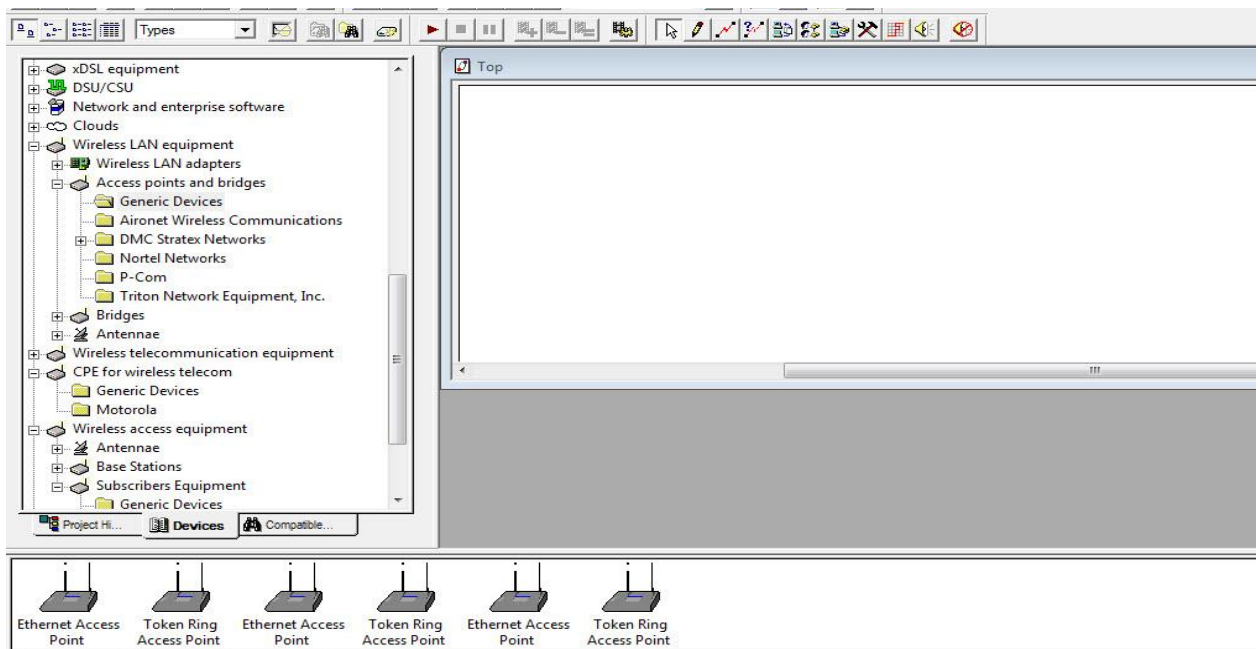


Рисунок 4.2 – Моделирование точки доступа в программе NetCracker Professional

Данный продукт позволяет организациям оптимизировать их инвестиции в сети R&D (Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы), а также:

- разработка фирменных сетевых протоколов и технологий;
- оценка усовершенствования протоколов, основанных на стандартах;
- тестирование и демонстрация технологии конструкции в реалистичных сценариях до производства;
- увеличение R&D производительности и ускорение времени выхода на рынок.

Riverbed Modeler позволяет использовать расширенные возможности для сетевого моделирования и имитации, в том числе:

- сотни моделей проводных / беспроводных протоколов и устройств поставщика с исходным кодом;
- интуитивно, иерархическая среда моделирования;

- масштабируемость беспроводных моделирования, включающие модели местности, мобильность и ослабление на трассе;
- 32-разрядные и 64-разрядные полностью параллельное ядро моделирования;
- встроенный графический интерфейс на основе отладки и анализа; – открытый интерфейс для интеграции внешних объектных файлов, библиотек и других имитаторов.

По сравнению с конкурирующими решениями, Modeler имеет самый быстрый дискретный процесс моделирования на рынке. Экономия времени с доступом к крупнейшей, наиболее обширной библиотеки с открытым исходным кодом, дискретных имитационных моделей для IT-индустрии [21].

В программе Riverbed Modeler Academic Edition можно выставить мощность Wi-Fi передатчика мобильного телефона, чтобы параметры моделирования установить близкими к реальности (рисунок 4.3) [22].

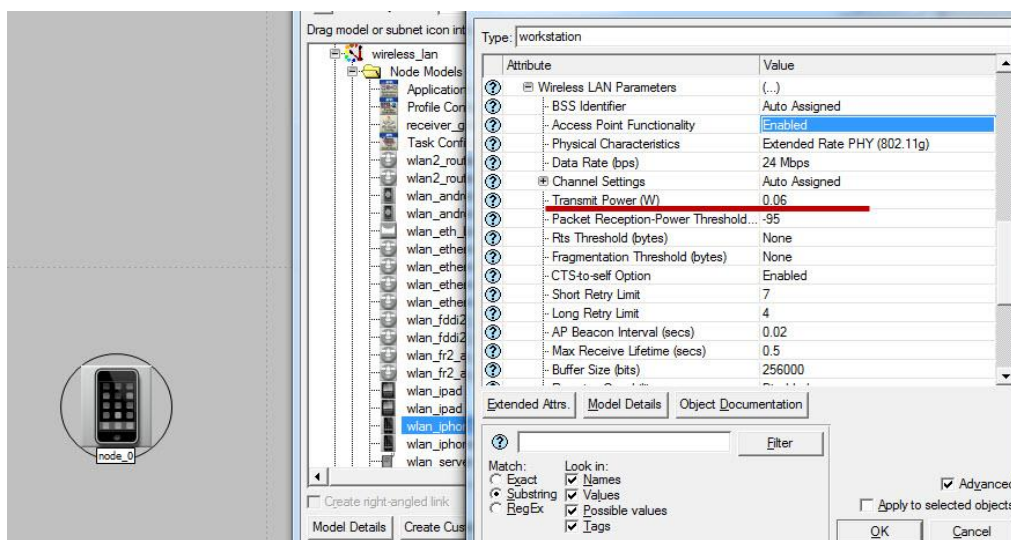


Рисунок 4.3 – Настройка мощности передатчика Wi-Fi мобильного телефона близкой к реальности в программе Riverbed Modeler Academic Edition

Существенным плюсом программы является широкий перечень характеристик, которые может вывести программа (рисунок 4.4).

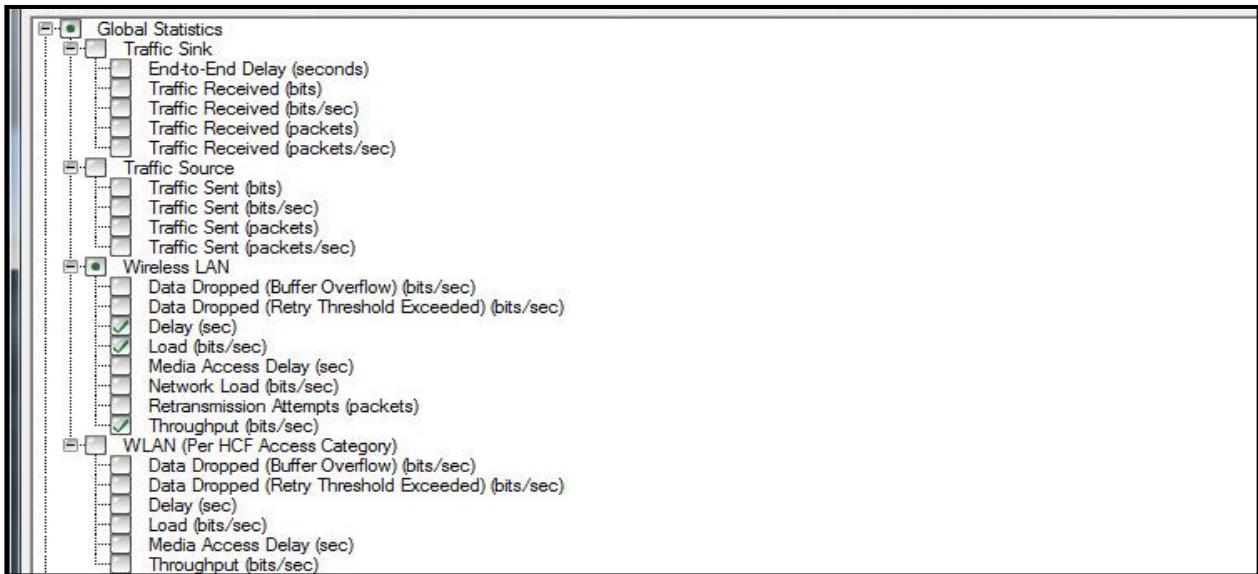


Рисунок 4.4 – Перечень статистических характеристик в программе Riverbed Modeler Academic Edition

В программе Riverbed Modeler Academic Edition для имитации точки доступа может использоваться мобильный телефон (рисунок 4.5).

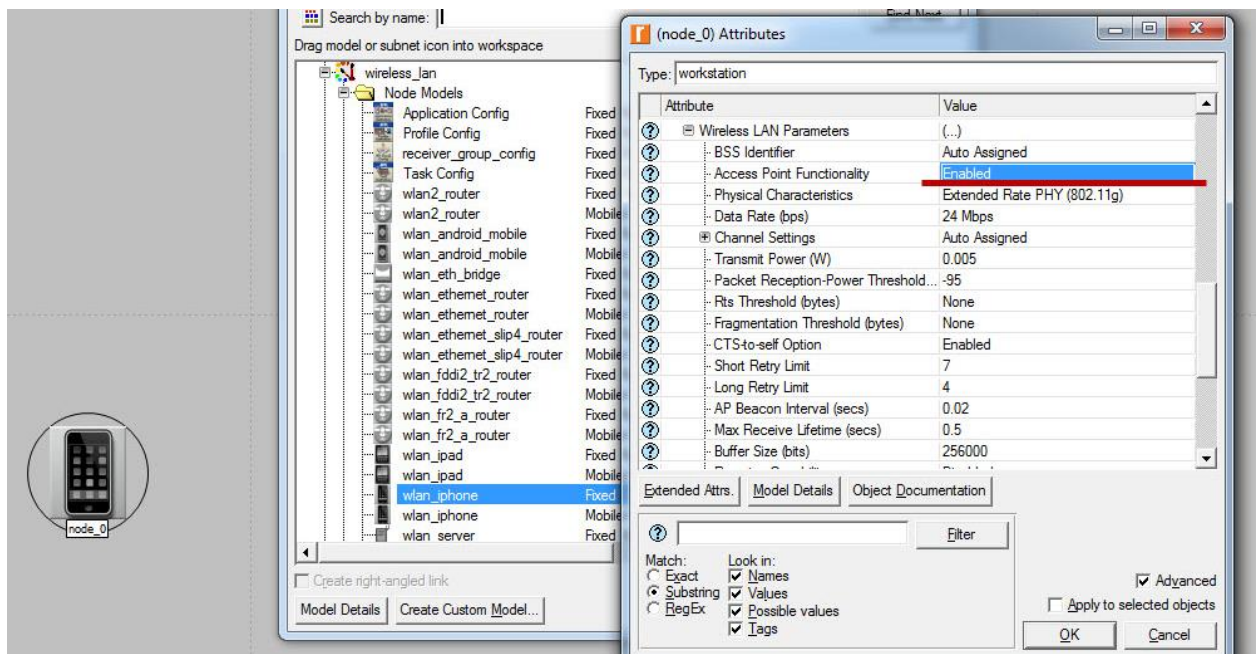


Рисунок 4.5 – Моделирование точки доступа в программе Riverbed Modeler Academic Edition на основе мобильного телефона

Совокупность вышеперечисленных факторов, удобство в работе с программой, наличие современных оконечных устройств, которые можно использовать в моделировании, расширенная статистика, наличие учебной литературы способствуют выбору данной программы для решения поставленных задач.

4.3 Сравнительная характеристика программного обеспечения для имитационного моделирования

Выбор программного обеспечения в данной работе проводился в соответствии с поставленными задачами.

Сравнительная характеристика программного обеспечения для решения поставленных задач в данной работе приведена в таблице 4.1. За основу взята программа Riverbed Modeler Academic Edition.

Таблица 4.1 – Сравнительная характеристика имитационного программного обеспечения

ПО Критерий	Cisco Packet Tracer	NetCracker Professional	Riverbed Modeler Academic Edition
Лицензия	Академическая	Бесплатная	Академическая
Привязка к расстоянию	—	—	+
Имитация точки доступа на основе МС	-	-	+
Многоязычность интерфейса программы	+	—	—
Работа с DCF и PCF	—	—	+

Во внимание были приняты следующие факторы:

– лицензия программы (другими словами доступность);

- привязка к расстоянию;
- особенности имитации точки доступа;
- многоязычность интерфейса программы;
- возможность работы с режимами доступа к среде передачи (DCF и PCF).

4.4 Моделирование заданной сети

Среди имеющихся локаций при старте моделирования в программе Riverbed Modeler Academic Edition был выбран «Campus» (рисунок 4.6), как наиболее подходящий для условий моделирования [23].

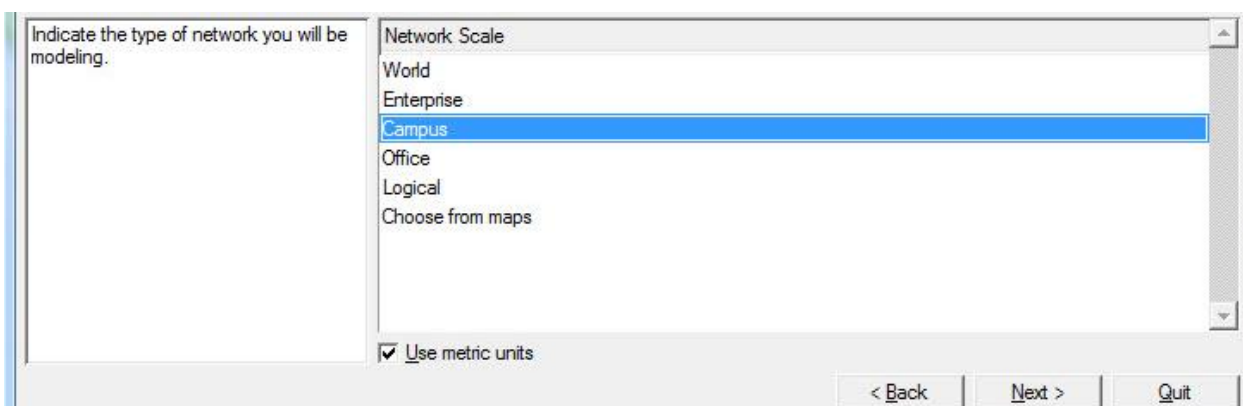


Рисунок 4.6 – Выбор локации в программе Riverbed Modeler Academic Edition

В качестве ограниченной зоны местности для моделирования была выбрана открытая площадка размером 100×100 метров (рисунок 4.7).

Из иерархического окна Wireless LAN на рабочую область были вынесены имитаторы – мобильные станции, над которыми в дальнейшем проводились исследования (рисунок 4.8).

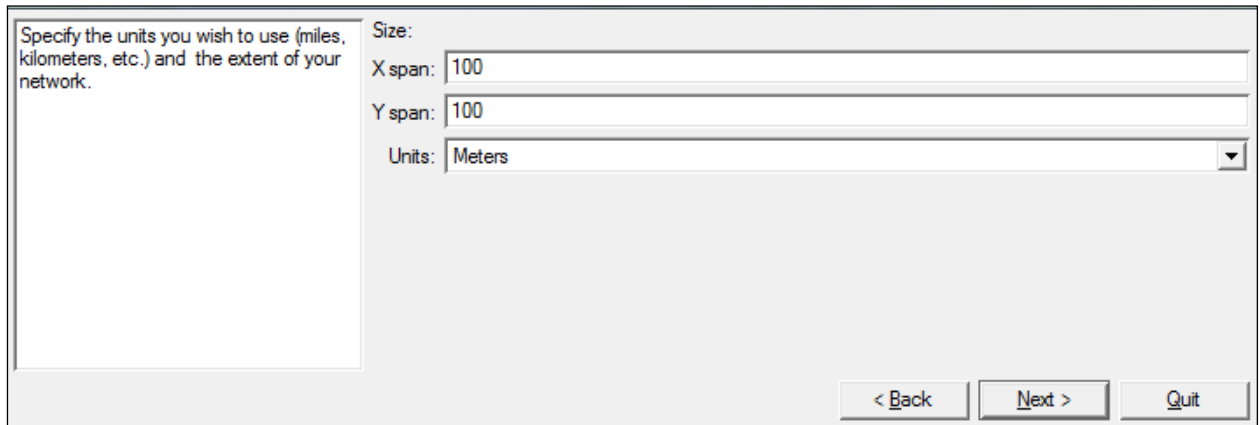


Рисунок 4.7 – Размер зоны, в которой проводилось моделирование в программе Riverbed Modeler Academic Edition

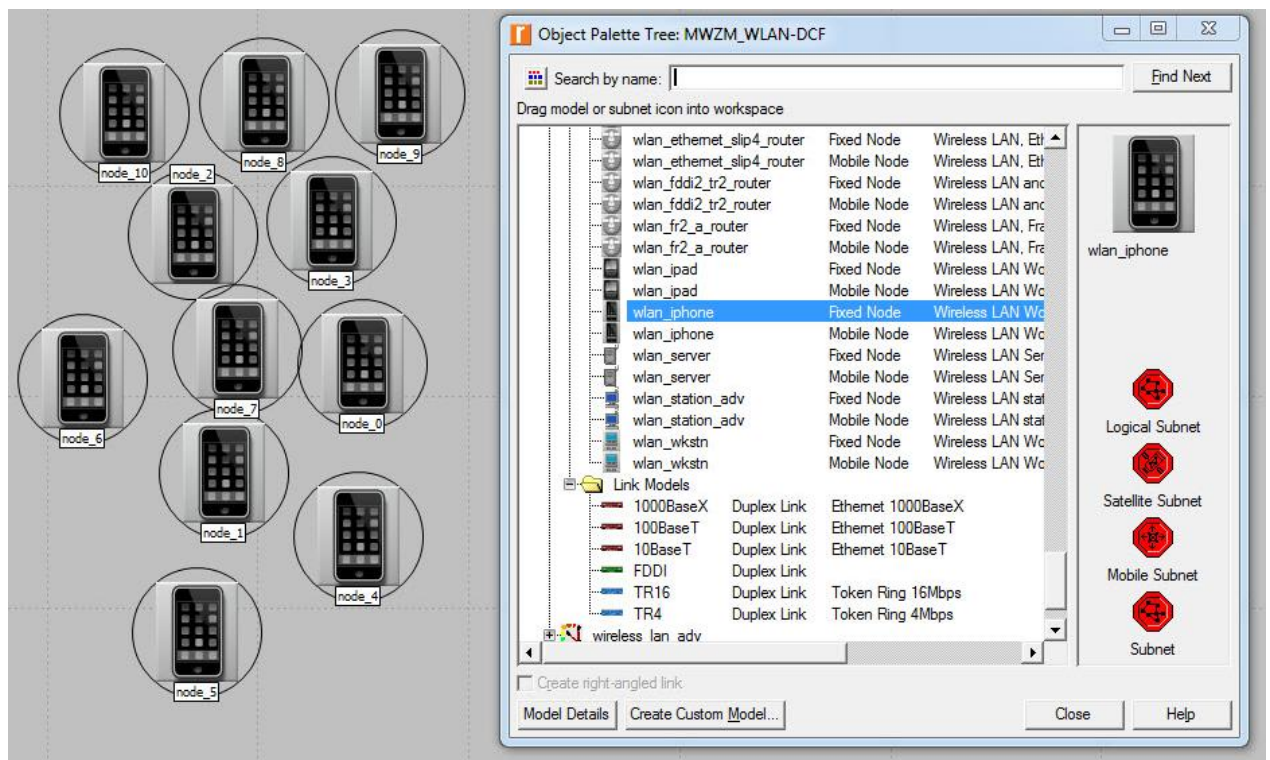


Рисунок 4.8 – Группа мобильных станций в программе Riverbed Modeler Academic Edition

4.4.1 Исследование влияния расстояния между главным узлом и одной мобильной станцией

Чтобы определить влияние расстояния между главным узлом и одной мобильной станцией на время прохождения Hello-пакета, при неработающих остальных МС группы и получить пределы среднестатистического значения проведем соответствующее моделирование. Для этого оставляем две мобильные станции. Устанавливаем их на расстоянии 80 м (рисунок 4.9).

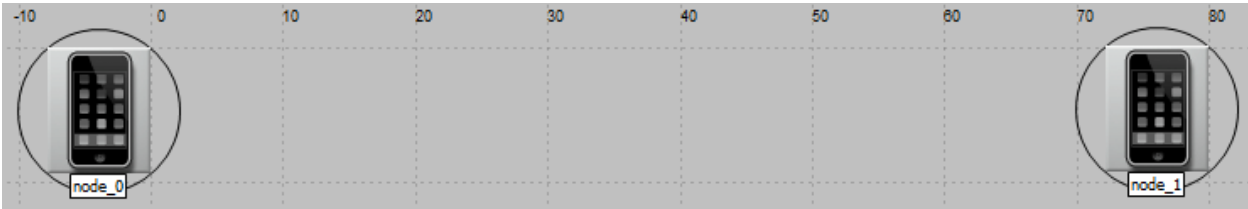


Рисунок 4.9 – Мобильные станции на расстоянии 80 м

В качестве главного узла выбран узел node_0, который в программе будет выполнять функции точки доступа. Тогда, учитывая данные, полученные при построении математической модели в разделе 3, для этого узла выберем настройки параметров в соответствии с [23] (таблица 4.2):

Таблица 4.2 – Настройки узла node_0 в режиме DCF

Узел node_0	
Параметр	Значение
Wireless LAN MAC Address	0
Destination Address	Random
Access Point Functionality	Enabled
PCF Functionality	Disabled
Transmit Power (мВт)	60
Packet Size (Байт)	Constant (512)

Параметр «Wireless LAN MAC Address» указывает адрес в сети, чтобы станции отличались друг от друга. Установка параметра адреса назначения («Destination Address») в «Random» означает, что точка доступа будет опрашивать мобильные станции в случайном порядке.

«Access Point Functionality» в режиме «Enabled» активирует узел node_0 как точку доступа.

В реальных абонентских терминалах (мобильных телефонах) выходная мощность Wi-Fi передатчика соответствует европейским ограничениям и по сертифицированным документам находится в пределах 60-70 мВт [22]. Следовательно, значение параметра «Transmit Power» (мВт) – мощность Wi-Fi передатчика мобильной станции node_0 – составляет 60 мВт.

«Packet Size» – означает, что узел node_0 генерирует пакеты размером соответственно 512 байт (размер пакета соответствует размеру HELLO-пакета, который точка доступа рассылает окружающим узлам [23]).

Настройки узла node_1 аналогичные и отличаются от node_0 присвоением значений MAC адреса – «1» и адреса назначения («Destination Address») – «0». Последнее означает, что узел node_1 будет отправлять сгенерированный трафик на узел node_0 (точку доступа). Так же отлично значение параметра «Access Point Functionality». Для узла node_1 – «Disabled», т.к. в сети только одна точка доступа (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Настройки узла node_1 в режиме DCF

Узел node_1	
Параметр	Значение
Wireless LAN MAC Address	1
Destination Address	0
Access Point Functionality	Disabled
PCF Functionality	Disabled
Transmit Power (мВт)	60
Packet Size (Байт)	Constant (512)

Далее создается дубликат сценария DCF – DCF_PCF, чтобы иметь возможность промоделировать централизованный режим PCF, о котором говорилось в разделе 3. Вводим настройки PCF (таблица 4.4):

Таблица 4.4 – Настройки узла node_0 в режиме PCF

Узел node_0	
Параметр	Значение
Wireless LAN MAC Address	0
Destination Address	Random
Access Point Functionality	Enabled
PCF Functionality	Enabled
Transmit Power (мВт)	60
Packet Size (Байт)	Constant (512)

Соответствующие настройки вводятся и для узлов node_1...N (кроме параметра «Access Point Functionality»).

После установки необходимых настроек проводим симуляцию в режиме DCF (рисунок 4.10)

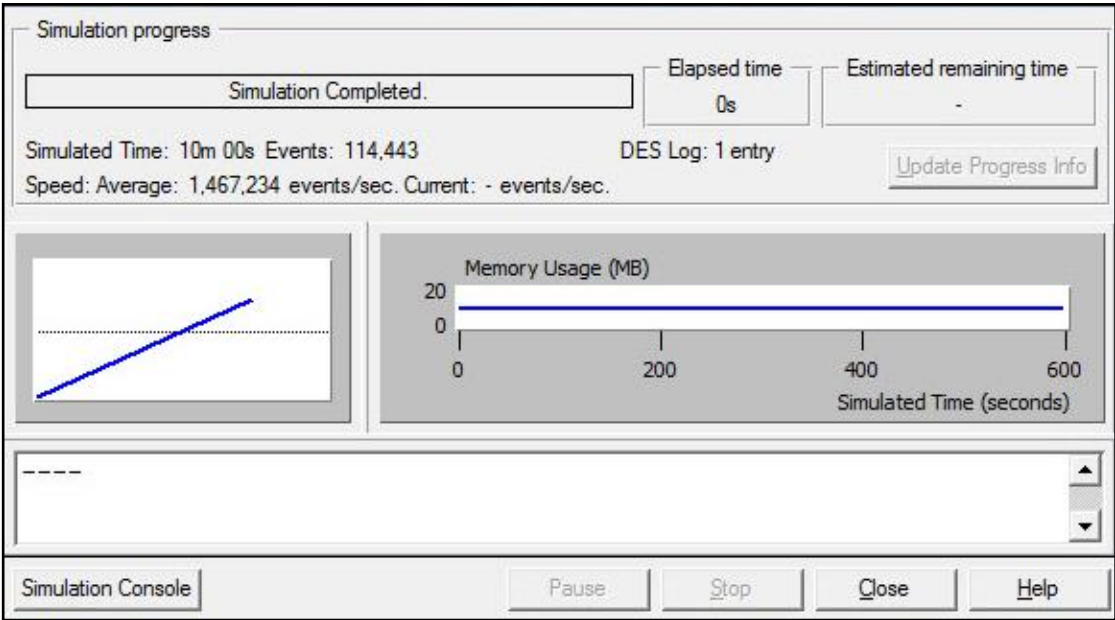


Рисунок 4.10 – Симуляция для режимов DCF и PCF

Выводим результаты на экран (рисунок 4.11):

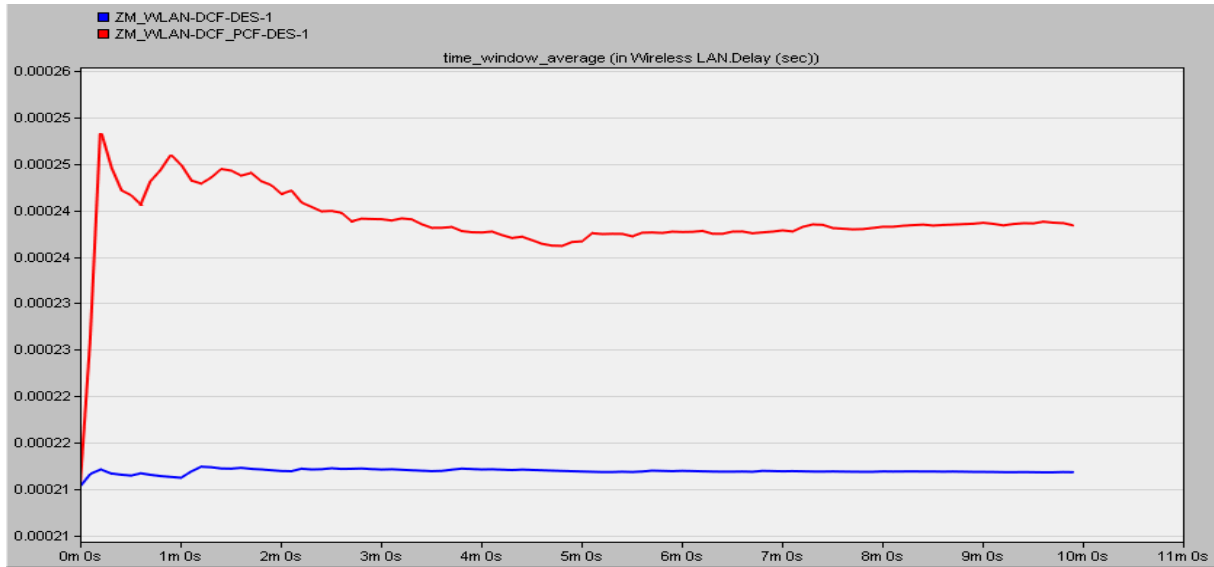


Рисунок 4.11 – Метрика Delay (sec)

Метрика Delay отражает задержку end-to-end для всех пакетов в сети. Данная величина включает в себя время, необходимое для доступа к среде передачи, приема всех фрагментов и передачу данных через точку доступа (AP). На рисунке отчетливо видно, что задержка пакетов в режиме DCF составляет стабильно около 210 мкс. А в централизованном режиме PCF – изменяется в пределах от 210 до 250 мкс. Перейдем к ожидаемой нагрузке (рисунок 4.12):

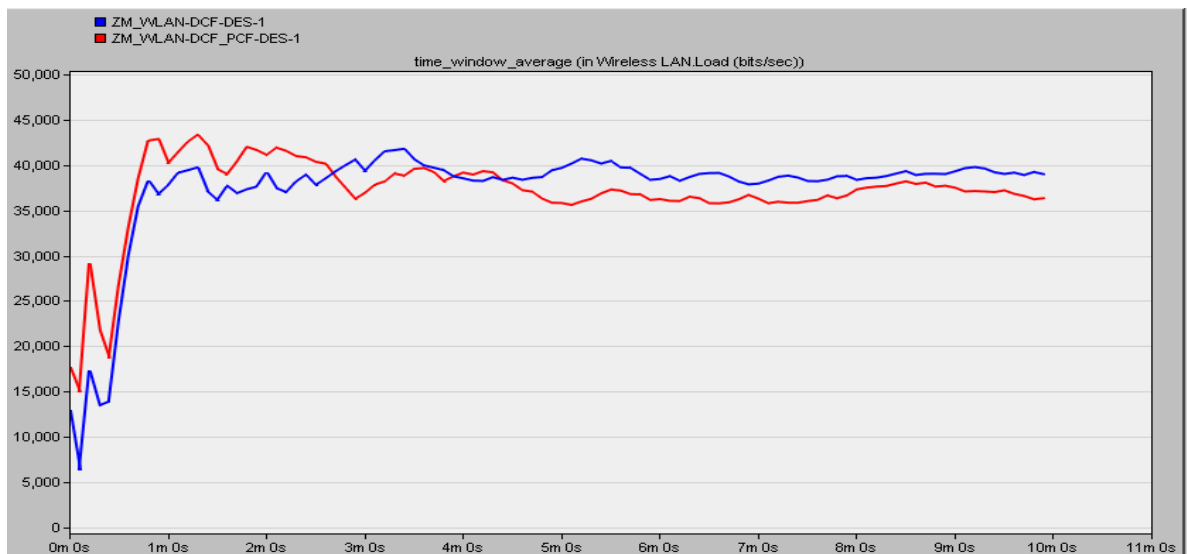


Рисунок 4.12 – Метрика Load

Метрика Load отражает суммарный поток данных, поступающий ото всех узлов в сеть (предложенная нагрузка). На рисунке 4.15 отчетливо видно, что предложенная нагрузка для режимов DCF и PCF изменяется в пределах примерно от 6000 до 47 000 бит/с. Перейдем к обслуженной нагрузке (рисунок 4.13).

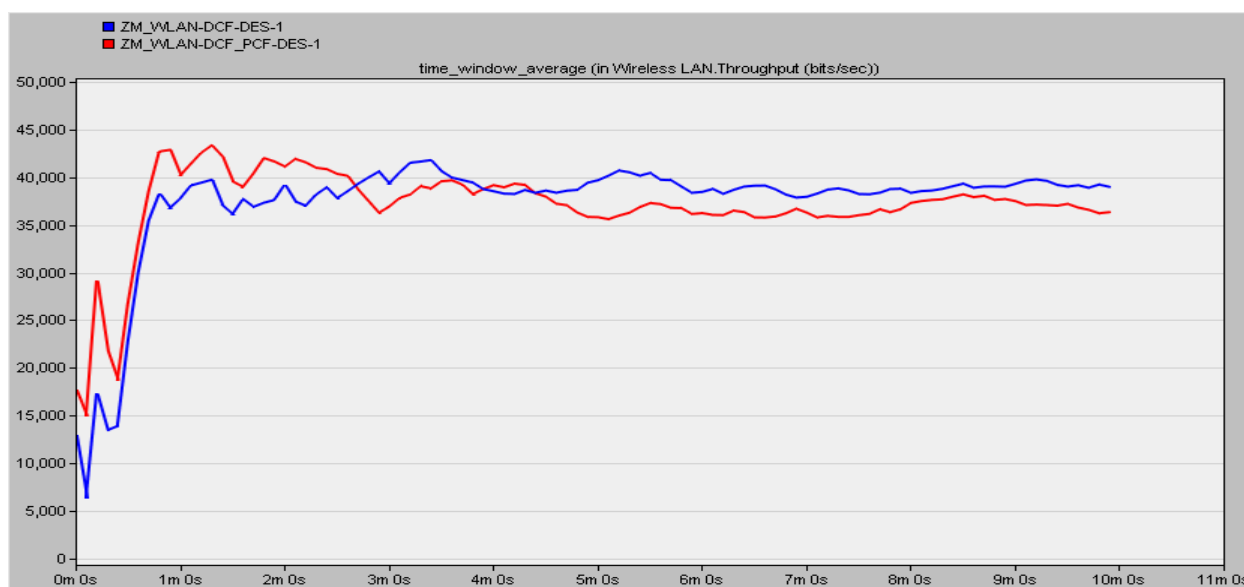


Рисунок 4.13 – Метрика Throughput

Метрика Throughput отражает суммарный поток данных, получаемый всеми узлами из сети (обслуженная нагрузка). Как видим на рисунке 4.13 – графики абсолютно одинаковы по сравнению с графиками метрики Load (рисунок 4.12), это говорит о том, что при передаче данных потерь пакетов не произошло.

Теперь установим мобильные станции на расстоянии 50 м вместо 80 м. Посмотрим, изменятся ли характеристики. Проводим симуляцию и выводим характеристики (рисунки 4.14, 4.15, 4.16).

Промежуточный вывод: при уменьшении дистанции между МС (с 80 на 50 м) наблюдается изменение метрики Delay – задержка пакетов уменьшилась приблизительно на 100 мкс.

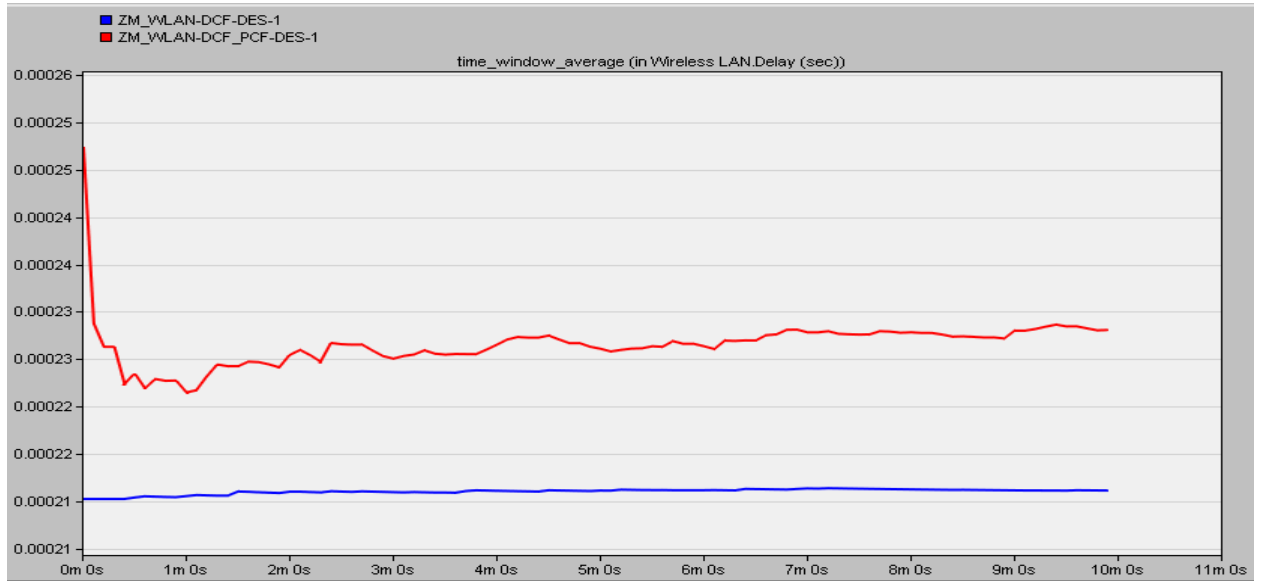


Рисунок 4.14 – Метрика Delay при расстоянии 50 м между МС

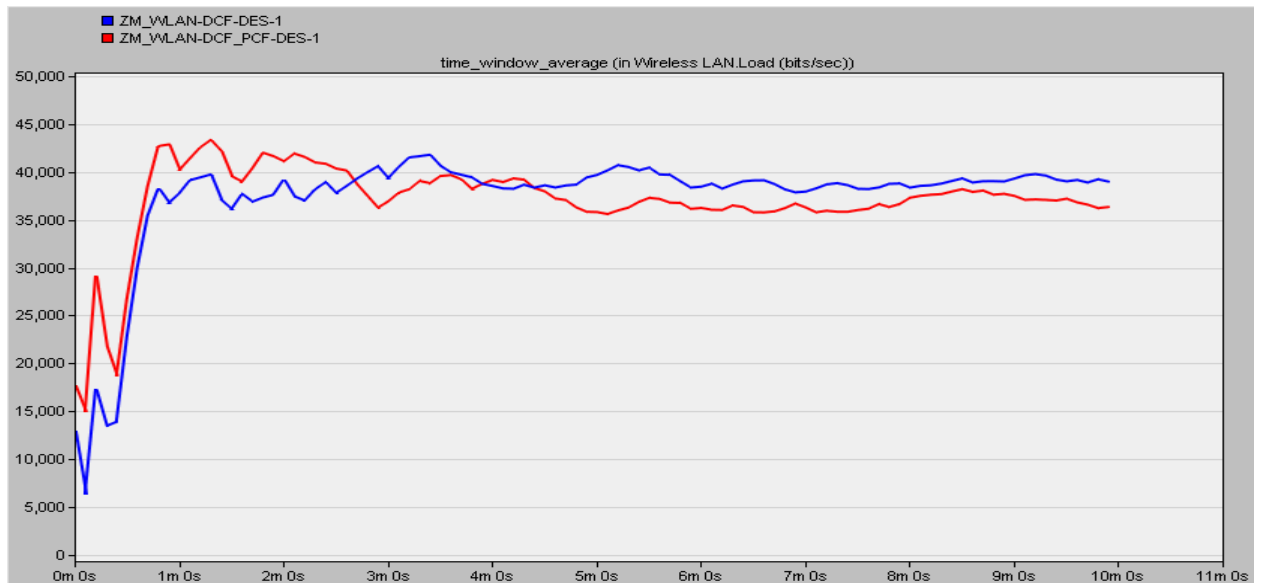


Рисунок 4.15 – Метрика Load при расстоянии 50 м между МС

Уменьшим расстояние между узлами до 10 м, чтобы отследить зависимость задержки в передаче пакетов от расстояния между узлами (рисунок 4.17):

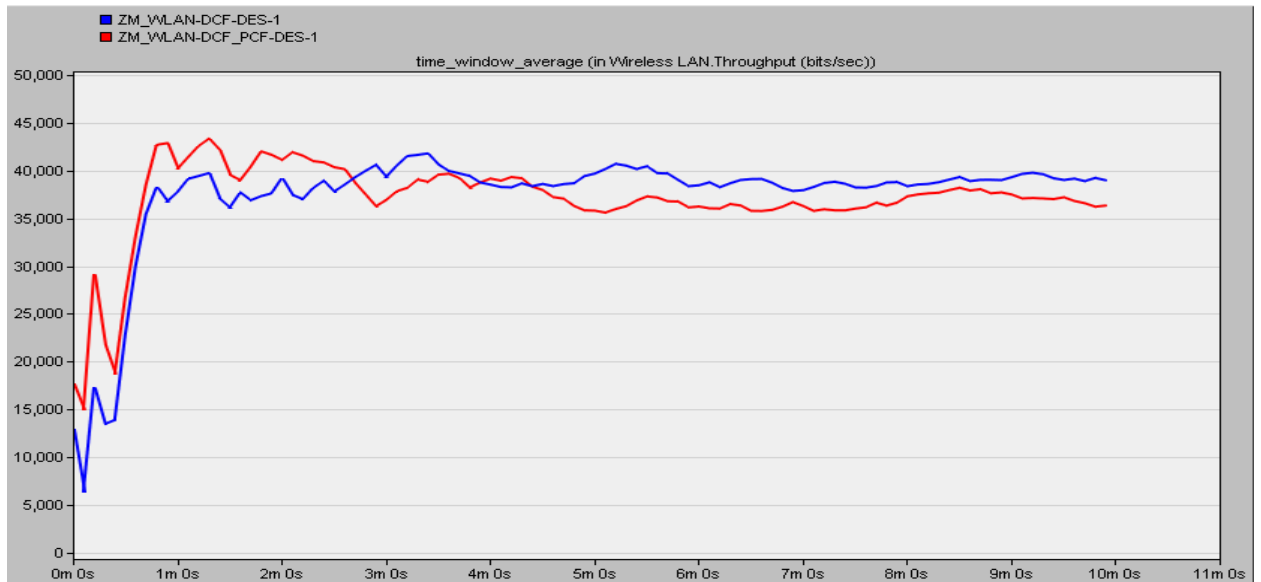


Рисунок 4.16 – Метрика Throughput при расстоянии 50 м между МС

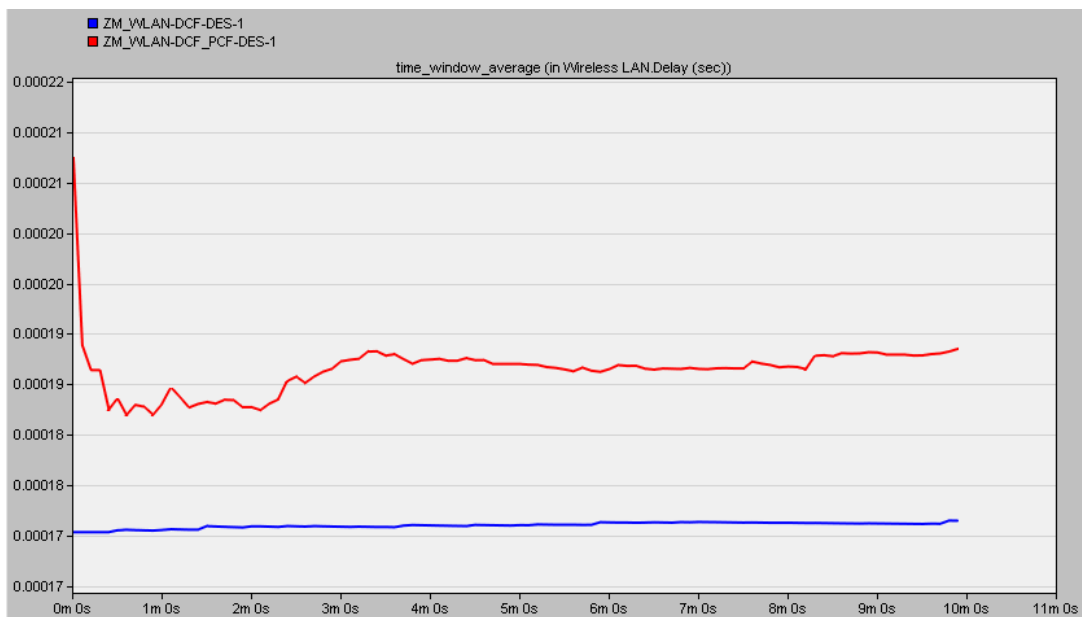


Рисунок 4.17 – Метрика Delay при расстоянии 10 м между МС

Для режима DCF значение метрики Delay – приблизительно 170 мкс при расстоянии в 10 м между узлами, а для режима PCF – от 185 до 210 мкс.

Вывод: при мощности Wi-Fi-передатчика в 60 мВт в зоне моделирования 100 x100 м расстояние между МС (точкой доступа) и МС вносит влияние на такие характеристики, как задержка end-to-end для всех пакетов в сети. То есть с увеличением расстояния увеличивается время задержки пакетов.

Для предложенной и обслуженной нагрузки графики во всех ситуациях – одинаковые. Потери пакетов так же не наблюдается.

4.4.2 Исследование влияния количества обслуживаемых главным узлом мобильных станций

Чтобы определить время прохождения Hello-пакета и получение на него ответа от одной МС, в зависимости от количества обслуживаемых главным узлом мобильных станций (включенных и работающих в этой группе от min до max возможного количества), а также получить пределы среднестатистического значения, добавим в зону моделирования группу мобильных станций (рисунок 4.18).



Рисунок 4.18 – Группа МС (расстояние 6 м между точкой доступа и МС)

Целесообразным будет исследовать характеристики группы МС на более меньшем расстоянии, чем для двух МС. Так как данное моделирование сопоставляется реальным условиям, где точка доступа будет опрашивать мобильные станции во время массового мероприятия, то в радиусе 50 м, на котором предполагается слишком много мобильных станций, опрос всех будет

нерациональным и малоинформативным. Следовательно, для группы МС моделирование проводится в зоне 10х10 м.

Выводим характеристики (рисунки 4.19, 4.20, 4.21).

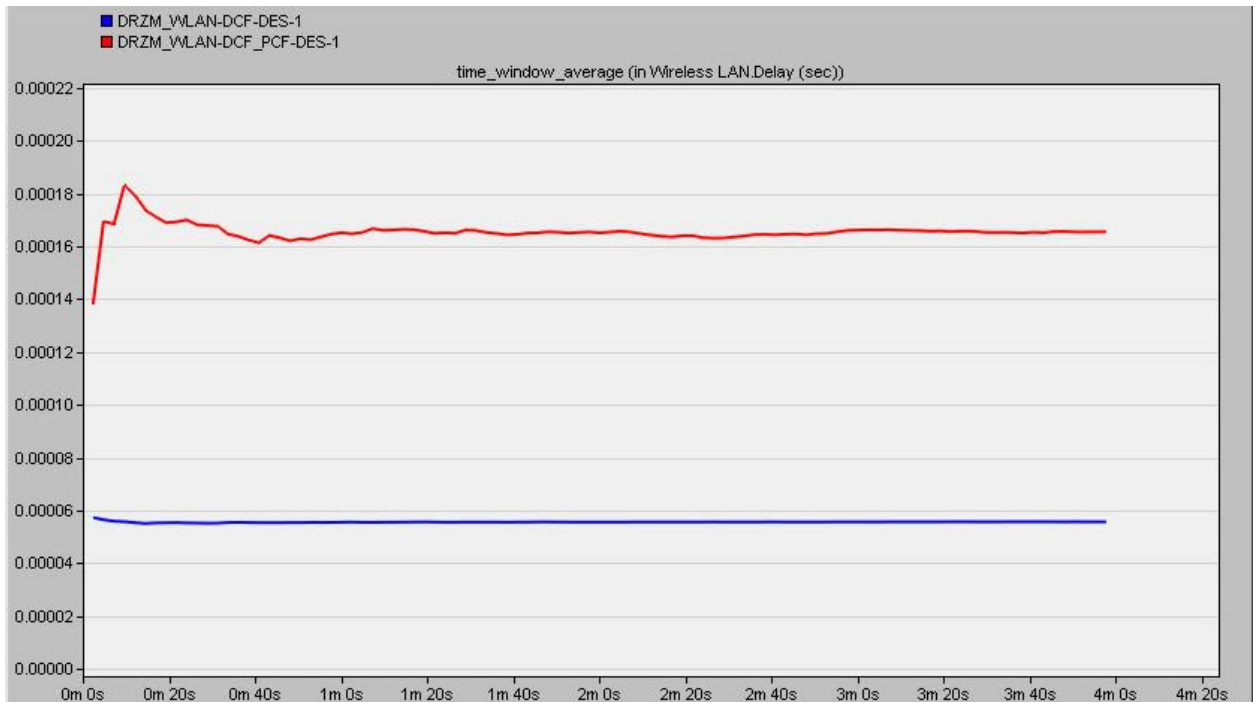


Рисунок 4.19 – Метрика Delay для группы МС

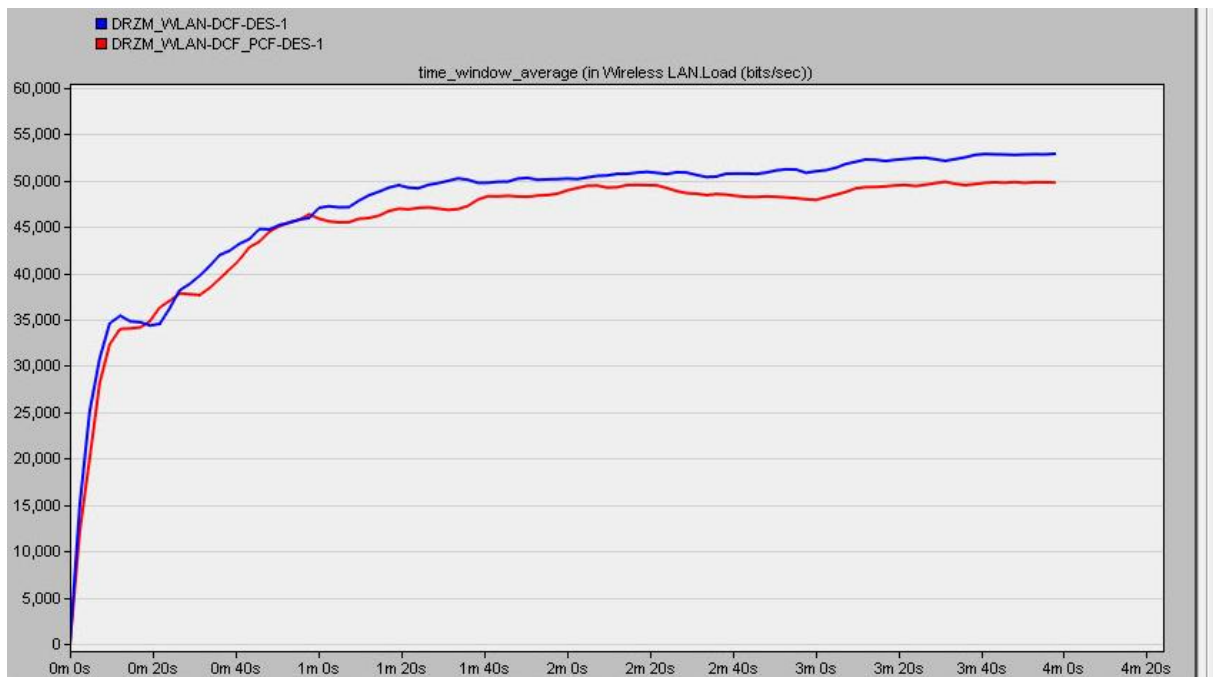


Рисунок 4.20 – Метрика Load для группы МС

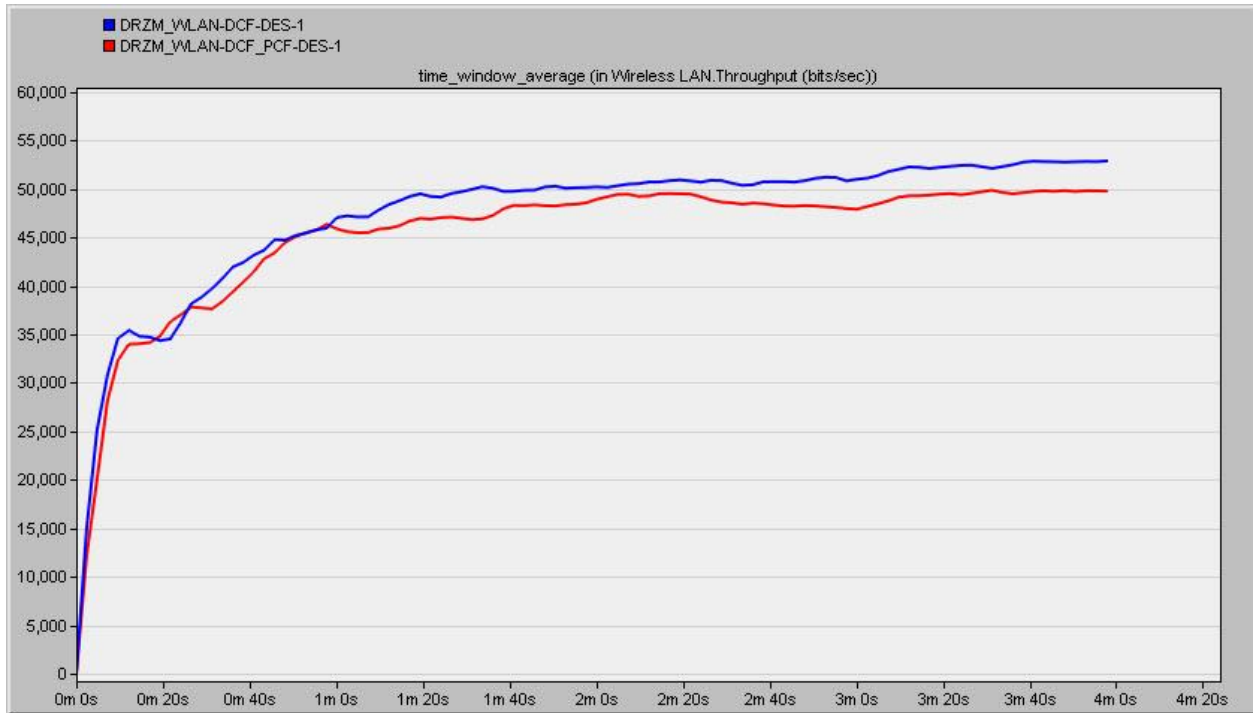


Рисунок 4.21 – Метрика Throughput для группы МС

Вывод: задержка пакетов в режиме DCF для группы МС составляет стабильно около 60 мкс. А в централизованном режиме PCF – изменяется в пределах от 140 до 190 мкс (рисунок 4.19). Наблюдается существенное увеличение нагрузки: в двух режимах она достигает 54 000 бит/с (рисунок 4.20). С добавлением мобильных станций в зону моделирования увеличилась как величина задержки пакетов, так и предложенная нагрузка. Однако метрика Throughput показала, что потерь пакетов, не смотря на перечисленные выше факторы, не наблюдается.

4.4.3 Исследование влияния размеров зоны нахождения мобильных станций в группе

Чтобы отследить изменение среднестатистического времени прохождения Hello-пакета и получение на него ответа от мобильных станций (для min, среднего и max значений возможного количества), в зависимости от размеров зоны нахождения мобильных станций в группе (для min, среднего и

тах значений возможного расстояния между МС и главным узлом), а так же показать, как влияет (не влияет) расстояние и количество работающих МС на среднестатистическое время прохождения Hello-пакета (за какое среднестатистическое время пройдет один полный круг опроса по всем МС группы) МС были расставлены следующим образом (рисунок 4.22).

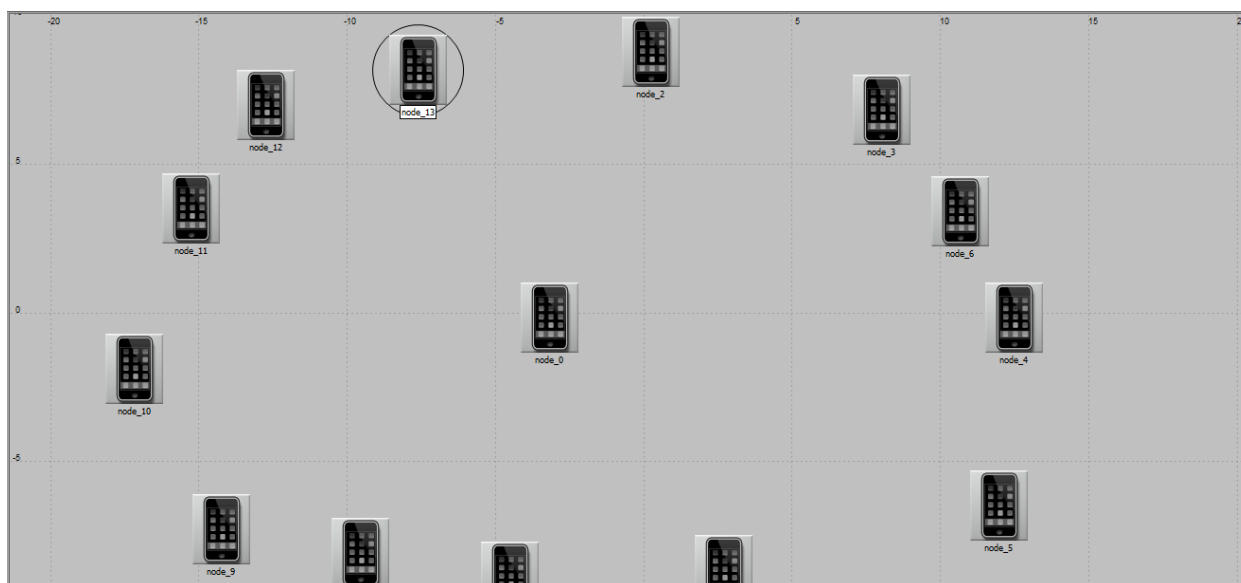


Рисунок 4.22 – Увеличение дистанции между группой МС и точкой доступа

Моделирование показало, что отличия от предыдущей ситуации имеются. Рассмотрим их на рисунке 4.23, 4.24, 4.25. На этих рисунках видим незначительные, но, тем не менее, изменения. Наблюдается небольшая разница между графиками задержек пакетов, однако решающего влияния на искомые и исследуемые величины – не оказывает.

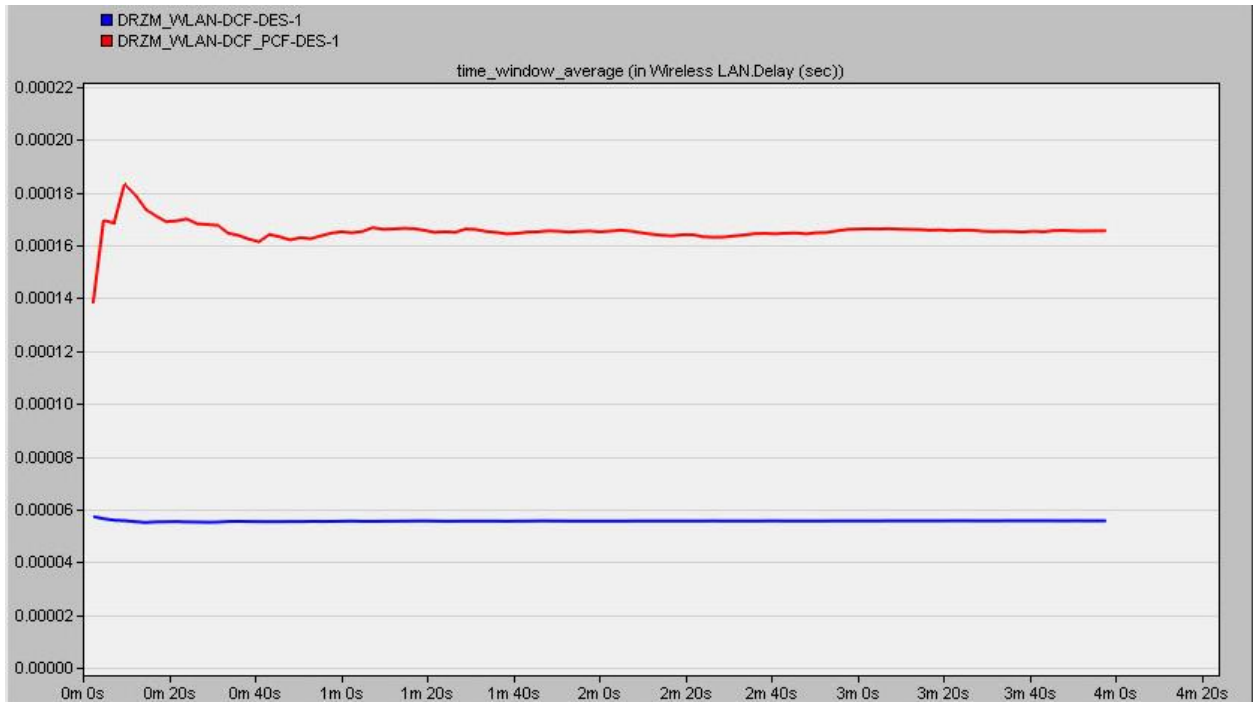


Рисунок 4.23 – Метрика Delay для группы МС с увеличением дистанции от точки доступа

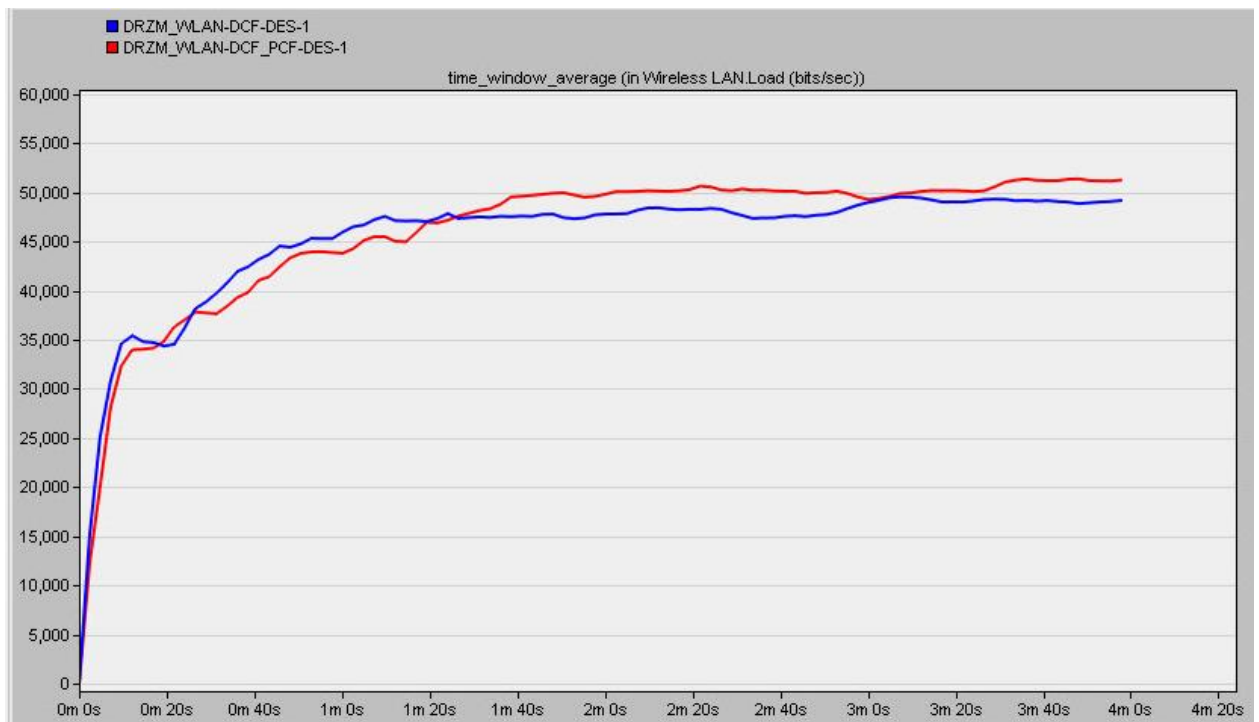


Рисунок 4.24 – Метрика Load для группы МС с увеличением дистанции от точки доступа

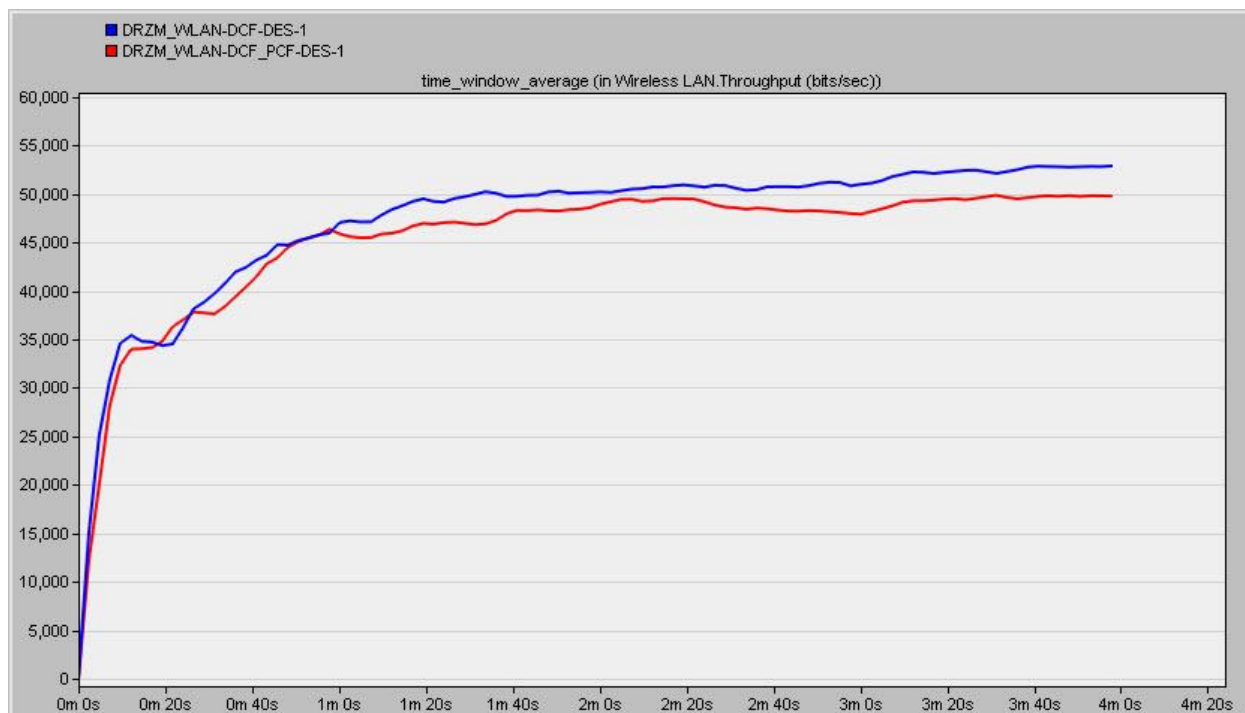


Рисунок 4.25 – Метрика Throughput для группы МС с увеличением дистанции от точки доступа

Вывод: изменения в отличие от предыдущей ситуации имеются. Но являются несущественными. Решающего влияния на искомые и исследуемые величины не имеют. Метрика Throughput показала, что вся нагрузка была обслужена. Потерь пакетов не имеется.

4.4.4 Сравнение результатов имитационного моделирования с математической моделью

В математической модели была рассчитана общая нагрузка для двух узлов сети (первый эксперимент). Она составила 40 574 (бит/с) (раздел 3).

Как видно на рисунках (4.12), (4.15) в конце оси времени (10 мин) максимальная нагрузка составляет примерно 39 500 бит/с. Отклонение теории от практики – 3%.

Также была рассчитана задержка на расстоянии 80м. Она составила 229 мкс, как видно на рисунке 4.11, где задержка составляет 240 мкс. Откло-

нение теории от практики – 4,5%. Для расстояния на 10 м - 177мкс, отклонение от практики также 4,5%.

Согласно имитационной модели, когда добавляется несколько узлов связи, соответственно экспоненциальная нагрузка от одного узла к точке доступа снижается. В отличие от первого эксперимента, где параметр экспоненциальной нагрузки G_1 (формула (3.26)), во втором эксперименте он составил $G_{гр}$ (формула (3.28)). Общее количество узлов, включая точку доступа, составило 8. Несмотря на то, что согласно таблице 1.1 сравнений беспроводных технологий передачи данных максимально возможное количество одновременно подключенных узлов в технологии Wi-Fi – 128.

Однако в эксперименте не получается добавить больше узлов, так как при имитации модели не хватает производительности ПК (персонального компьютера). Моделирование проводится одновременно для функций DCF и PCF.

Во втором эксперименте трафиком обменивались 7 узлов и одна точка доступа, соответственно общая, согласно теоретической части (раздел 3), загрузка 54 025.29 (бит/с). Также была рассчитана задержка на расстоянии 10 м – 190 мкс, а при расчете математической модели получилось значение 177мкс. Отклонение от практики также 4,5%.

Как видно на рисунке (4.20) в конце оси времени (10 мин) максимальная нагрузка составляет примерно 53 000 бит/с. Отклонение теории от практики – 2%.

В третьем эксперименте, при уменьшении расстояния до 5м изменилась лишь задержка пакетов до 165мкс, нагрузка осталась прежней 53 000 бит/с. По рассчитанной в математической части формуле, время задержки пакета составило 157 мкс, на рисунке 4.23 видно, что задержка составляет 165мкс. Отклонение от практики также 4,5%, как и в предыдущих случаях. Потери пакетов не было обнаружено.

5 ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО РЫНКА СОТОВОЙ СВЯЗИ УКРАИНЫ

5.1 Важность мобильной связи на сегодняшний день

Технологический прорыв человечества в двадцатом веке привнёс в жизнь людей много новых изобретений и захватывающих открытий, которые стали неотделимой частью нашей комфортной жизни в сегодняшнее время. Очень многое сделано и внедрено в нашу повседневную жизнь благодаря средствам связи, по важности занимающее далеко не последнее место.

Современного человека практически невозможно представить без мобильного телефона. Не имея возможность созвониться с людьми или выйти в Интернет, человек сразу чувствует себе дискомфортно. Хочешь отнять у человека все – начни с мобильного телефона.

Без сотовой связи, которую мы используем каждый день, становится сложно представить нашу жизнь. Благодаря ей мы всегда можем поддерживать связь с родственниками и друзьями, людьми, которые дороги нам. Да и сам сотовый телефон перестал быть только непосредственно средством связи, превратившись в многофункциональный инструмент, с помощью которого помимо совершения звонка, можно общаться в соцсетях, искать и делиться информацией, оставаться в курсе последних новостей.

Развитие стандартов сотовых сетей дало возможность приобрести абонентам доступ к скоростному интернету, что позволяет открыть новые границы и возможности использования телефона. Помимо голоса при звонке, мы так же можем наблюдать собеседника, вне зависимости от расстояния между нами. Распространение информации при использовании современных каналов связи намного упрощают момент получения или же распространения информации.

При наличии средств связи многие вещи, на которые раньше тратилось большое количество времени или сил, стали проще и доступнее. Время,

затраченное на стояние в очередях при осуществлении различных покупок либо же оплаты коммунальных счетов, теперь можно инвестировать в что-то более приятное, ведь все это можно делать, не выходя из дома, и за пару минут. Оформление банковских карточек или выполнения любых услуг по переводу денег с каждым годом становится все проще и мобильнее, создавая максимальный комфорт для пользователей.

Также можно быть более спокойным за безопасность людей, в особенности детей. При помощи специальных опций, которые могут быть оговорены с оператором можно отслеживать местонахождения своих близких и родственников, даже не созваниваясь при этом с ними.

На сегодняшний день сотовые технологии не перестают развиваться и продолжают увеличивать объемы передачи данных. Эксперты прогнозируют, что внедрение пятого поколения позволит открыть для пользователя еще больше услуг, которые, будут еще удобнее в использовании. Дистанционное управление автомобилем, целым умным домом, либо одной из его частей – далеко неполный список будущих услуг, которыми мы вскоре будем пользоваться.

Рост и развитие поколений связи очень стремителен и перехода от одного поколения к другому происходит очень быстро. То, что считалось предметом роскоши еще вчера, сегодня является чем-то повседневным, и с каждым годом это касается все большего количества услуг и вещей.

5.2 Особенности рынка сотовой связи Украины

К концу 2017 года операторы сотовой связи Украины заканчивают комплектацию и вносят коррективы в конфигурацию работы своей 3G-сети, расширяют ее, делая покрытие более «ковровым». В 2018 году ожидается переход к четвертому поколению сотовой связи – LTE.

В настоящее время у некоторых операторов Украины наблюдается поднятие минимальных тарифов для пользования услугами мобильного Ин-

тернета. Это обусловлено большими затратами на обеспечение «коврового» 3G-покрытия. В это же время конкуренты обещают десятки гигабайт за относительно небольшие деньги. Это объясняется большой разницей в количестве установленных 3G-вышек (естественно в меньшую сторону) [24].

В условиях такой конкуренции операторы сотовой связи ведут борьбу за каждого абонента, предлагая более выгодные условия. Широкая абонентская база – важный показатель для любой компании сотовой связи. Для пользователей же важным является качество предоставляемых услуг. Поэтому обрывы во время сеанса связи, отсутствие доступа к сети Интернет, некачественное подключение, невозможность сделать звонок (нет наличия покрытия) – повод задуматься о смене оператора, особенно, если это экстренный случай.

Но как бы быстро не шагали вперед технологии сотовой связи, остается извечная проблема – плохое качество связи во время массовых гуляний, мероприятий, митингов, спортивных мероприятий.

Украинские операторы разворачивают свои передвижные базовые станции, инженеры по качеству закупают новейшие технологии дистанционного управления углом наклона антенн. Однако этого не хватает для всех. С развитием разнообразных услуг и приложений в месте скопления большого количества людей наблюдаются отправка и прием все большего объема трафика. Технологии сотовой связи порой просто не выдерживают такой нагрузки.

Данный проект предусматривает новый способ мониторинга миграции абонентов с целью улучшения качества услуг сотовой связи. Если дать возможность получать предварительные данные по передвижению абонентов, направлению (количеству) движения, то оборудование сотовой сети связи сможет само конфигурировать свою работу, чтобы обеспечить качественные сервисы, быть готовым к обслуживанию большого количества.

Благодаря введению нового способа мониторинга миграции абонентов оператор сотовой связи сможет обслужить большее количество абонентов,

передать большой объем трафика с меньшими потерями. Это повысит качественные показатели компании, что, несомненно, поднимет рейтинг оператора сотовой связи и повысит абонентскую базу. Все перечисленное выше - отличная платформа для будущей работы в условиях конкуренции в четвертом поколении сотовой связи.

Рассмотрим проблему нагрузки сотовой сети на примере спортивного мероприятия – футбольного матча между ФК Зоря и ФК Шахтер, который состоялся 25.10.2017 на стадионе «Славутич –Арена» (г. Запорожье). На этом событии присутствовало 5 511 человек [25]. График нагрузки (2G) одной из ближайших базовой станции от стадиона «Славутич – Арена» базовых станций (оператор не разглашается) показан на рисунке 5.1.

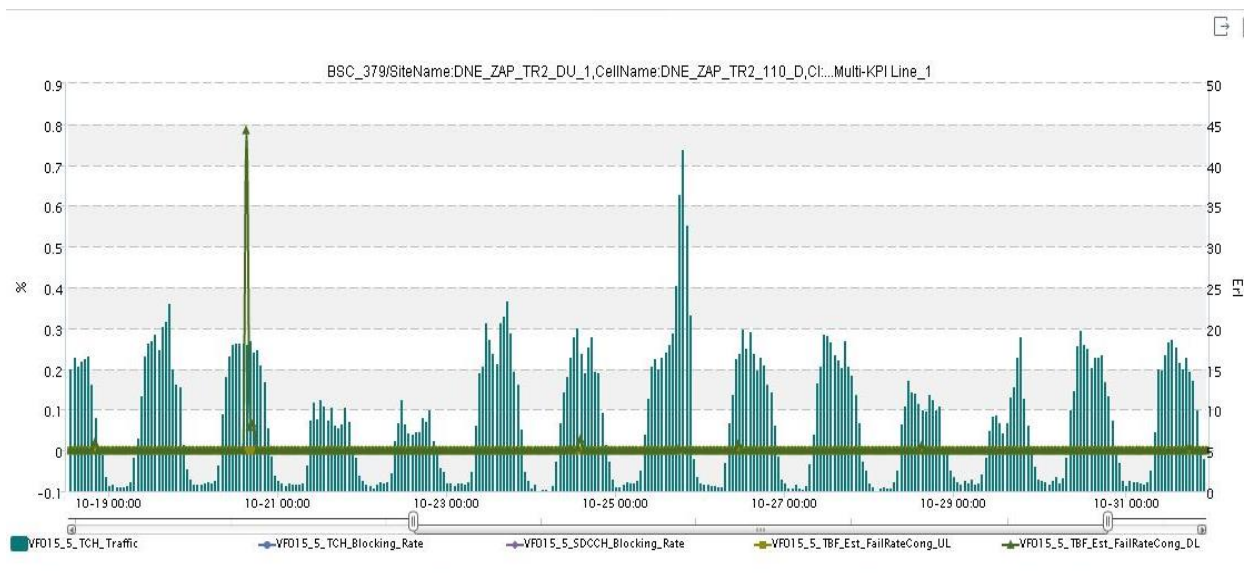


Рисунок 5.1 – График объема потребления услуг связи оператора Vodafone (2G) БС возле «Славутич–Арены»

На рисунке 5.1 видим, что нагрузка БС во время футбольного матча составляет примерно 43 Эрланта, что почти в 2 раза превышает максимальную нагрузку в будние дни, когда «Славутич-Арена» не принимает массовые мероприятия.

Примерно такая же ситуация наблюдается с нагрузкой 3G-трафика на базовую станцию, что видно на рисунках 5.2 и 5.3.

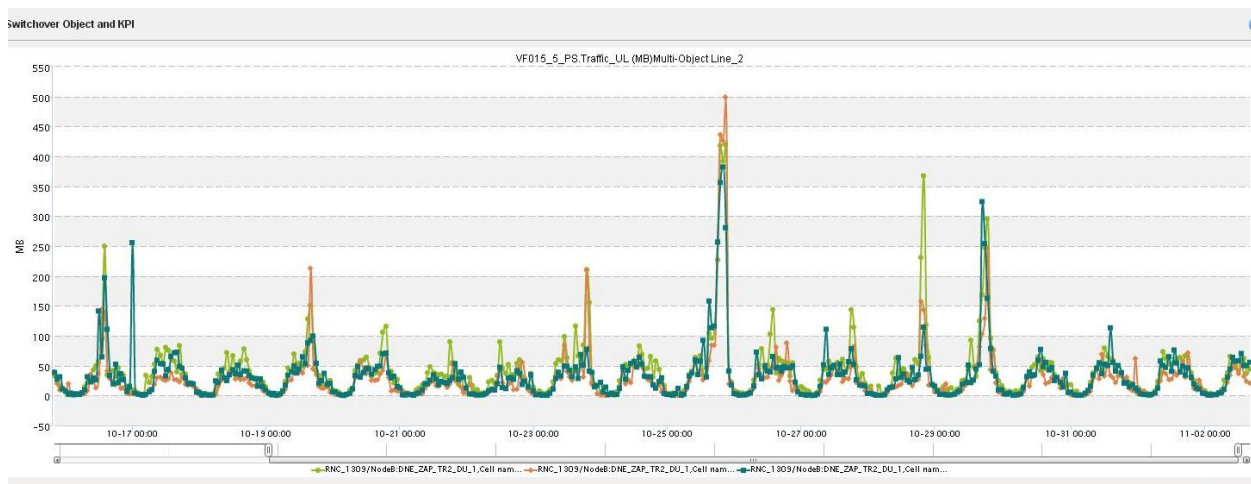


Рисунок 5.2 – График объема потребления услуг связи оператора Vodafone (3G) БС возле «Славутич–Арены». Канал Up-Link (от мобильной станции к базовой станции)

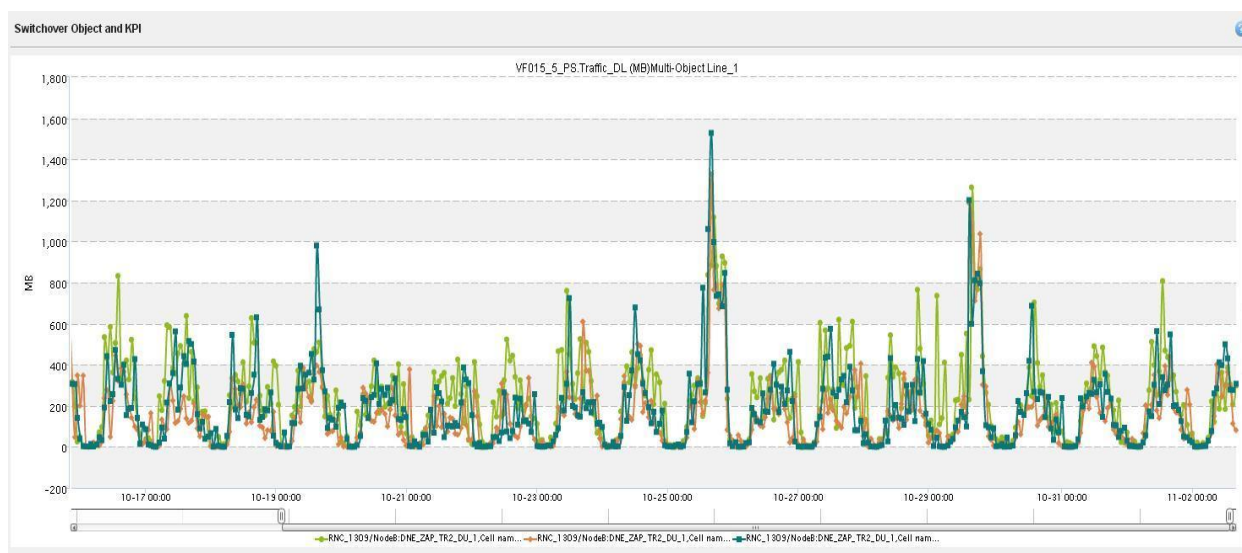


Рисунок 5.3 – График объема потребления услуг связи оператора Vodafone (3G) БС возле «Славутич–Арены». Канал Down-Link (от базовой станции к мобильной станции).

На рисунках видим, что пиковая нагрузка (3G) по каналу Up-Link во время футбольного матча составила около 500 Мб, а по каналу Down-Link – примерно 1500 Мб. Это в разы превышает нагрузки в нерабочие дни футбольного стадиона. На рисунках по бокам так же видны резкие всплески нагрузки, что объясняется расположением БС рядом с центром города, а так-

же выходными днями, когда наблюдаются незначительные, но скопления абонентов в местах отдыха.

Рассмотрим еще один график на рисунке 5.4.

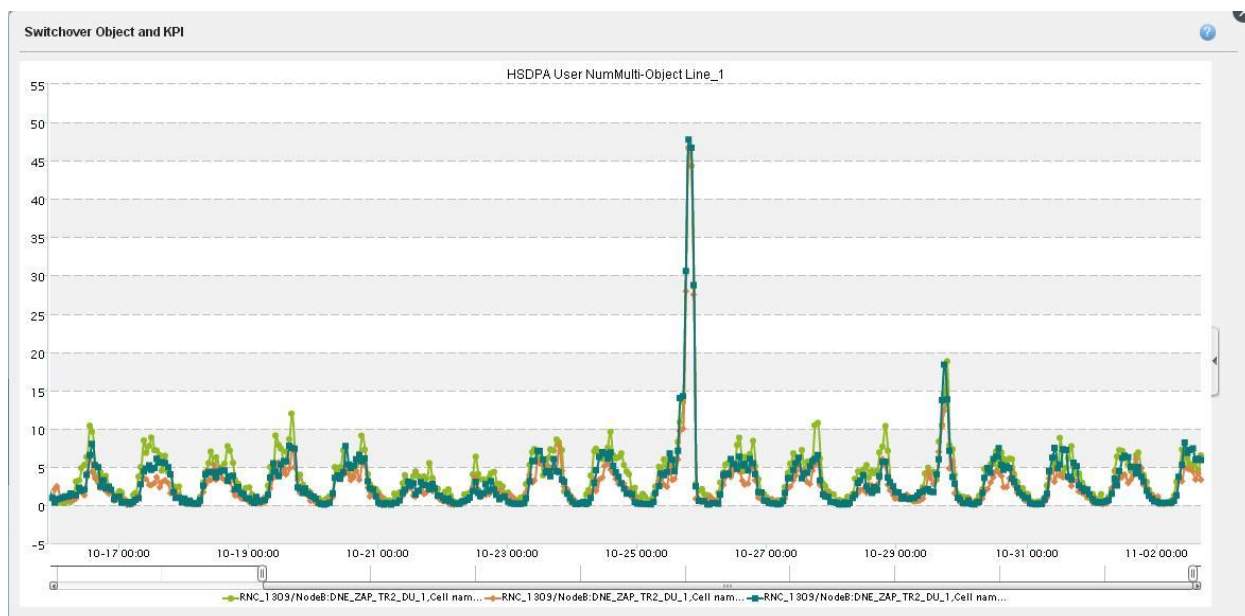


Рисунок 5.4 –График, отражающий количество людей, одновременно использующих сервис HSDPA во время футбольного матча

На рисунке 5.4 видим, что во время матча в пик нагрузки в единицу времени сервис HDSPA одновременно используют почти 50 человек, что в разы больше, что в обычные дни.

Внедрение мониторинга миграции абонентов поможет избежать таких ситуаций, связанных с перегрузкой мобильной сети и в других местах города Запорожье (ТЦ Украина, ТЦ Аврора, пл. Фестивальная, пр. Metallургов, ТЦ CITY MALL).

5.3 Расчет затрат на реализацию проекта

Особенностью данной работы является то, что для ее реализации не нужно будет закупать большое количество нового оборудования. Вся новизна заключается в особенности программирования. Коррективы и введения в систему сотовой сети связи позволят повысить качество предоставляемых

услуг связи, уменьшить количество потерь, что, несомненно, принесет дополнительную финансовую прибыль.

Основные затраты пойдут на создание, доставку, установку, настройку, содержание и обновление лицензионного программного обеспечения (ПО).

Для качественного программного обеспечения нужна мощная платформа для работы. Для быстрой, точной, оперативной и качественной работы нужны мощные персональные компьютеры с современными комплектующими.

Важной составляющей экономической части данной работы является амортизация оборудования (персональных компьютеров). Срок эксплуатации для ПК гарантированно составляет 10 лет. Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A_{\text{м}} = A_{\text{оборудования}} / T_{\text{экспл}}, \quad (5.1)$$

где $A_{\text{м}}$ – амортизация оборудования, грн;

$A_{\text{оборудования}}$ – общая стоимость оборудования, грн;

$T_{\text{экспл}}$ – срок эксплуатации оборудования, годы.

Что касается аренды помещения, то для данной работы его не учитывают, так как считается, что компания (оператор сотовой связи) предоставит рабочее место специалистам по работе с новым ПО (программным обеспечением) в уже существующем офисе, так как им необходима оперативная работа с существующими специалистами, а при необходимости – и оборудованием.

Сводные данные по стоимости оборудования и лицензионного программного обеспечения приведены в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Затраты на оборудование и лицензионное ПО, грн

Оборудование	Высокопроизводительные ПК	Лицензионное ПО
Модель	Everest MSI Dragon ПК 9057	Мониторинг Абонентов
Количество	3	1
Цена за единицу, грн	26 831	100 000
Доставка, грн (1% от стоимости всех ПК / ПО)	804.93	1000
Установка, грн (всех ПК / ПО)	1500	3000
Настройка, грн (всех ПК / ПО)	1500	3000
Амортизация, грн (всех ПК)	8049.3	-
Σ, грн	92347.23	107000
Всего, грн	199 347.23	-

В техническом центре компании (оператора сотовой связи) должен находиться специалист, который будет работать с сетью связи и непосредственно с ПО. Его задачей будет уметь пользоваться программным обеспечением, чтобы следить за происходящими перемещениями абонентов в сети, реагировать на них, а в случае перегрузок - своевременно запустить необходимый модуль программы, чтобы избежать потерь. Следует нанять трех таких специалистов, чтобы обеспечить комфортный график, т.к. в подобной

работе необходима постоянная концентрация и умение оперативно реагировать и принимать решения. В теоретическом расчете указывается зарплата за 3 месяца.

22% общего фонда составляют социальные отчисления.

Сводные данные по заработной плате сотрудников приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Зарботная плата сотрудников (за 3 месяца)

№ п/п	Должность	Основная заработная оплата (за 1 месяц), грн	Дополнительная оплата (за 1 месяц), грн
1	Программист	14 000	2 000
2	Программист	14 000	2 000
3	Программист	14 000	2 000
Фонд оплаты труда (Σ за 3 месяца), грн	144 000		
Социальные отчисления (22% от Σ)	31 680		
Всего	175 680		

Общая сумма затрат рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{общая } \Sigma} = Z_{\text{оборудования/ПО}} + \Phi_{\text{от}} \quad (5.2)$$

где $Z_{\text{общая } \Sigma}$ – общая Σ затрат на реализацию проекта, грн;

$Z_{\text{оборудования/ПО}}$ – общая Σ затрат на оборудование и лицензионное ПО, грн;

$\Phi_{\text{от}}$ – заработная плата сотрудников (за 3 месяца), грн.

Рассчитаем общую сумму затрат на реализацию проекта:

$$Z_{\text{общая } \Sigma} = Z_{\text{оборудование/ПО}} + \Phi_{\text{от}} = 199\,347.23 + 175\,680 = 375\,027.23 \text{ грн.}$$

5.4 Балльная оценка экономической эффективности проекта

Балльная оценка проводится по следующим важным показателям:

- важность разработки K_1 ;
- возможность использования результатов разработки K_2 ;
- теоретическая значимость и уровень новизны исследования K_3 ;
- сложность разработки K_4 .

Шкала для оценки важности разработки, оценки возможности использования результатов разработки, оценки уровня новизны, оценки сложности разработки приведены в таблицах 5.3, 5.4, 5.5, 5.6.

Таблица 5.3 – Шкала для оценки важности разработки (K_1)

№ п/п	Показатель	Баллы
1	Инициативная работа, которая не является частью комплексной программы, или заданием ведомственных органов	1
2	Работа, выполняемая по договору о научно-технической помощи	3
3	Работа представляет часть ведомственной программы	5
4	Работа представляет часть ведомственной комплексной программы	7
5	Работа представляет часть международной комплексной программы	8

Для данной работы коэффициент важности разработки (K_1) равняется

5.

Таблица 5.4 – Шкала для оценки возможности использования результатов разработки (K_2)

№ п/п	Показатель	Баллы
1	В данном подразделении	1
2	В данной организации	3
3	Во многих организациях	5
4	В масштабах страны	8

Для данной работы коэффициент возможности использования результатов разработки (K_2) равняется 3.

Таблица 5.5 – Шкала для оценки теоретической значимости и уровня новизны исследования (K_3)

№ п/п	Показатель	Баллы
1	Анализ, обобщение известной информации. Подобные результаты были известны исследуемой области.	2
2	Получение новой информации, которая дополняет знания про суть исследуемых процессов, не известной в исследуемой области	3
3	Получение информации, которая меняет представление про суть исследуемой области, не известной ранее	5
4	Создание новых теорий, методик	6
5	Получение информации, которая способствует формированию новых направлений, не известной ранее	8

Для данной работы коэффициент теоретической значимости и уровня новизны исследования (K_3) равняется 3

Таблица 5.6 – Шкала для оценки сложности разработки (K_4)

№ п/п	Показатель	Баллы
1	Работа выполняется одним подразделением, расходы менее 10 000 грн.	1
2	Работа выполняется одним подразделением, расходы 10 000 – 50 000 грн.	3
3	Работа выполняется одним подразделением, расходы 50 000 – 100 000 грн.	5
4	Работа выполняется с участием многих подразделений, расходы 100 000 – 500 000 грн.	7
5	Работа выполняется несколькими организациями, расходы более 500 000 грн.	8

Для данной работы коэффициент сложности разработки (K_4) равняется 7.

Общая оценка (обозначим как I_n) ставится по произведению всех коэффициентов:

$$I_n = E_1 * E_2 * E_3 * E_4, \quad (5.3)$$

где E_1 – коэффициент важности разработки;

E_2 – коэффициент возможности использования результатов разработки;

E_3 – коэффициент теоретической значимости и уровня новизны исследования;

E_4 – коэффициент сложности разработки.

Удельный эффект на каждый балл – 2 000 грн.

Общий эффект от разработки рассчитывается по формуле:

$$A_{\text{общ_эф}} = \ln 2\,000 * E_1 * E_2 * E_3 * E_4, \quad (5.4)$$

где $A_{\text{общ_эф}}$ – общий эффект от разработки, грн;

E_1 – коэффициент важности разработки;

E_2 – коэффициент возможности использования результатов разработки;

E_3 – коэффициент теоретической значимости и уровня новизны исследования;

E_4 – коэффициент сложности разработки.

Рассчитаем общий эффект от разработки:

$$A_{\text{общ_эф}} = \ln 2\,000 * E_1 * E_2 * E_3 * E_4 = 5 * 3 * 3 * 7 * 2\,000 = 630\,000 \text{ грн}$$

Экономическая эффективность от реализации дипломного проекта определяется с помощью коэффициента эффективности, который характеризует часть общего эффекта от разработки, что приходится на 1 грн. затрат.

$$K_e = A_{\text{общ_эф}} / Z_{\text{общая_}\Sigma}, \quad (5.5)$$

где K_e – коэффициент эффективности;

$A_{\text{общ_эф}}$ – общий эффект от разработки, грн;

$Z_{\text{общая_}\Sigma}$ – общая сумма затрат на реализацию проекта, грн

Рассчитаем коэффициент эффективности:

$$K_e = A_{\text{общ_эф}} / Z_{\text{общая_}\Sigma} = 630\,000 / 375\,027.23 = 1,68$$

Вывод: таким образом, проект имеет перспективу развития и в дальнейшем может использоваться операторами сотовой связи для мониторинга миграции абонентов с целью улучшения качества предоставляемых сервисов,

повышения абонентской базы, что, в свою очередь, повысит прибыль компании.

Внедрение оператором мобильной связи данного мониторинга миграции абонентов в кластере сети сотовой связи расположит к себе абонентов, так как это даст возможность людям в местах массового скопления людей получать качественные сервисы:

- люди смогут узнавать о последних важных новостях;
- отслеживать место положения (с помощью специальных приложений) родных и близких, когда это особенно необходимо;
- оставаться на связи с коллегами, быть в курсе всех событий в выходные и праздничные дни, когда перегрузки могут повлиять на сервис, особенно когда этого требует должность;

Помимо качественных сервисов внедрение мониторинга оптимизирует рабочий процесс и техническое оборудование компании, что уменьшит его износ.

Компания сможет более рационально задействовать кадровый состав, более целесообразно использовать оборудование сотовой связи [26].

6 ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Мониторинг миграции абонентов в кластере сети сотовой связи – система, позволяющая заранее определять направление передвижения групп абонентов с целью изменения конфигурации работы оборудования для обеспечения предоставления качественных сервисов. Целесообразность выше упомянутого мониторинга обосновывается тем, что он будет актуален как в местах массового скопления людей (митинги, массовые гуляния, спортивные мероприятия), так и в условиях чрезвычайной ситуации. Реализация данной работы позволит уменьшить количество обрывов, разгрузит сеть (снизит занятость каналов), а это в свою очередь увеличит количество абонентов, которые смогут одновременно использовать GSM и UMTS каналы. В условиях массового скопления людей и чрезвычайной ситуации это позволит сохранить жизни людей. В данной работе были рассмотрены технические, экономические аспекты. Также учтена безопасность персонала, осуществляющий мониторинг.

6.1 Анализ потенциальных опасностей

Помещение, в котором предполагается рабочее место программиста, контролирующего мониторинг миграции абонентов, а именно офисное помещение и работающие в нем люди подвергаются следующим опасным и вредным производственным факторам:

- несоответствие нормам параметров микроклимата;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- повышенный уровень статического электричества при неправильно спроектированной рабочей зоне;
- испарения вредных компонентов кабельной изоляции при ремонте
- повышенная напряженность электростатического поля;

- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- статические перегрузки костно-мышечного аппарата и динамические локальные перегрузки мышц кистей рук;
- перенапряжение зрительного анализатора;
- умственное и физическое перенапряжение;
- эмоциональные перегрузки;
- опасность возникновения пожара.

Вышеперечисленные отрицательные факторы можно разделить на две группы. Первая связана с психологическими и физиологическими особенностями труда. Факторы второй группы связаны с физическими условиями, в которых находится люди во время работы.

Очевидно, что факторы первой и второй групп взаимосвязаны между собой, поэтому необходим комплексный подход к рассмотрению их влияния на рабочих с учетом всех психологических, медицинских, физических и других аспектов проблемы и их взаимосвязей.

Приведенные вредные и опасные производственные факторы приводят к травмам, ухудшению здоровья и самочувствия, профессиональным заболеваниям, что снижает производительность труда.

6.2 Мероприятия по обеспечению техники безопасности

Для работы в офисном помещении используются ЭВМ. Программист взаимодействует со стандартными устройствами ввода-вывода, полностью отвечающим требованиям техники безопасности.

Помещения, в которых используется данная система, относятся к классу помещений без повышенной опасности.

Материалы конструкции оборудования не оказывают опасного и вредного воздействия на организм человека во всех режимах работы, предусмотр-

ренными условиями эксплуатации, а также не создают пожаро- и взрывоопасные ситуации.

Для персонала, работающего с системой мониторинга миграции абонентов, представляет опасность электрический ток. Для безопасности эксплуатации электрооборудования, в соответствии с ГОСТ 12.2.003-74 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности», предусмотрен комплекс мер безопасности, применены электрозащитные средства и правильно организована эксплуатация действующих электроустановок безопасности.

Технические мероприятия, гарантирующие безопасность работ в электроустановках, выполняют в следующем порядке:

- а) отключают напряжение и принимают меры, исключающие его ложной подачи к месту работы;
- б) вывешивают предупредительные плакаты на коммутационной аппаратуре, на постоянных и временных ограждениях;
- в) проверяют, на наличие напряжения на отключенной для работы части установки, после чего накладывают на токоведущие части установки переносное заземление.

Безопасность использования оборудования обеспечивается сочетанием мер безопасности, эксплуатации электрозащитных средств и правильной режиму применения действующих электроустановок.

Меры безопасности можно разделить на 2 категории:

- меры, обеспечивающие безопасность в аварийном режиме – при возникновении напряжения на нетоковедущих частях устройства;
- меры, обеспечивающие безопасность эксплуатации при нормальном состоянии устройства.

Мерами, обеспечивающими безопасность при нормальном состоянии электрооборудования, являются недоступность и исправная изоляция токоведущих частей, ограждающее разделение сетей и невысокие напряжения.

Для того чтобы предупредить об потенциальной опасности близости к частям, которые находятся под напряжением, выражение запрета неправильных действий или же указания места, где выполняются работы применяются специальные предупреждающие, запрещающие, предписывающие и указательные плакаты.

Для предупреждения об опасности приближения к частям, находящимся под напряжением, запрещения неправильных действий, указания места выполнения работ и т. п. применяются предупреждающие, запрещающие, предписывающие и указательные плакаты.

К таким плакатам могут относиться «Не включать: работают люди!», которые вывешиваются как на ключах управления и приводах рубильников, так и на выключателях, а также на основаниях предохранителей, при помощи которых может быть подано напряжение к месту работ.

На ключах управления и приводах рубильников и выключателей, а также на основаниях предохранителей, при помощи которых может быть подано напряжение к месту работ, вывешиваются плакаты «Не включать: работают люди!».

Когда речь идет о работе на линии, на привод рубильника или выключателя вывешивается плакат «Не включать: работа на линии!». Данный плакат вывешивается или снимается по распоряжению диспетчера или оперативного лица, который наблюдает за линией.

На кратковременных оградах вывешивают плакаты «Стой. Напряжение!». Если вблизи от места работы имеются включенные части установки, на всех готовых к работе местах помещают плакаты «Работать здесь».

Плакаты, вывешенные при подготовке рабочего места, запрещается убирать или снимать до полного окончания работы.

Для обеспечения безопасности работы при нормальном состоянии электрооборудования, предусмотрены меры, которые обеспечивают недоступность и рабочую изоляцию токоведущих частей, защитное распределение сетей и малые напряжения. Также предусмотрены дополнительные меры,

которые устраняют опасность при появлении напряжения на нетоковедущих частях. К ним относятся защитное заземление, зануление, защитное отключение, выравнивание потенциалов, двойная изоляция и др. мероприятия, соответствующие требованиям ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность».

Все оборудование поддерживается в рабочем состоянии и обслуживается специалистами службы эксплуатации. В случае возникновения неисправности оборудования, начальник немедленно сообщает о неисправности в данное подразделение.

Изоляция составных частей оборудования, доступных для прикосновения, полностью обеспечивает защиту от поражения электрическим током.

Чтобы защитить работников от поражения электрическим током в случае ошибочной подачи напряжения, на всех фазах выключенной установки используется защитное заземление со всех сторон, откуда может быть подано напряжение (в том числе и путем обратной трансформации через сварочные трансформаторы, трансформаторы местного освещения и т. п.).

6.3 Мероприятия по производственной санитарии и гигиене труда

Для предотвращения неблагоприятного воздействия на человека вредных факторов, сопровождающих работу с видеодисплейными терминалами и персональными электронно-вычислительными машинами, разработан ряд санитарно-гигиенические требований.

Мероприятия по производственной санитарии и гигиене труда направлены на предотвращение или уменьшение воздействия на персонал вредных производственных факторов. Они обеспечивают на рабочих местах нормальные условия воздушной среды, необходимую освещенность, устраняют воздействие шума, излучений и других вредных производственных факторов.

Офисные помещения, размеры которых (включая площадь и объем) должны в первую очередь подходить количеству работающих и помещенно-

му в них комплекту технического оборудования. В таких помещениях рассчитываются соответствующие параметры температуры, чистоты воздуха, освещения, обеспечение изоляции, от производственных шумов и т.п. Для гарантии нормальных условий труда, санитарные нормы СН 245-71 (ДНАОП 0.03-3.01-71) устанавливают на одного рабочего, объем производственного помещения не менее 20 м^3 , площадь помещения, обнесенного стенами или глухими перегородками не менее 6 м^2 .

В офисных помещениях, в основном, используется боковое естественное освещение. А также применяется дополнительное искусственное освещение.

Искусственное освещение в помещениях эксплуатации ПЭВМ осуществляется системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, допускается применение системы комбинированного освещения.

Освещенность в зоне размещения рабочего документа составляет 300-500 лк. Допускается установка светильников местного освещения для подсветки документов. Местное освещение не создаёт бликов на поверхности экрана и не увеличивает освещенность экрана более чем на 300 лк.

Целесообразное цветовое решение по оформлению производственного помещения направленно на повышение качества санитарно-гигиенических условий труда, улучшение его производительности и безопасности. Цвет офисных помещений влияет на нервную систему человека, его настроение и, что в свою очередь влияет, на производительность труда.

Уменьшение шума, который создается на рабочих местах офисного помещения внутренними источниками, а также шума, который может попадать в помещение из внешней среды, является важной задачей. Понижение шума в источнике излучения можно обеспечить использованием эластичных прокладок между основанием машины прибора и опорной поверхностью. В качестве таких прокладок используются резина, пробка, амортизаторы, име-

ющие различные конструкции. Под настольные шумящие аппараты можно помещать синтетические коврики из специальных материалов. В свою очередь под ножки столов, на которых установлены данные аппараты можно подкладывать подстилки из мягкой резины или войлока, толщиной до 8 мм. Закрепление подстилок возможно путем приклеивания их к опорным частям.

Для обеспечения допустимых уровней шума на рабочих местах следует применять средства звукопоглощения, выбор которых должен обосновываться специальными инженерно–акустическими расчетами.

Оборудование и организация рабочего места работающих с ПЭВМ должны обеспечивать соответствие конструкции всех элементов рабочего места и их взаимного расположения эргономическим требованиям с учетом характера и особенностей трудовой деятельности (ГОСТ 12.2.032-78, ГОСТ 22.269-76, ГОСТ 21.889-76).

Конструкция рабочего места пользователя ПЭВМ должна обеспечивать поддержание оптимальной рабочей позы.

Так как офисное помещение предусматривает постоянное нахождение в нем персонала, то наличие рабочего стола является обязательным.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также – расстоянию спинки до переднего края сиденья.

Для обеспечения благоприятных параметров микроклимата в помещениях и удаления вредных, используемых в технологических процессах, использующих естественную и (или) искусственную вентиляцию, а также кондиционирования.

Естественную вентиляцию используют для нормализации микроклимата, как в непроизводственных, так и в производственных помещениях без выделения вредных веществ. Естественная вентиляция является дешевой и простой в эксплуатации, однако воздух поступает в помещение без предварительной очистки, а удаленный отработанный воздух также не очищается и загрязняет окружающую среду.

Искусственная механическая вентиляция применяется в тех случаях, когда тепловыделение в помещении недостаточно для постоянного в течение года использования естественной вентиляции, или, когда количество или токсичность веществ, выделяемых в воздух помещения, вызывает необходимость постоянного воздухообмена независимо от метеорологических условий окружающей среды. Общеобменная вентиляция обеспечивает создание необходимого микроклимата и чистоты воздушной среды во всем объеме рабочей зоны помещения. Она применяется для удаления избыточного тепла при отсутствии токсичных выделений, а также тогда, когда характер технологического процесса и особенности производственного оборудования исключают возможность использования местной вытяжной вентиляции. Местная вытяжная механическая вентиляция обеспечивает улавливание вредных выделений непосредственно в местах их выделения, предотвращает распространение этих веществ в помещении. Местную вентиляцию применяют при выполнении технологических процессов, обработке металлов резанием, сварочных, литейных, кузнечных, термических, красящих, шиноремонтных работах и тому подобное.

Кондиционирование воздуха предусматривает создание и автоматическое поддержание в помещении заданных или таких метеорологических условий, которые изменяются по определенной программе. Обычно кондиционирования воздуха применяют в непроизводственных помещениях. На промышленных предприятиях кондиционирования используют для обеспечения комфортных (оптимальных) санитарно-гигиенических условий, которые невозможно создать вентиляцией, или как составляющую технологического процесса [27].

Необходимый воздухообмен в помещении определяется по формуле:

$$L = \frac{Q}{c \cdot \gamma \cdot (t - t_{np})}, \text{ м}^3/\text{час} \quad (6.1)$$

где Q – суммарное количество теплоты, образующейся в помещении, кДж / ч;

C – удельная теплоемкость воздуха, равная $C = 1$ кДж / (кг°С)

γ – плотность наружного воздуха, равной $\gamma = 353 / ((273 + t_{\text{пр}}))$, кг / м³;

t – температура воздуха, удаляемого °С;

$t_{\text{пр}}$ – температура приточного воздуха, °С.

Исходные данные:

$Q = 7300$ кДж / ч;

$t = 32^\circ\text{C}$

$t_{\text{пр}} = 19^\circ\text{C}$

Рассчитаем необходимый воздухообмен в помещении:

$$L = \frac{Q}{C \cdot \gamma \cdot (t - t_{\text{пр}})} = 461,5 \text{ м}^3/\text{час}$$

6.4 Мероприятия по пожарной безопасности

Пожарная безопасность представляет собой такое состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей. Пожарная безопасность обеспечивается с помощью систем предотвращения пожара и систем пожарной защиты.

В соответствии со ДБН В.2.2-8-98 «Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования» офисное помещение относится к категории В по взрывопожаробезопасности имеет II степень огнестойкости, согласно НАПБ Б.03.002.

В современном электронном оборудовании очень высокая плотность размещения элементов электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, коммутационные кабели.

При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до 80 – 100°С. При этом возможно оплавление изоляции соединительных проводов, их оголение и как следствие короткое замыкание, которое сопровождается искрением, ведет к недопустимым перегрузкам элементов элементарных схем. Последние, перегреваясь, сгорают с разбрасыванием искр, что может привести к пожару.

Для отвода избыточного тепла от электронного оборудования запроектирована система вентиляции и кондиционирования воздуха. Однако они представляют дополнительную пожарную опасность.

Пожарная безопасность объекта в соответствии с ГОСТ 12.1.004-91-ССБТ Пожарная безопасность. Общие требования обеспечены:

- системой предотвращения пожара;
- системой противопожарной защиты;
- организационно-техническими мероприятиями.

Противопожарная защита обеспечена:

- применением средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники, огнетушителей марок ОУ-2, ОУ-25, ОУ-80, ОП-2, ОП-10;

- применением автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения типа ПКИЛ с извещателями АИП-2;

- применением систем противодымной защиты с датчиками КИ-1.

Для защиты рабочего места от пожара используются следующие группы техники:

- установки пожарной сигнализации ИДФ-1, АИП-2, КИ-1 и др.;
- огнетушители марок ОУ-2, ОУ-5, ОП-2, ОП-10 с порошком ПСБ;
- пожарные спасательные устройства: углекислотная установка с тросовым пуском типа Т-2; углекислотные установки с электрическим пуском, приводимые в действие электрическими датчиками (извещателями) ручного

действия типа ПКИЛ или автоматическими теплового, дымового или светового действия.

Для спасения людей в случае возгорания применяются противодымные маски с фильтрами респираторного типа. Огнетушители и защитные маски размещены в легкодоступных и заметных местах, где исключено попадание на них прямых солнечных лучей и непосредственное (без заградительных щитков) воздействие отопительных и нагревательных приборов. Ручные огнетушители размещены методом навески на вертикальные конструкции на высоте 1,5 м. При срабатывании автоматических установок пожарной сигнализации автоматически отключаются системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Локализация очага возгорания и предотвращение распространения огня обеспечено применением огнепреграждающих устройств и противопожарными преградами. Пути эвакуации определены исходя из объемного планирования и технического исполнения зданий и сооружений с учетом их огнестойкости (сохранения несущих и ограждающих функций при пожаре в течение расчетного времени эвакуации). Организованы речевое оповещение и световые указатели для управления движением по эвакуационным путям. Система противодымной защиты обеспечивает незадымление, снижение температуры и удаление продуктов горения на путях эвакуации в течение времени, достаточного для эвакуации людей.

В организационно-технические мероприятия включены:

- обучение рабочих правилам пожарной безопасности;
- реализацию норм и правил пожарной безопасности, инструкций о соблюдении противопожарного режима и о действиях людей при возникновении пожара;
- мероприятия по действиям администрации на случай возникновения пожара и организации эвакуации людей [28].

6.5 Мероприятия по обеспечению безопасности в чрезвычайных ситуациях

Принимая во внимание вероятность совершения террористических актов в местах массового скопления людей, в том числе и на предприятиях. Перед их руководителями и работниками стоит задание по обеспечению гарантии их безопасности и созданию плана действий, в случае поступления сведений об угрозе террористического характера.

Цель данных мер, по обеспечению безопасности персонала – помочь руководителям предприятий, организаций, компаний и учреждений правильно ориентироваться и верно принимать решения в трудных и чрезвычайных ситуациях для сохранения жизни и здоровья людей, и постараться создать правильные условия, которые могли бы способствовать дальнейшему расследованию правонарушений правоохранительными органами.

Принимая во внимание особенности свойств объекта, их руководители должны вместе с правоохранительными органами в первоочередном порядке подготовить план дальнейших действий и инструктаж на случай возникновения последующих чрезвычайных ситуаций применительно к конкретному объекту.

В качестве мер предосторожности рекомендуется:

- усиление безопасности пропускного режима на входе, а также при въезде на территорию производства;
- ежедневный обход и осмотр территории учреждения, особый контроль мест сосредоточения вредных и опасных веществ на предмет быстрого и своевременного обнаружения взрывных веществ, устройств и подозрительных предметов;
- периодический контроль складов и складских помещений;
- более тщательный подбор и проверка персонала;

– организация и осуществление инструктажей и практических занятий по действиям при чрезвычайных происшествиях руководства и работников совместно с сотрудниками правоохранительных органов.

Следует помнить, что в соответствии с законодательством руководитель несет ответственность за жизнь и здоровье сотрудников.

Во время составления договоров на сдачу в аренду складских или других помещений, находящихся в резерве производства, в обязательном порядке внести пункты, предоставляющие право администрации учреждения при необходимости производить проверку данных помещений по своему усмотрению.

При выявлении подозрительных предметов на территории производства незамедлительно следует сообщить о данной ситуации правоохранительным органам.

До прихода оперативно-следственной группы следует дать указание сотрудникам производства находиться на безопасном расстоянии от обнаруженного предмета.

В случае необходимости следует начать действия по эвакуации людей согласно созданному заранее плану.

Следует обеспечить возможность осуществления свободного доступа к месту обнаружения подозрительного предмета автомашин правоохранительных органов, а также машин скорой медицинской помощи, пожарной охраны, спасательных служб, служб эксплуатации.

Так же следует к прибытию оперативно-следственной группы обеспечить присутствие лиц, которые и обнаружили данный посторонний предмет.

Запрещается близко приближаться, трогать, вскрывать и перемещать находку. Необходимо зафиксировать время ее обнаружения.

Следует учитывать, что на сегодняшний день телефон является основным каналом поступления сообщений, которые могут нести информацию о заложенных взрывных предметах либо устройствах, о захвате людей, вымогательстве и шантаже. Такие сигналы не стоит оставлять без должного

внимания даже при единичном случае. Стоит обеспечить быструю передачу полученной информации в правоохранительные органы.

При возможности оказать помощь правоохранительным органам во время проведения оперативно-розыскных мероприятий следует оказать следующие заранее продуманные действия:

- следует установить телефоны на базе учреждения, указанные в официальных справочниках, с функциями автоматического определения номера и звукозаписывающей аппаратурой;
- при неимении звукозаписывающей аппаратуры постараться дословно запомнить разговор и зафиксировать его на бумаге;
- при разговоре следует предположительно отметить пол, возраст звонившего и возможные особенности его речи;
- особое внимание стоит уделить фону, который слышен с другого конца линии (посторонние голоса, шум машин, железнодорожной станции, звук теле- или радиоаппаратуры, и другое);
- следует в обязательном порядке записать точное время начала и конец разговора;
- при возможности, в процессе разговора с недоброжелателем сообщить о нем правоохранительным органам;
- не следует лишний раз распространять сведения о разговоре и об его содержании. Стоит максимально ограничить количество людей, владеющих данной информацией.

Со всеми рабочими предприятия следует систематично проводить инструктажи о порядке и правилах действия при приеме телефонных сообщений с террористического характера угрозами.

Угрозы, поступающие в письменной форме, могут попасть в учреждение как по почте, так и при обнаружении различных вариантов анонимных материалов.

После получения материала, содержащего угрозу по отношению к окружающим, следует обращаться с ним предельно аккуратно и осторожно.

Стоит убрать его в плотно закрываемый и при этом чистый полиэтиленовый пакет, в свою очередь поместив его в плотную папку, а также:

- необходимо приложить усилия и не оставлять на нем отпечатков пальцев;

- если документ был доставлен в конверте - его раскрытие стоит производить только с одной стороны (левой или правой), при этом аккуратно отрезать кромки ножницами;

- следует сохранить все, в том числе документ с текстом, все имеющиеся вложения, конверт и саму упаковку;

- также стоит максимально сузить круг лиц, ознакомившихся с содержанием документа;

- анонимные материалы не должны никоим образом видоизменяться, не стоит их сшивать, склеивать. Также не разрешается делать любые надписи, подчеркивать или обводить отдельные места в тексте.

Регистрационный штамп стоит проставлять только на сопроводительных письмах от организации и заявлениях граждан, передавших анонимные материалы в соответствующе инстанции.

Следует помнить, что любое помещение может стать местом захвата и дальнейшего удерживания заложников. В данной ситуации злоумышленники могут добиваться достижения своих конкретно-поставленных целей или получения выкупа. В данных ситуациях руководитель учреждения зачастую выступает в качестве посредника.

Захват заложников происходит внезапно. При этом выполнение мер предупредительного характера (ужесточение пропускного режима при входе и въезде на территорию предприятия, установка систем сигнализации, аудио- и видеозаписи, проведение более тщательного подбора и проверки кадров, организация и проведение совместно с сотрудниками правоохранительных органов инструктажей и практических занятий по действиям при чрезвычайных происшествиях) поможет снизить вероятность захвата людей на объекте.

Следует придерживаться следующий мер безопасности при захвате людей в заложники:

- о сложившейся ситуации незамедлительно сообщить в правоохранительные органы;
- не вступать в переговоры с террористами по собственной инициативе;
- принять меры к беспрепятственному проходу (проезду) на объект сотрудников правоохранительных органов, спасательных служб, автомашин медицинской помощи;
- по прибытии сотрудников спецподразделений СБ Украины оказать им содействие в приобретении интересующей их данных;
- при необходимости выполнять требования преступников, если это не связано с причинением вреда жизни и здоровью людей, стараться не противоречить преступникам и не подвергать свою либо чужую жизнь опасности;
- не допускать действий, которые могут спровоцировать нападавших к использованию оружия и привести к человеческим жертвам.

Во время проведения операции правоохранительными органами по высвобождению, стоит непреклонно соблюдать требования:

- находитесь на полу положением тела лицом вниз, голову следует прикрыть руками, постарайтесь не двигаться;
- запрещается бежать навстречу сотрудникам правоохранительных органов или от них, так как они могут принять вас за преступника;
- при возможности, держаться как можно дальше от проемов дверей и окон.

В случае если стало известно о предстоящем или уже совершенном преступлении, следует быстро сообщить об этом в правоохранительные органы.

ВЫВОДЫ

Выявлена необходимость в разработке мониторинга миграции абонентов в кластере сети сотовой связи. Проанализированы существующие методы наблюдения перемещения, скопления абонентов, исследованы преимущества и недостатки этих методов. Был выполнен сравнительный анализ технологий беспроводной передачи данных Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee с целью использования одной из них в дипломной работе, как альтернативной GSM каналу.

Детально описан разработанный алгоритм механизма передачи данных о передвижении абонентов по Wi-Fi каналу.

Проведен анализ семейства стандартов IEEE 802.11. Были изучены особенности физического и канального уровней по модели OSI, детально разобраны распределенная и централизованная функции распределения DCF и PCF соответственно. В работе так же приведен алгоритм механизма избегания коллизий CSMA/CA. Изучена классификация систем поллинга.

Была построена математическая модель, в которой приведены основные формулы, на которых базируется работа имитационного программного обеспечения.

Подобрано программное обеспечение, в котором была выполнена имитационная модель передачи данных от МС к главной МС (точке доступа) с помощью механизмов DCF и PCF. За основу взята программа – Riverbed Modeler (выбор проводился среди программ Cisco Packet Tracer, NetCracker Professional и, соответственно, Riverbed Modeler). Были исследованы зависимости задержки в передаче пакетов от расстояния между точкой доступа и МС, а также от количества узлов сети. Зависимости подтверждаются графиками.

Была изучена характеристика современного рынка сотовой связи Украины, оценена важность мобильной связи на сегодняшний день. На примере графиков потребления услуг сотовой связи в день массового мероприя-

тия подтверждена важность и актуальность данной работы. Проведены расчеты заработной платы, премиальных выплат. Обоснован выбор количества сотрудников, необходимых для обслуживания офиса, где будет проводиться мониторинг. Подсчитана сумма затрат на оборудование, лицензионное ПО. Проведен расчет балльной эффективности проекта. Сделаны соответствующей выводы.

Проведено исследование потенциальных опасностей, что могут угрожать сотрудникам, которые будут обслуживать мониторинг. Изложены правила по обеспечению техники безопасности, по производственной санитарии и гигиене труда, пожарной безопасности, которых должны придерживаться весь персонал офиса оператора сотовой связи, что использует мониторинг. Для этого же офиса рассчитан необходимый воздухообмен в помещении. Так же были разобраны по обеспечению безопасности в чрезвычайных ситуациях (террористическая угроза).

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Шорин О.А., Щучкин В.М.. Использование интеллектуальных антенн в системах мобильной связи для снижения перегрузок // Электронный журнал «Труды МАИ» Выпуск № 53. 2012. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=29292> (дата обращения: 24 января 2015).
2. Егоров Л.Л. Оценка эффективности использования частотного ресурса сети стандарта GSM // Доклады ТУСУРа. 2007. № 1(15). С. 20-24.
3. Егоров Л.Л., Кологривов В.А., Мелихов С.В.. Методика коррекции зон обслуживания базовых станций при оптимизации сотовой структуры сетей связи // Доклады ТУСУРа. декабрь 2010. № 2 (22), часть 2. С. 17- 21.
4. Бабин А.И., Шорин О.А. Алгоритм прогноза числа абонентов в сотовых системах связи третьего поколения // Фундаментальные исследования. 2007. № 12. С. 466-469.
5. Шорин О.А. Прогноз перегрузок с учетом подвижности абонентов в сотовых системах связи // Мобильные системы, № 1, 2005. С. 15-19.
6. Костенко В.О. Принцип самоорганизующихся сетей при контроле потока мобильных станций/В.О. Костенко, И.Н. Сметанин// Материалы VIII Международной научно-практической конференции, 21 – 23 сентября 2016 г. Запоріжжя: ЗНТУ – 2016. – С. 186 – 189.
7. Сметанин, И. Н. Мониторинг миграции абонентов в кластере фрагмента сотовой сети [Текст] / И. Н. Сметанин М. В. Захарова, // Тиждень науки – 2017 : Щоріч. наук.-практ. конф. викладачів, науковців, молодих учених, аспірантів, студентів ЗНТУ, 18–21 квітня 2017 р., м. Запоріжжя : зб. тез доп. / відп. ред. В. В. Наумик– Запоріжжя : ЗНТУ, 2017. – С. 537–538.
8. Обзор современных технологий беспроводной передачи данных [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.wireless-e.ru>.
9. Сравнение Bluetooth и Wi-Fi [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://1234g.ru>.

10. Стандарт IEEE 802.11a,b,g,n [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.kunegin.narod.ru>.
11. Базовые положения стандарта IEEE 802.11n для сетей Wi-Fi [Электронный доступ] – Режим доступа: <https://help.keenetic.net/hc/ru>.
12. Вишневский В.М., Ляхов А.И. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. М.: Техносфера, 2005. – 592 с
13. Механизмы коллективного доступа в сетях 802.11 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://compress.ru>.
14. Вишневский В.М., Семенова О.В. Математические методы исследования систем поллинга// Автоматика и телемеханика. 2006. №2. С. 3 – 56.
15. Вишневский В.М. Модель поллинга для исследования широкополосных беспроводных сетей// Автоматика и телемеханика. 2006. №12. С. 123-135.
16. Прозоров Д.Е., Романов С.В. Протокол иерархической маршрутизации//Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. №3. С. 76 – 80.
17. Баранов А. В., Ляхов А. И., Оценка производительности беспроводных локальных сетей с протоколом IEEE 802.11 при произвольной нагрузке, Автомат. и телемех., 2005. Выпуск 7. С. 87–101.
18. Жолобов А.Н., Прозоров Д.Е. Симуляторы беспроводных MANET-Сетей//Информационные технологии. 2012. №3. С.28 – 33.
19. Основы работы с Cisco Packet Tracer [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://just-networks.ru>.
20. Изучение возможностей программы NetCracker Professional для проектирования сетей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studfiles.net>.
21. Моделирование сетей в Riverbed Modeler [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://studfiles.net>.
22. Изучение телефонов: мифы и легенды, и от чего зависит мощность передатчика [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://habrahabr.ru>.

23. Проектирование и моделирование сетей связи в системе Riverbed Modeler. Лабораторный практикум. – Самара: 2016. – 260 с.

24. Тариф безлимит на месяц [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.lifecell.ua.

25. Обзор матча Зоря – Шахтер [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.footboom.com>.

26. Методичні вказівки до виконання економічного розділу дипломних та магістерських проектів для студентів спеціальності 7.05090301, 8.05090301 «Інформаційні мережі зв'язку» всіх форм навчання. / Укладачі: Бобровникова Р.Г., Круглікова В.В. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012 – 18 с.

27. Методичні вказівки до практичної роботи «Визначення повітрообміну у виробничих та адміністративних приміщеннях» з дисципліни «Охорона праці в галузі» для студентів всіх форм навчання / Укл. О.Л. Скуйбіда – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 18 с.

28. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» у дипломних проектах (роботах) студентів спеціальностей 7(8).05090101 «Радіотехніка», 7(8).05090301 «Інформаційні мережі зв'язку», 7(8).05080101 «Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої», 7.18010010 «Якість, стандартизація та сертифікація», 7(8).05090201 «Радіоелектронні апарати та засоби», 7(8).05090203 «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки», 7(8).17010201 «Системи технічного захисту інформації, автоматизація її обробки», 7(8).17010101 «Безпека інформаційних і комунікаційних систем» усіх форм навчання / Укл.: О.В. Коробко, А.Є. Островська – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. –22 с.