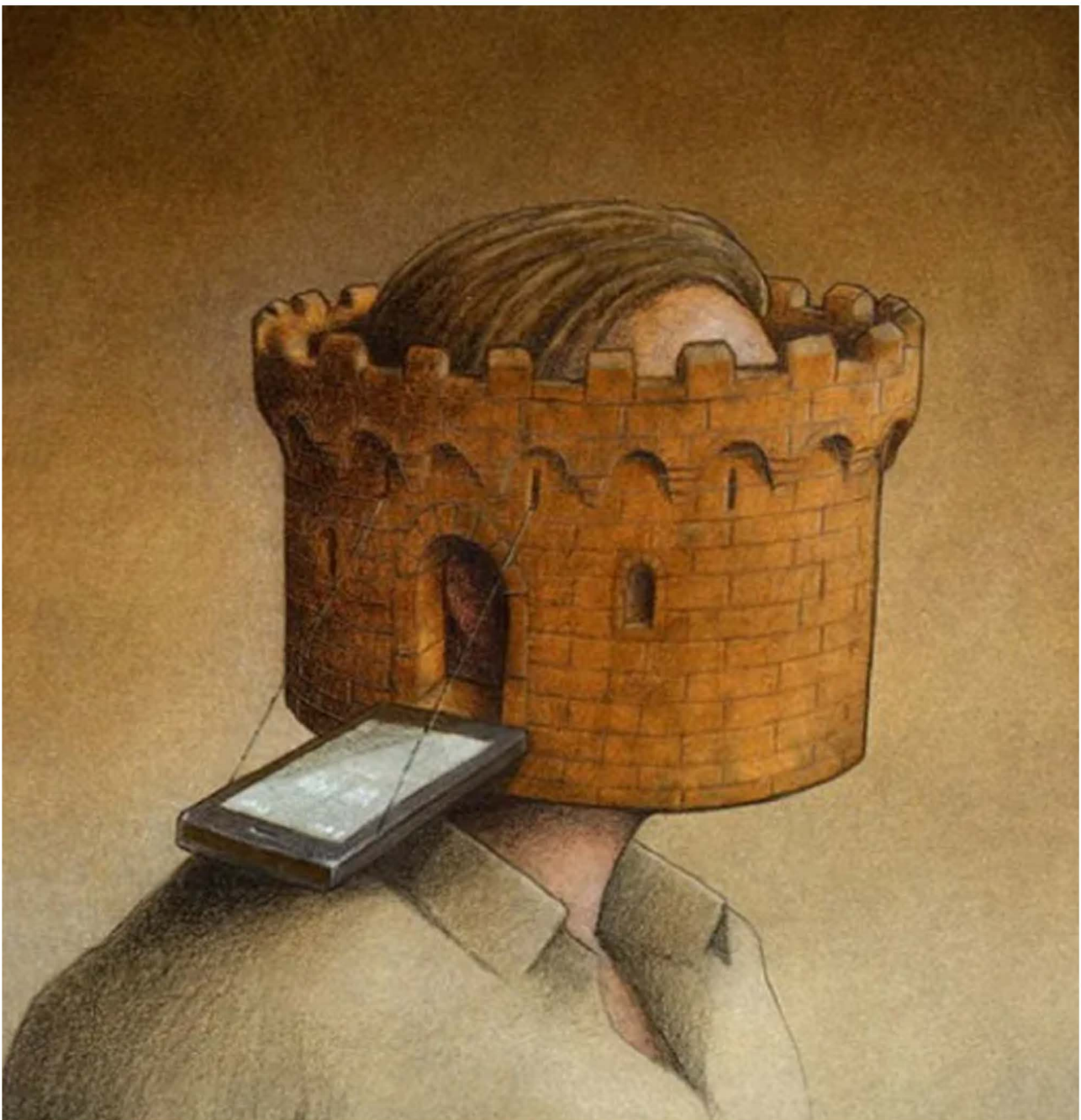


IoT & Умный город Build

В. Д. Мунистер
А.Ю. Шестакова
Э.Е. Нестеров
Е.А Чащина



Учебно-практическое издание
«IoT&Build. Умный город»

В.Д. Мунистер, А.Ю. Шестакова,
Э.Е. Нестеров, Е.А. Чащина***



2021

*Перепечатка отдельных глав и всего произведения в целом - разрешена.
Всякое коммерческое использование данного произведения возможно
исключительно с ведома коллектива авторов*

GLÜCKSRITTE **R**
MUNISTE **R**

*А. Ю. Шестакова, магистр НИУ ВШЭ
в г. Пермь, РФ по специальности "Бизнес-информатика"

**Е.А. Чащина, преподаватель высшей категории ГПОУ ПЭМСТ, г. Прокопьевск, РФ

§ СОДЕРЖАНИЕ

«IoT&Build. Умный город»

СОДЕРЖАНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. Анализ предметной области «умного города»	
1.1 Понятие умного города	
1.1.1 «Умный город» с научной точки зрения	
1.1.2 «Умный город» с точки зрения инфраструктуры	
1.1.3 «Умный город» с информационно-технологической точки зрения	
1.2 Описание структуры умного города	
1.3 Описание жизненного цикла умного города	
Глава 2. Обоснование методов разработки «умных» систем	
Глава 3. Проектирование информационной модели умного города	
3.1 Построение ER-диаграммы	
3.2 Проектирование базы данных	
3.2.1 Проектирование реляционной базы данных	
3.2.2 Проектирование базы данных временных рядов	
3.2.3 Проектирование документо-ориентированной базы данных	
Глава 4: Проектирование сетевого обеспечения умных городов	
Практическая работа № 1. Характеристики линий связи передачи данных	66
Практическая работа № 2. Пропускная способность сетей IoT	87
Практическая работа №3. Расчет затухания сигнала на линиях проводного вещания	94
Практическая работа № 4. Преобразование единиц измерения в беспроводных сетях. Расчет беспроводной линии связи.	97
Практическая работа № 5. Расчет дальности работы беспроводного канала связи IoT в рамках IEEE 802.11	107

§ ВВЕДЕНИЕ

Учебно-практическое пособие «IoT&Build. Умный город» предназначено для изучения вопросов функционирования и синтеза сложных и территориально-распределенных систем за счет восполнения недостающих знаний по перспективным концепциям и технологическим доктринам и функциональным моделям, занимающим важное значение в современной IT-индустрии, а именно по IoT, Smart City, Smart Grid, Iaas.

В первой главе рассмотрена сфера «умных» городов, дано определение данного понятия с различных точек зрения и в разные периоды времени, а также описаны уже реализованные проекты в России и в мире.

Во второй главе проводится обоснование выбранного метода описания системы с позиций системного анализа – архитектурного описания, а также разработана базисная архитектурная модель, на основе которой проведен анализ основных бизнес-процессов. Данная глава разработана и направлена для изучения, студентам, осваивающими программы среднего и высшего профессионального образования по направления подготовки 09.00.00 «Информатика и вычислительная техника», 38.00.00 «Экономика и управление», 27.00.00 «Управление в технических системах».

На основе описанных бизнес-процессов во второй и третьей главах выделены поля (структурные единицы анализа), необходимые для хранения и обработки в цифровом двойнике (копии физического объекта или процесса). Также в данных главах описан выбор технологий для проектирования информационно модели территориально-распределенной сложной системы.

Важное значение имеет описание структуры «Умного города» — концепции интеграции нескольких информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) и Интернета вещей (IoT решения) для управления городским имуществом;

Теоретическая часть издания, непосредственно касающаяся описания «Умного города» в данном издании была почерпнута из работы магистра Пермского филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», факультета экономики, менеджмента и бизнес-информатики, **Шестаковой Анны Юрьевны** (под руководством кандидата технических наук, доцента кафедры информационных технологий в бизнесе **О. Л. Викентьевой**).

Данное издание требует базовых экономических знаний в области экономической теории и теории информации, знаний в классификации информационных систем, базовых представлений в технологиях программирования баз данных анализа данных, архитектуры систем и моделирования посредством унифицированного языка моделирования (UML)

Как и было сказано ранее, **учебно-практическое издание является средством углубленной подготовки специалистов в экономике, информационных технологиях;** в частности, системных аналитиков и сетевых инженеров, благодаря результатам освоения практических навыков организации информационных сетей IoT в процессе прохождения практических модулей;

Содержание издания требует развитого системного и аналитического мышления и позволяет получать умения ориентироваться в сферах информатизации города, как информационной системы, принимать решения по разработке архитектуры отдельных предприятий и других структур единиц экономики городов за счет освоение комплекса современных программных продуктов и платформ.

Методические указания по выполнению практических работ коррелируют с учебной дисциплиной «Технологии физического уровня передачи данных» и предназначены для реализации государственных требований в соответствии с ФГОС. Практические работы базируются на знаниях, которые студенты получают при изучении дисциплины «Технологии физического уровня передачи данных» и направлены на **закрепление и углубление теоретического материала в современных беспроводных сетях связи как основы информационной инфраструктуры «Умного города».**

В результате выполнения практических работ студент должен:

знать/понимать

- физические среды передачи данных;
- типы линий связи;
- характеристики линий связи передачи данных;
- современные методы передачи дискретной информации в сетях;
- принципы построения систем передачи информации;
- особенности протоколов канального уровня;
- беспроводные каналы связи, системы мобильной связи.

уметь

- осуществлять необходимые измерения параметров сигналов;
- рассчитывать пропускную способность линии связи.

В результате выполнения практических работ студенты должны освоить также общие и профессиональные компетенции.

Общие компетенции:

ОК 1. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам.

ОК 2. Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности.

ОК 4. Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами.

ОК 5. Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке с учетом особенностей социального и культурного контекста.

ОК 9. Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 10. Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языке.

Профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Выполнять проектирование кабельной структуры компьютерной сети.

ПК 2.1. Администрировать локальные вычислительные сети и принимать меры по устранению возможных сбоев.

ПК 3.1. Устанавливать, настраивать, эксплуатировать и обслуживать технические и программно-аппаратные средства компьютерных сетей.

ПК 3.3. Эксплуатация сетевых конфигураций.

ПК 5.3. Разрабатывать сетевые топологии в соответствии с требованиями отказоустойчивости и повышения производительности корпоративной сети.

§ ГЛАВА 1 Анализ предметной области умных городов

По данным Организации Объединённых Наций мировое население к 2050 году вырастет до 9,7 миллиардов. Из них 6,3 миллиарда людей будут жить в городах [4]. Для такого высокого темпа урбанизации есть две причины.

Во-первых, люди переезжают из деревень или других небольших населённых пунктов в крупные города ради более качественных условий жизни и уровня жизни в целом, ради более высокооплачиваемой работы и т. д.

Во-вторых, люди переселяются не в рамках одной страны, а в мировых масштабах: мигранты из отдалённых бедных районов развивающихся или слаборазвитых стран переселяются в крупные страны, где опять же выше уровень жизни, лучше условия, проще найти работу или выгодные условия для приезжих жителей.

В связи с тем, что города разрастаются, ими становится всё сложнее управлять. Необходимо большое количество рабочих рук, чтобы обслужить каждого жителя, при этом качественно и быстро, чтобы уровень жизни не падал, а только возрастал с годами. Данная необходимость стала одной из причин начала автоматизации разных процессов. Начиная от оплаты проезда и касс самообслуживания в магазинах, и заканчивая управлением дорожными картами, поддержкой принятия управленческих решений, электронным ЖКХ — это примеры осуществления проектов «умных городов».

Несмотря на то, что понятие «умного города» появилось сравнительно недавно, данный термин уже широко применим [5]. Изначально термин появился в англоязычной версии – «smart cities», однако на нынешнем этапе данное понятие используется в более широком смысле: «умный» заменяется на «интеллектуальный» или «цифровой».

На понятие и определение «умного города» можно смотреть с разных сторон. В данной работе будут рассмотрены следующие аспекты, так как эти точки зрения подкреплены работами ученых [4]:

- с научной точки зрения;
- с точки зрения инфраструктуры;
- информационно-технологический взгляд.

1.1.1 «Умный город» с научной точки зрения

Рассматривая понятие «умного города» с научной точки зрения, можно вывести следующее определение [4]: «Умный город - безопасный, экологически защищенный (зеленый) и эффективный городской центр будущего с передовой инфраструктурой из сенсоров, электроники и сетей, которая стимулирует устойчивый экономический рост и высокое качество жизни». Многие ученые, рассматривающие данное понятие с научной точки зрения, подчеркивают важность человеческого капитала, современной инфраструктуры и информационных технологий. Британский институт стандартов (British Standard Institution, BSI) описывает умный город, как: сочетание различных систем (человеческой, физической, информационной и других) максимально эффективным способом, чтобы в результате получить устойчивое, высокоинтеллектуальное, удобное и комфортное будущее для граждан города.

Информационные технологии позволяют городской власти напрямую взаимодействовать с сообществами и городской инфраструктурой, и следить за тем, что происходит в городе, как город развивается, и какие способы позволяют улучшить качество жизни. За счет использования датчиков, интегрированных в режиме реального времени, накопленные данные от городских жителей и устройств обрабатываются и анализируются. Собранные информация является ключом к решению проблем неэффективности. ИКТ используются для повышения качества, производительности и интерактивности городских служб, снижения расходов и потребления ресурсов, улучшения связи между городскими жителями и государством.

Для более наглядного изображения того, что понимается под «умным городом», можно проанализировать следующую иллюстрацию (см. рис. 1.1).

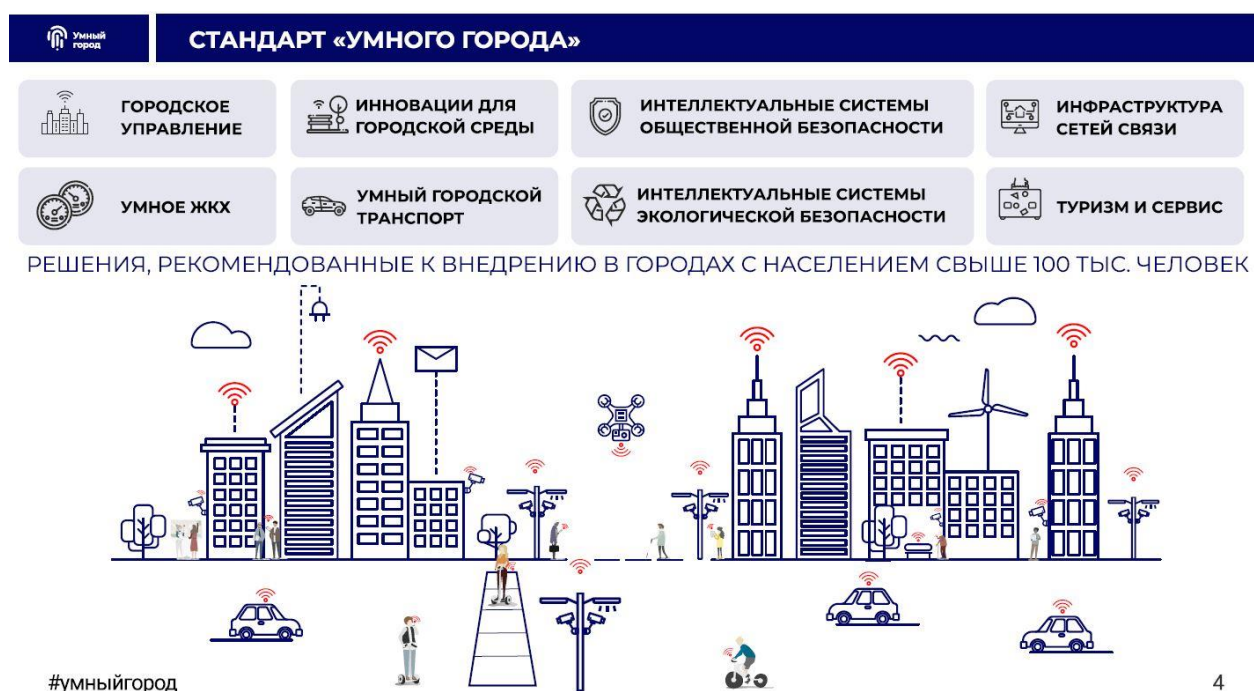


Рисунок 1.1 - Визуализация «умного города» [6]

Как видно по рисунку, каждый объект, существующий в «умном городе», оборудован датчиком, подающим сигнал. Сигналы могут быть разными, но храниться они должны в одном месте. Для этого необходимо спроектировать единую информационную систему, приспособленную к восприятию, обработке и хранению разрозненной информации. Она должна уметь превращать неструктурированный набор данных в удобный для анализа вид. Также некоторая информация должна быть отображена из интернета, из различных приложений и сайтов.

1.1.2 «Умный город» с точки зрения инфраструктуры

С этой точки зрения, под «умным городом» понимают город, который отличается высоким развитием современных (в том числе информационных) технологий. Этот город также выделяется тем, что соединяет воедино все элементы городской инфраструктуры и информацию, полученную из них. Система управления таким городом использует самые новые технологии и устройства, что позволяет сформировать комфортную среду жизни для людей, высокий уровень жизни, а также так называемый «зеленый» город (на высоком уровне производится защита окружающей среды).

В данном контексте в «умном городе» проживают люди, которые хотят изменить условия своей жизни в лучшую сторону, за счет использования современных технологий, которые используются во всех сферах жизни, улучшая условия. Как уже было сказано выше, в России пока не существует информационной системы, охватывающей весь город целиком. Однако, проекты в сфере «умных городов» в нашей стране уже реализованы. В основном они существуют в сферах: электроэнергетика, транспорт, общественная безопасность. Другими словами, разрабатываемые проекты не направлены на широкие отрасли, они работают только на очень узких сферах.

Если рассматривать более крупные и масштабные проекты, которые работают более комплексно, в России такие проекты реализовываются в рамках greenfield-инициатив, то есть это проекты, которые реализуются «с нуля» - без необходимости внесения изменений в существующие проекты. Часто понятие greenfield-проект используют в качестве синонима стартапу.

1.1.3 «Умный город» с информационно-технологической точки зрения

С информационно-технологической точки зрения, «умный город» определяется как способ создания более интеллектуальных и эффективных элементов инфраструктуры: городская администрация, система образования и здравоохранения, охрана общественного порядка, транспортная инфраструктура и так далее.

С этой точки зрения, в основе любого «умного города» должна находиться информация. Информация должна накапливаться с различных датчиков, установленных на зданиях и других объектах «умного города». Обмен данными должен поддерживать связь всех внутренних процессов города, создавая единую экосистему. Данные, полученные с датчиков, необходимо использовать так, чтобы условия жизни горожан были устойчивыми и комфортными, а также более экономичными. Для устойчивого развития города используется модель умного операционного управления.

Очень часто в различных источниках при описании классификации умных городов можно увидеть ссылку на следующую таблицу (табл. 1.1) [4]:

Таблица 1.1 - Классификация определений умного города

Главные признаки классификации	Классификация определений умного города		
	Идеологическое измерение (каково видение умного города?)	Нормативное измерение (где/какая сфера?)	Технологическое/инструментальное измерение (кому будет передан результат проекта умного города?)
Цель создания умного города	Улучшение качества жизни жителей	Формирование устойчиво зеленой среды для жизни	Инновационная трудовая жизнь
Фокус на	Услугах	Инфраструктуре	Человеческом/социальном капитале

Для соотнесения данных, представленных в таблице 1.1, и описанной выше классификации, можно предоставить следующие взаимосвязи: идеологическое измерение – это «умный город с точки зрения инфраструктуры», нормативное мировоззрение – это «умный город с научной точки зрения», а технологическое/инструментальное измерение – «умный город с информационно-технологической точки зрения».

1.1 Описание структуры умного города

В связи с тем, что «умные города» — это инновационная и популярная тема в современном мире, существует множество трактовок, из каких частей должен состоять «умный город» для его качественного функционирования, а также как описать его инфраструктуру. Некоторые ученые, изучая инфраструктуру умных городов, описывают её как имеющую следующие отличительные черты или особенности [7]:

- повышение привлекательности для инвестиций и просто жизни;
- создание новых рабочих мест (данный пункт способствует осуществлению первого пункта, что указывает на то, что «умный город» — это сложная и постоянно совершенствующаяся система);
- эффективная социально – культурная среда (чтобы новые жители не чувствовали себя одинаковыми, а сохраняли индивидуальность);
- бережное отношение к ресурсам (причем как к возобновляемым, например, электричество, так и к невозобновляемым, таким как вода);
- оптимизация транспортных потоков (так как в связи с возрастающим населением повысится и темп жизни жителей, следовательно, увеличится транспортный поток);
- так называемые, интеллектуальные здания, автоматизированные коммерческие сервисы и “engineering infrastructure” (данный термин обозначает автоматизацию ежедневных событий и действий жителей города: заказ такси, оплата счетов, покупка продуктов, оплата проезда в транспорте и так далее).

Данное описание инфраструктуры «умных городов» понятно объясняет суть: максимально применять информационные технологии (и постоянно обновлять технологии, так как в сфере ИТ очень быстро происходит смена устройств и методов на более современные), чтобы обеспечить новым, всё больше прибывающим в крупные города людям достойный в материальном плане уровень жизни, рабочее место и комфортные условия для существования (в частности, возможность автоматизировано выполнять ежедневные действия).

Что включает в себя понятие «умный город» и какие у него есть составные части также вопрос открытый. Многие ученые делят по-своему, а иногда одно и то же понятие каждый ученый называет по-своему. После анализа нескольких таких разделений, был сформулирован следующий список составных частей «умного города»:

1. Smart Economy. Для описания этого термина применяют следующие понятия: продуктивность, четкое определение, как связаны между собой (и как разделены) сферы личная и публичная, развитие предпринимательства как способ повышения экономического состояния города, соблюдение и поддержание экономических трендов в обществе и тесная связь жизни с экономикой.

2. Smart People. «Умных людей» отличает: гибкость и мобильность как основа стиля жизни, они являются высококвалифицированными профессионалами в выбранной сфере, они готовы обучаться всю жизнь, тяга к новым знаниям и навыкам, а также стремление к самосовершенствованию как в работе, так и в личной жизни. Главенство разума и логики над эмоциями, если дело касается принятия каких-то важных и ответственных решений.

3. Smart Living. Высокий уровень социальных условий жизни, забота о здоровье, высокий уровень медицинских услуг, постоянное обучение.

4. Smart Governance. Системы, которые являются основными на случай чрезвычайного происшествия (пожарная, скорая помощь, полиция и так далее) должны быть доступны 24/7 без ограничений для всех членов общества, поддержка принятия решений с помощью цифровой инфраструктуры и новейших технологий, доступность социальных публичных сервисов для оказания услуг, контроль уровня урбанизации (чтобы не допускать перенаселения городов при недостаточном уровне оснащения ресурсами).

5. Smart Mobility. Для жителей не должно быть абсолютно никаких преград в передвижении как внутри своего города, страны, так и между странами. Должно быть достаточно ресурсов, чтобы любой житель мог поддерживать высокий уровень автоматизации своей жизни. Важно следить за безопасностью жителей в разных сферах.

6. Smart Environment. Управление ресурсами: особое внимание к невозобновляемым ресурсам, но также и контроль возобновляемых ресурсов, например, контроль и уменьшение потребления электроэнергии, защита окружающей среды и помощь в её восстановлении, регулирование загрязнений воздуха и сведение их к минимуму.

Главной целью разработки и внедрения системы “умный город” является необходимость в более качественном менеджменте городов. Для того, чтобы внедрение системы “умных городов” было более эффективное, ученые используют международные стандарты повышения качества управления.

В 2014 году Международной организацией по стандартизации были разработаны два новых стандарта качества муниципального управления: ISO 18091:15 и ISO 37120:16 [8]. Стандарт ISO 18091:2014 «Системы менеджмента качества. Руководящие указания по применению ISO 9001:2008 в местном самоуправлении» отражает стандарт города со стороны администрации: например, управление административно-хозяйственной деятельностью. С помощью данного стандарта есть возможность выставить приоритеты в управлении, на что больше всего необходимо обратить внимание. Также данный стандарт помогает определять задачи социально-экономического развития городов. Он помогает совершить оценку административной деятельности по следующим сферам: институты управления, экономическая и социальная сферы, а также уровня окружающей среды. В стандарте использовано 39 показателей.

Еще один разработанный стандарт - ISO 37120:2014 «Устойчивое развитие населенных пунктов — показатели эффективности работы городских служб и качества жизни» [8]. Он использует системы показателей из около ста индикаторов, которые позволяют оценить 17 направлений развития города. С помощью этих индикаторов можно оценить динамику и эффективность оказания услуг (в частности, муниципальных), а также в целом качество жизни в городе. Этот стандарт дает возможность проводить сравнительный анализ нескольких городов, чтобы формировать рейтинги. Также данный стандарт может быть использован федеральными органами управления для того, чтобы оценивать своих подопечных – более мелких единиц управления (например, городские власти).

Разработка подобных стандартов важна, так как позволяет сделать деятельность властей более прозрачной, а также повысить лояльность населения к ним. Также с их помощью можно наладить взаимоотношения и координацию между административными подразделениями разных городов, а также стандарты помогают принимать более взвешенные и грамотные управленческие решения. Всё это в результате повысит уровень жизни в городах.

В качестве примера использования международных стандартов можно привести проведение международных мероприятий: спортивных, политических и т.д. Данные мероприятия побуждают городское руководство к совершенствованию внутренней инфраструктуры.

Например, города проведения Чемпионата мира по футболу–2018 должны были следовать стандарту ISO 20121:2012 «Система менеджмента устойчивости событий», стандарту экологического менеджмента ISO 14001:2015, национальному стандарту ГОСТ Р ИСО 14001–2007:2015, а также национальным и международным стандартам в области «зеленого строительства» [8].

Таким образом, если имеется понимание о том, какие составные части «умных городов» выделяют ученые, нужно понять, как эти составные части возникают и совершенствуются: в какой момент развития города это происходит. Для этого нужно изучить, какие этапы жизненного цикла умного города существуют.

1.2 *Описание жизненного цикла умного города*

Для того, чтобы иметь возможность комплексной автоматизации целого города, нужно понимать, как развивается система, какие стадии жизненного цикла она проходит. К анализируемым этапам жизненного цикла «умного города» (которые аналогичны этапам жизненного цикла просто города) были отнесены следующие стадии: развитие, расширение, стагнация, упадок.

1. Стадия развития города.

Для первой стадии жизненного цикла города характерна ситуация, когда стремительными темпами растет площадь жилья, количество благ и ресурсов. Вместе с этим количество жителей и рабочих мест «не успевает» за развитием ресурсов и возникает переизбыток последних. Обычно в этой стадии происходит зарождение градообразующих предприятий, увеличивается приток инвесторов в город, город становится привлекательным для жизни. Если говорить о таких показателях как безработица – она почти отсутствует, а иногда и полностью отсутствует на этой стадии развития города. Можно отметить, что для этой стадии больше характерен дефицит рабочих мест, чем безработица. Городская среда улучшается на данном этапе очень стремительными темпами.

Очень быстрый и бурный рост «умного города» в современном понимании обозначает, что будет увеличено количество жилья, общественных благ, рабочих мест и так далее совместно с резким увеличением жителей городов (население будет увеличиваться в связи с очень большим темпом урбанизации).

В данном контексте уместно будет упомянуть об одной из составляющих частей «умного города» - «умной экономике», которая в первую очередь будет подстраиваться под увеличение жителей городов.

«Умная экономика» на этом этапе развития города проявляется как интенсивное строительство, бурный рост городской экономики, становление города привлекательным для инвестирования. За счет этого практически пропадает безработица, а комфорт условий жизни, транспортная доступность и инфраструктура, наоборот, находятся на стадии активного роста.

Применение интеллектуальных способов управления городом позволяет контролировать соотношение объемов производства, занятости населения и потоков кадров в город. Для «умного города» характерно существование единой информационной системы, которая управляет информационным потоком в городе и контролирует основные показатели.

Однако как бы ни была привлекательна данная фаза жизненного цикла города, она физически не может длиться долго и переходит в фазу замедляющегося роста (расширения).

2. Стадия расширения города.

Следующая стадия, плавно вытекающая из первой, может быть охарактеризована как состояние города, когда текущее количество рабочих мест, которые могут быть предоставлены жителям, не хватает на всех желающих работать. Из-за этого возникает безработица, ресурсы и жизненные блага начинают образовывать дефицит. Инфраструктура и предприятия больше не совершенствуются такими темпами, как при первой стадии развития города – значительно медленнее.

На данной фазе развития города обычно прекращает своё развитие (или сильно замедляет темп развития) градообразующее предприятие. Инвесторы начинают терять интерес к городу, из-за чего возникает нехватка финансирования для поддержания общественных благ. Город становится менее удобным для жизни, но все еще притягателен для переезда в него из-за наличия рабочих мест, в том числе высокооплачиваемых.

Если данная фаза сохраняется без улучшений длительный период времени, город постепенно переходит в следующую стадию жизненного цикла – стагнацию.

3. Стадия стагнации города.

Стагнация – это застой в экономике, производстве, общественной жизни и т.д. Из названия данной фазы понятно, что происходит с городом в эту фазу. Всё сильнее увеличивается разрыв между количеством рабочих мест и желающими работать. Количество благ, ресурсов и денег в городе перестает расти, а также сильно недостаточен для текущего количества проживающих.

Из-за того, что возрастает безработица и привлекательность рабочих мест на убыточных предприятиях не вызывает желание оставаться жить в этом городе, люди начинают планировать переезды в другие места. Состояние городской среды резко ухудшается, привлекательность города для переезда в него крайне низкая. Такое состояние города в длительном периоде без улучшений приводит к переходу города в финальную стадию жизненного цикла.

4. Стадия упадка города.

Данная стадия считается финальной. Для неё характерен дискомфорт городской среды: жилищные условия плохие, количество ресурсов недостаточно, рабочих мест нет, экологическая ситуация пагубно влияет на жизнь людей в этом месте. Уровень безработицы достигает таких пределов, что люди перестают видеть перспективы в этом городе и начинают мигрировать, искать более выгодные места для проживания. Предприятия закрываются, становятся банкротами, инвесторы не обращают никакого внимания на город. Состояние инфраструктуры находится на самом низком уровне.

Города, находящиеся на данной стадии развития, называют «депрессивными». Это города, которые не в состоянии справиться с ситуацией, в которой они оказались и из такого сильного упадка без помощи государства выбраться уже не в состоянии. Однако для государства невыгодно вкладывать ресурсы в «депрессивные» города, потому что они становятся центрами социальной напряженности не только внутри себя, но и захватывают близлежащие территории. Государство предпочитает окончательно ликвидировать такие города.

1.3 Анализ реализованных проектов в России и в мире

Как было указано во введении, по данным на 2019 год в мире осуществлены уже 278 проектов внедрения «умного города» (см. рис. 1.2). Как видно по карте, большинство проектов осуществлены в Сингапуре (46 проектов), в Лондоне (29) и Дубае (28). Это связано с тем, что именно эти регионы развиваются очень высокими темпами. К примеру, Сингапур начал своё стремительное развитие только в 1959 году, однако уже к настоящему времени (2019-2020 году) является одним из самых развитых по своей инфраструктуре государств в мире. Уровень развития измерялся с помощью индекса The Social Progress Index.

Этот индекс измеряет достижения стран мира с точки зрения общественного благополучия и социального прогресса, он охватывает страны, для которых имеются достоверные показатели, и базируется на комбинации данных из опросов общественного мнения (12%), оценок экспертов в области развития (25%) и статистической информации международных организаций (61%). у Сингапура в 2018 году этот индекс был равен 85,42 (что является 23 местом в рейтинге по всему миру).

В России, по данным открытой базы знаний мировой практики Smart City, по данным на 2019 год осуществлены 229 проектов (см. рис. 1.3) [2].



Рисунок 1.2 - Количество проектов по внедрению системы умного города в мире

Из Российских городов лидерами по осуществлению проектов умных городов стали: Москва (49 проектов), Казань (10), Санкт-Петербург (9).

В данном случае статистика также объяснима: Москва – столица России, она растёт очень высокими темпами, как территориально, так и с точки зрения информационных технологий. Казань и Санкт-Петербург также являются крупными городами, в которых быстрыми темпами развивается сфера ИТ [2].

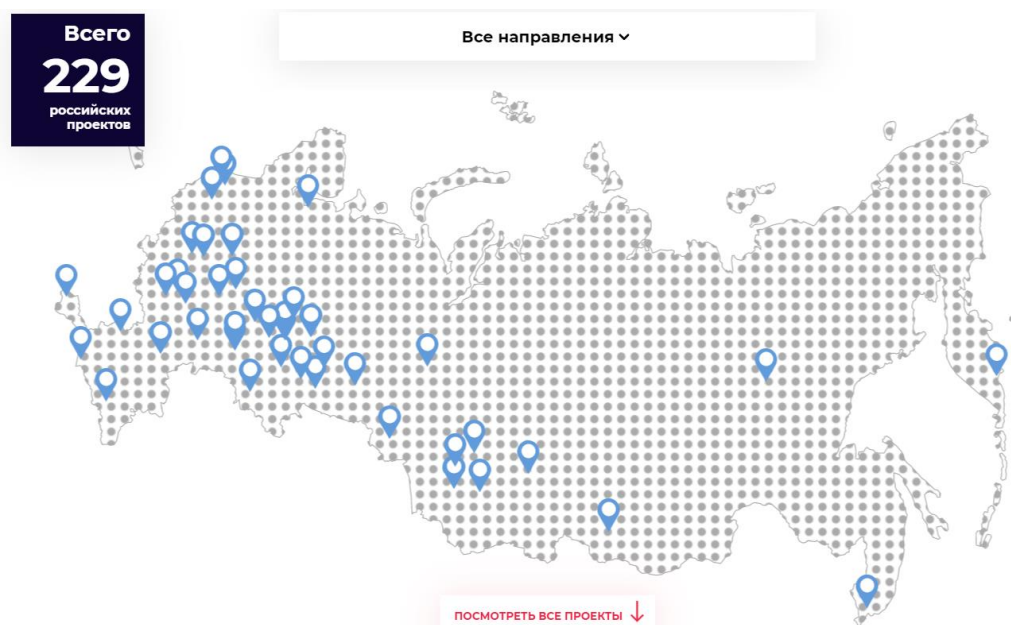


Рисунок 1.3 - Количество проектов по внедрению системы умного города в России

Также можно отметить, что были предприняты попытки оценить потенциал российских регионов в области создания «умных городов» на основе сравнения их экономического, инновационного, человеческого, технического, инвестиционного, бюджетно-финансового, градостроительного и экологического потенциала. Большинство городов, возможность смартизации которых по результатам исследования была оценена как высокая, входит в число лидеров Рейтинга устойчивого развития городов России, составленного агентством «Эс Джи Эм». В российские лидеры попали Москва, Екатеринбург, некоторые города Подмосковья, Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов.

Если сравнить эти результаты с представленной выше статистикой внедрения проектов «умных городов» в России, то можно заметить, что, к примеру, Екатеринбург, обладающий высоким потенциалом для внедрения проектов умного города, не развивается в этой области так, как мог бы.

1.4.1 Самые «умные» города мира

Чтобы составить рейтинг «самых умных городов» мира, были использованы рейтинги от четырех независимых компаний из разных стран: Forbes, PwC, Juniper Research (международное агентство по исследованиям рынка) и EasyPark (шведская IT-компания) [9].

1. Сингапур присутствует во всех рассматриваемых рейтингах, а в рейтинге от Juniper Research он занимает первое место. Основным элементом «умного города» в Сингапуре – это умное движение. В этом городе-государстве интеллектуальные решения внедрены как в личный, так и в общественный транспорт. Примерами могут стать умные светофоры, основная задача которых – минимизировать пробки и заторы на дорогах, а также дорожные датчики, которые постоянно измеряют плотность трафика и подстраивают под это всю транспортную инфраструктуру. Еще одним примером умного движения можно назвать «умные парковки», которые также используют множество датчиков для регистрации количества свободных мест на той или иной парковке, отправляя эту информацию в удобном виде в приложение. Пользователь в пути может оценить состояние парковки и изменить маршрут, в случае необходимости. Также Сингапур уже запустил на своих дорогах беспилотные автомобили, а к 2020 году все автомобилисты будут обязаны установить навигационную систему, отслеживающую положение авто. В городе разработан концепт «Виртуальный Сингапур»: 3D-симуляция, на которой можно проводить тесты. Например, спланировать эвакуацию города в случае чрезвычайной ситуации.

Еще одним важным аспектом умного города является грамотное потребление ресурсов. Правительство Сингапура пытается оптимизировать расходы воды и снизить зависимость от Малайзии, откуда город импортирует пресную воду. Для этого кварталы Сингапура оборудуют сенсорами, которые могут отследить потребление электроэнергии, воды и другие показатели в режиме реального времени. Один из кварталов, например, уже оснащен вакуумной системой управления отходами и солнечными панелями для выработки электроэнергии. Все это не только позволяет экономить, но и учит бережно относиться к ресурсам [10].

Что касается здравоохранения – и в этой области Сингапур внедряет «умные» технологии. С 2014 года в городе тестировали систему добровольного наблюдения за пожилыми. В их квартиры и на двери устанавливали специальные датчики, отслеживавшие перемещение пожилых людей.

Когда система определяла, что человек долгое время находится без движения, она предупреждала об этом родственников и медицинских специалистов.

2. На втором месте в сводном рейтинге находится **Лондон**. Он попал в число умных городов благодаря своему крупному дата-центру и высокотехнологичным решениям проблем трафика.

3. Так как Лондон был в числе первых городов Европы, столкнувшихся с огромным неконтролируемым трафиком на дорогах, власти этого города уже давно начали борьбу с пробками и перестройку транспортной инфраструктуры. Система умных парковок (похожая на ту, что действует в Сингапуре) внедрена в Лондоне с 2014 года. Помимо этого, с 2002 года действует система платежей за перегруженность дорог, которая сейчас уже стала полностью цифровой (водитель платит за право пользоваться автомобилем в транспортно-загруженной зоне в будние дни).

Из-за того, что в Лондоне схемы метро очень запутанные, а расстояния по городу приходится преодолевать часто с пересадками на общественном транспорте, чтобы жителям было комфортнее планировать свою поездку, были разработаны различные приложения, строящие маршруты по городу. В частности, система SmartLondon. Статистическая аналитическая система позволяет выявлять наиболее пожароопасные дома. Моделирование каждого района города складывается из 60 критериев, включая демографические, геологические и исторические данные. Кроме того, на 1 кв. км Лондона приходится свыше 300 камер наружного видеонаблюдения [10].

4. Нью-Йорк. Данный город добавлен в рейтинг из-за своих передовых систем безопасности: город охвачен сетью видеокамер, на улицах установлены сенсоры, фиксирующие звуковые вибрации от выстрелов и отправляющие сигнал в полицию. Есть и современная система профилактики пожаров. В центре города установлены интеллектуальные мусорные урны BigBelly — они снабжены датчиками, которые сообщают, когда пора отправлять за ними мусоровоз. Также смарт-технологии применяются для уличного освещения. Система собирает данные о загруженности улиц и шоссе и выбирает оптимальный режим работы фонарей.

5. Барселона, как и предыдущие города из списка, использует интеллектуальные системы парковки и движения для мониторинга заторов. Однако этот город выделяется «умным» по еще одной очень важной причине. Барселона активно использует солнечную энергию. В 2000 году указ «О солнечной тепловой энергии» предусматривал, чтобы все крупные здания производили собственную горячую воду, а в 2006-м городские власти обязали использовать солнечные водонагреватели [10].

Кроме того, Барселона выделяется своей сетью общественного транспорта. Она является одной из самых чистых в мире, благодаря парку гибридных автобусов, а также смарт-велосипедной инициативой *Bicing*, которая дает доступ к более чем 400 велосипедным станциям через годовую подписку или телефонные платежи. Городские власти даже мусор с улиц вывозят «по-умному».

В городе внедрена следующая система: контейнер оборудован ультразвуковыми сенсорами, которые подают сигнал, когда он полон, это позволяет значительно экономить топливо мусороуборочных машин и рабочее время городских служб.

Главная «умная» система в Барселоне – *Sentilo*. 550 датчиков – приборы наблюдения водоснабжения, света, энергии, дорожной обстановки, уровня шума и так далее – они собирают информацию об обстановке в городе. Все данные открытые, а значит, не только помогают властям планировать застройку, но и являются хорошей основой для разработок независимых коммерческих компаний.

6. Копенгаген. Столица Дании заняла верхнюю строчку в рейтинге *EasyPark*. Копенгаген имеет неофициальный титул «самый велосипедный город Европы», так как здесь очень развита именно велосипедная инфраструктура. В Копенгагене «умные» технологии применяют в сфере освещения улиц и домоуправления. В 2017 году стартовал проект по оснащению велосипедов датчиками, главной задачей которых будет сбор и передача информации об уровне загрязнения дорог и о трафике.

В том же году власти Копенгагена и компания *Hitachi* создали «городскую базу обмена данными». Теперь любое физическое и юридическое лицо, от рядового горожанина до администрации столицы, может разместить здесь имеющиеся у них данные. Это выглядит как сотрудничество социальных институтов: общества, полиции, администрации и экстренных служб.

7. Осло стремится к прогрессивной и более чистой жизни. Городские власти следят за потреблением ресурсов: таким образом, в городе в настоящее время используется 65 тыс. LED-ламп, они не только уменьшают количество потребляемой энергии, но и самостоятельно регулируют степень освещения. Когда в городе туманно, такие лампочки светят более ярко, когда светло – наоборот. В столице Норвегии власти планируют построить дополнительные 37 миль велосипедных дорог и запретить автомобилям находиться в центре города, чтобы избавиться от трафика и позволить жителям комфортно добираться до работы [10].

В Осло отходы – один из основных видов топлива, при этом используются как промышленные, так и стандартные отходы.

Интересно, что из-за того, что город использует так много отходов для топлива, их запас в 2013 году был исчерпан и властям пришлось импортировать мусор из-за рубежа. В будущем Осло стремится сократить выбросы топлива на 50% [10].

1.4.2 Самые «умные» города России

Что касается «самых умных городов России», на первом месте рейтингов находится столица – Москва. В Москве уже реализовано множество проектов в различных сферах. Примеры этих сфер и описание проектов представлены на рисунке 1.4 [11].

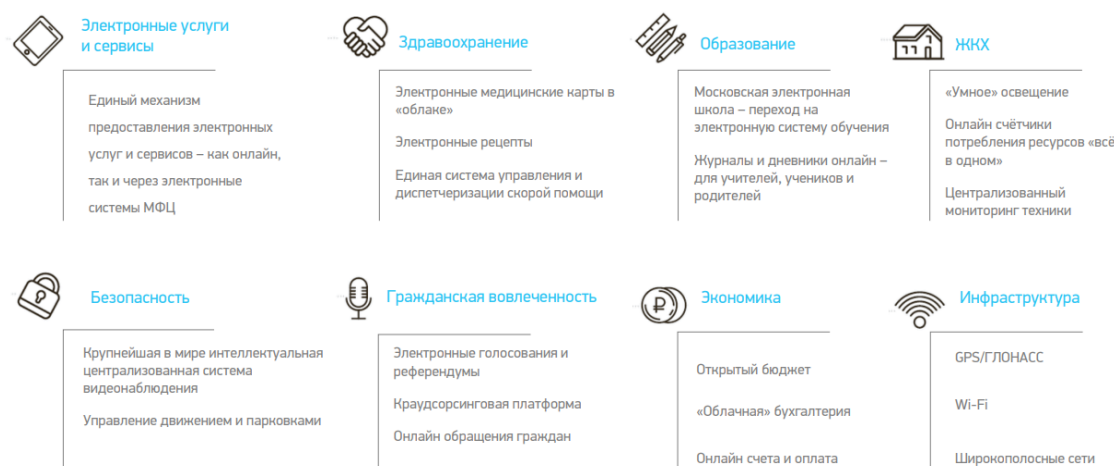


Рисунок 1.4 - Отрасли реализованных проектов в Москве

Помимо уже разработанных, протестированных и внедренных проектов, у правительства очень амбициозные планы на будущее. Сейчас на стадии разработки находится программа «Умный город», которая должна быть по плану реализована к 2030 году. Наглядно планы по развитию Москвы схематично представлены на рисунке 1.5 [12].



Рисунок 1.5 - Планы программы «Умный город» в Москве

Как видно по рисунку, все основные компоненты «умного города» будут затронуты (какие-то из них внедрены «с нуля», а какие-то усовершенствованы). Как будет выглядеть «умная Москва», а также более детальное описание развития сфер показано на рисунке 1.6 [12].

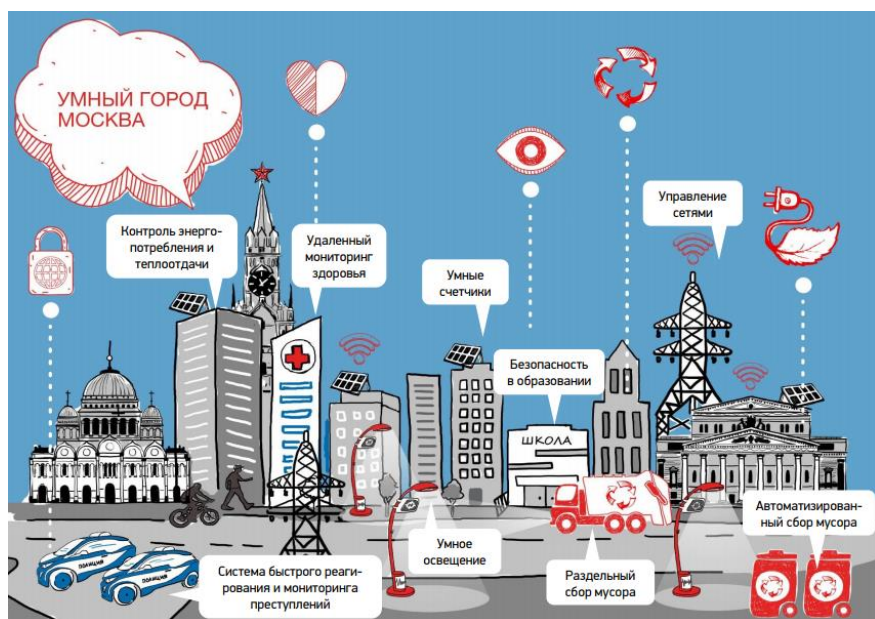


Рисунок 1.6 - «Умный город Москва»

Город определяет приоритетные направления проектов «умный город» и реализует их вместе с партнерами

Российские и международные компании-разработчики развивают соответствующие технологические решения

Операторы развивают и предоставляют технологии связи следующего поколения (5G, LPWAN и пр.)

ДИТ координирует деятельность

Стоит отметить, что помимо планируемых изменений, в Москве уже реализованы следующие важные для развития цифровой инфраструктуры проекты:

— развитие технополиса «Москва» и технопарков, количество которых за последние несколько лет выросло в пять.

— Количество компаний — резидентов технопарков также увеличилось почти в четыре раза, а число рабочих мест — в 6,5 раз;

— создание единой автоматизированной информационной системы торгов Москвы (ЕАИСТ). Она была создана для обеспечения автоматизации всего закупочного цикла, от этапа планирования потребностей до исполнения контрактов. Также данная система может быть использована для того, чтобы решать аналитические или статистические задачи, а также проводить мониторинг в сфере закупок;

— 2019: Представлено Единое цифровое пространство управления закупками, интегрированное с «Порталом поставщиков»;

— с 01 января 2019 года стало обязательным условием для государственных заказчиков в электронной форме оформлять проведение конкурсов, запросов котировок и предложений;

— одним из основных достижений в области Smart City власти Москвы считают новую транспортную систему.

— Москва уже оборудована множеством новейших светофоров, камер видеонаблюдения и детекторов, которые отслеживают дорожное движение в городе. Данные с датчиков анализируются сотрудниками ситуационного центра в режиме онлайн, что помогает контролировать дорожную ситуацию и быстро применять необходимые меры. В планах – составление прогноза дорожной обстановки. Уже сейчас на остановках общественного транспорта установлены электронные табло, отражающие множество показателей, важных для пассажиров. После внедрения всех описанных технологий, несмотря на увеличение транспортного потока, средняя скорость в Москве увеличилась на 13%;

— 13 декабря 2019 год стало известно о том, что «Мосгортранс» закупит у различных транспортных компаний решения, которые помогут решить проблему безбилетного проезда в транспорте, а также регулировать пассажиропоток. Также будут закуплены новейшие электробусы и зарядные устройства к ним;

— 26 декабря 2018 года стало известно о запуске в Москве нейронной сети для фиксации нарушений ПДД. Новая технология позволит автоматически сверять соответствие марки и номера автомобиля и исключит ситуации, когда камера неверно распознает номерной знак.

Как видно, Москва по количеству внедренных проектов не уступает самым «умным» городам мира, однако уступает по масштабности внедрения. Возможно, поэтому она не входит в топ рейтингов (однако всегда присутствует в них). В заключение анализа крупных мировых и российских проектов необходимо подчеркнуть, что в мире на данный момент не внедрена одна единая система управления целым городом. Изменения затрагивают лишь отдельных сфер жизни.

Глава 2 Обоснование выбранного метода разработки системы и проектирование информационной модели умного города

«Умный город» — это очень сложная многоуровневая система. В ней задействованы множество людей, выполняющих разные задачи. Для полной реализации всех необходимых функций должно быть задействовано множество взаимосвязанных приложений. Обмен данными в такой системе происходит ежесекундно, из-за чего нужна надежная, стабильная и устойчивая база данных. Для описания такой масштабной системы не подойдут классические способы описания информационных систем, в данном случае лучше подойдет архитектурный метод описания информационной системы.

Архитектурой программного обеспечения можно назвать множество взаимосвязанных структурных элементов и интерфейсов, а также описание и моделирование их взаимодействия, поведения в рамках действия пользователей или других структурных элементов.

В данном контексте архитектурным подходом можно назвать «соглашения, принципы и практики для описания архитектуры установленные для конкретной области применения и/или конкретным сообществом заинтересованных лиц» [13].

«Умный город» удобно будет описывать именно с помощью архитектурного метода, для реализации которого будет использоваться инструмент Archi, так как он позволяет в одной модели увидеть:

- бизнес-слой (цели, мотивы, действия людей – участников бизнес-процессов);
- слой приложения (функции, используемые базы данных, файлы, приложения);
- слой технологий (сети, сервера, операционные системы, служебные программы и т.д.).

Так как целью данной работы является разработка именно концепции цифрового двойника для умного города, то технологический слой архитектуры был исключен из общей модели. Моделирование будет касаться только верхнего слоя – бизнес-логики, а также слоя приложений.

2.1 Описание сфер деятельности человека, которые используются в «умном городе»

«Умный город» представляет из себя систему, охватывающую все сферы жизни человека. К таким сферам можно отнести:

1. Медицина и здравоохранение (онлайн-запись к врачу, онлайн-хранение документов, напоминание о приёмах, отслеживание показателей здоровья и в режиме онлайн отправка их лечащему врачу и др.);
2. Социальная сфера (семья, друзья и родственники);
3. Образование (сюда же можно отнести работу, так как человек в «умном городе» стремится к самообразованию и на работе тоже);
4. Развлечения (кино, театры, музеи, рестораны и так далее);
5. Транспорт и трафик (интерактивная карта, отслеживание общественного и междугороднего транспорта, построение оптимальных маршрутов, изменение времени проезда и так далее);
6. Безопасность (сюда можно отнести автоматический вызов экстренных служб, систему видеонаблюдения);
7. Окружающая среда (с точки зрения экологии и защиты планеты).

Для того, чтобы собрать воедино все перечисленные сферы, а также объединить их базами данных, датчиками и приложениями, нужна масштабная и стабильная информационная система. Как было описано выше, для построения модели архитектуры данной системы был выбран продукт Archi [17].

На основе описанных выше сфер деятельности человека, которые объединяет система «умный город», были выделены основные крупные бизнес-процессы. Данные процессы включают в себя множество подпроцессов, однако для моделирования будет достаточно описать их на таком уровне (см. рис. 2.1).

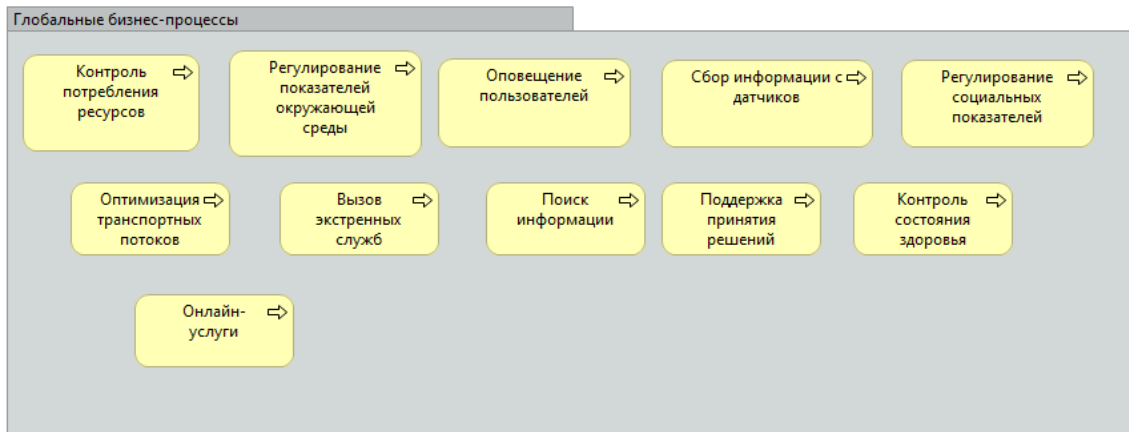


Рисунок 2.1 - Глобальные бизнес-процессы

После того, как были определены глобальные бизнес-процессы, которые являются основой работы «умного города», необходимо было определить бизнес-сервисы, которые связаны с описанными бизнес-процессами. Бизнес-сервисы как правило не существуют отдельно от бизнес-процессов, они направлены именно на поддержание или выполнение определенного бизнес-процесса (или нескольких бизнес-процессов). Таким образом, необходимо было определить, какие бизнес-процессы какие бизнес-сервисы будут использовать. В результате получилась следующая схема (рис. 2.2).

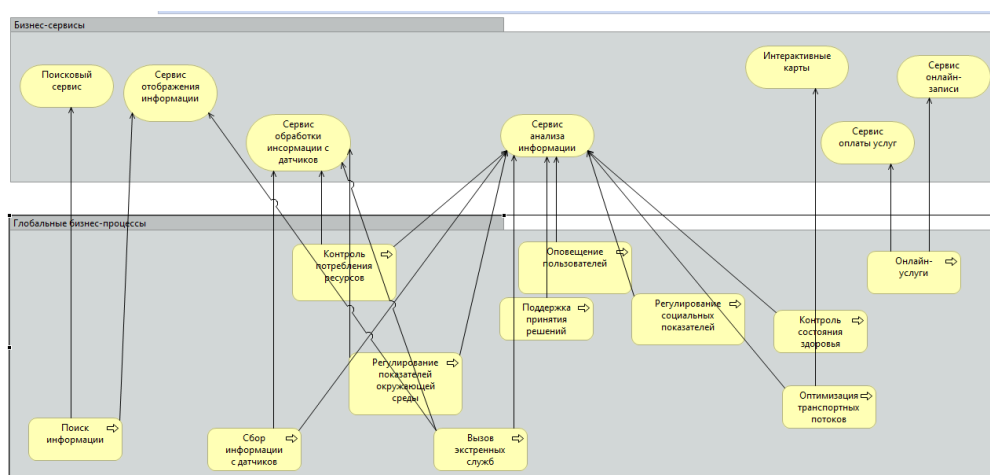


Рисунок 2.2 - Соединение бизнес-сервисов и бизнес-процессов

После того, как основные бизнес-процессы «умного города» были распределены по необходимым для их реализации бизнес-сервисам, необходимо было продумать компоненты приложения, управляющего «умным городом». Были выделены следующие блоки функций в этом приложении:

1. Датчики (данный блок функций реализует взаимодействие с датчиками, сравнение показателей с нормой и отправление сигнала SOS, в случае аварии);

2. Умные карты (данный блок отвечает за функционирование интерактивных карт, на которых можно строить маршруты и отслеживать движение транспорта);
3. Анализ информации (данный блок функций объединяет построение аналитической отчетности, вычисление отклонения показателей во всех сферах и оповещение пользователей о каких-либо сильных изменениях);
4. Экстренные службы (данный блок функций отвечает за получение службами экстренной помощи сигнала SOS и выезд на место происшествия);
5. Онлайн-услуги (данный блок объединяет все функции, связанные с онлайн оказанием услуг);
6. Финансы (как часть блока оказания онлайн-услуг, функции, связанные с финансами и обработкой транзакций).

После определения функциональных блоков были назначены информационные блоки для каждого из функциональных блоков. Функциональные блоки выделены более крупными элементами на схеме (датчики, экстренные службы, умные карты и так далее), а блоки данных – более мелкими элементами (информация о службе, расписание транспорта и так далее). На схеме все элементы также обозначены абстрактно (рис. 2.3).

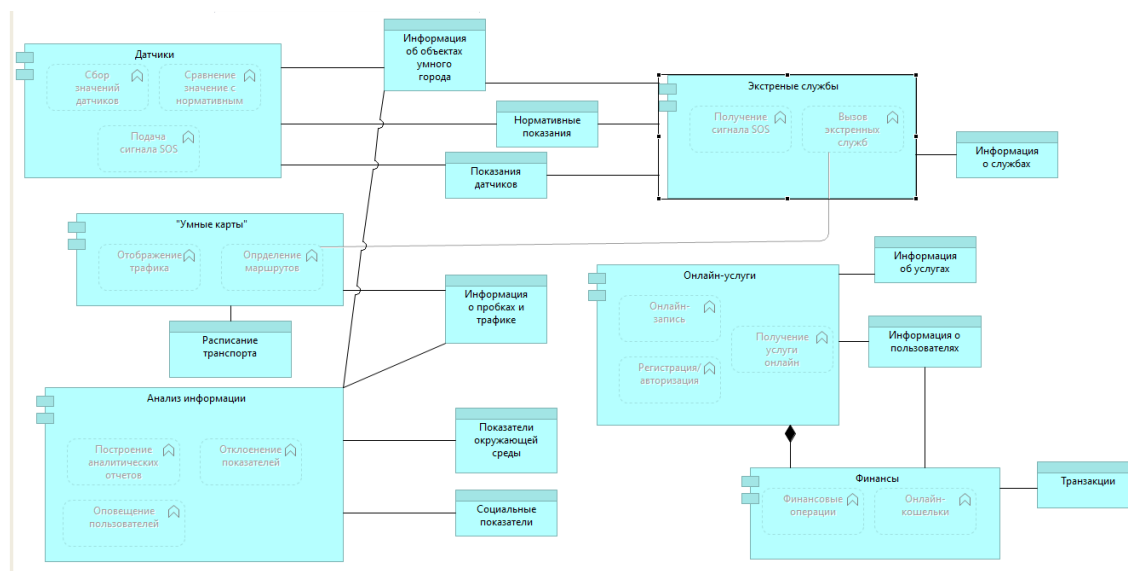


Рисунок 2.3 - Описание функциональных блоков и блоков данных

Следующим этапом необходимо сделать объединение функциональных блоков с бизнес-сервисами и бизнес-процессами, чтобы понять, для какого бизнес-процесса какие функции системы необходимы (рис. 2.4).

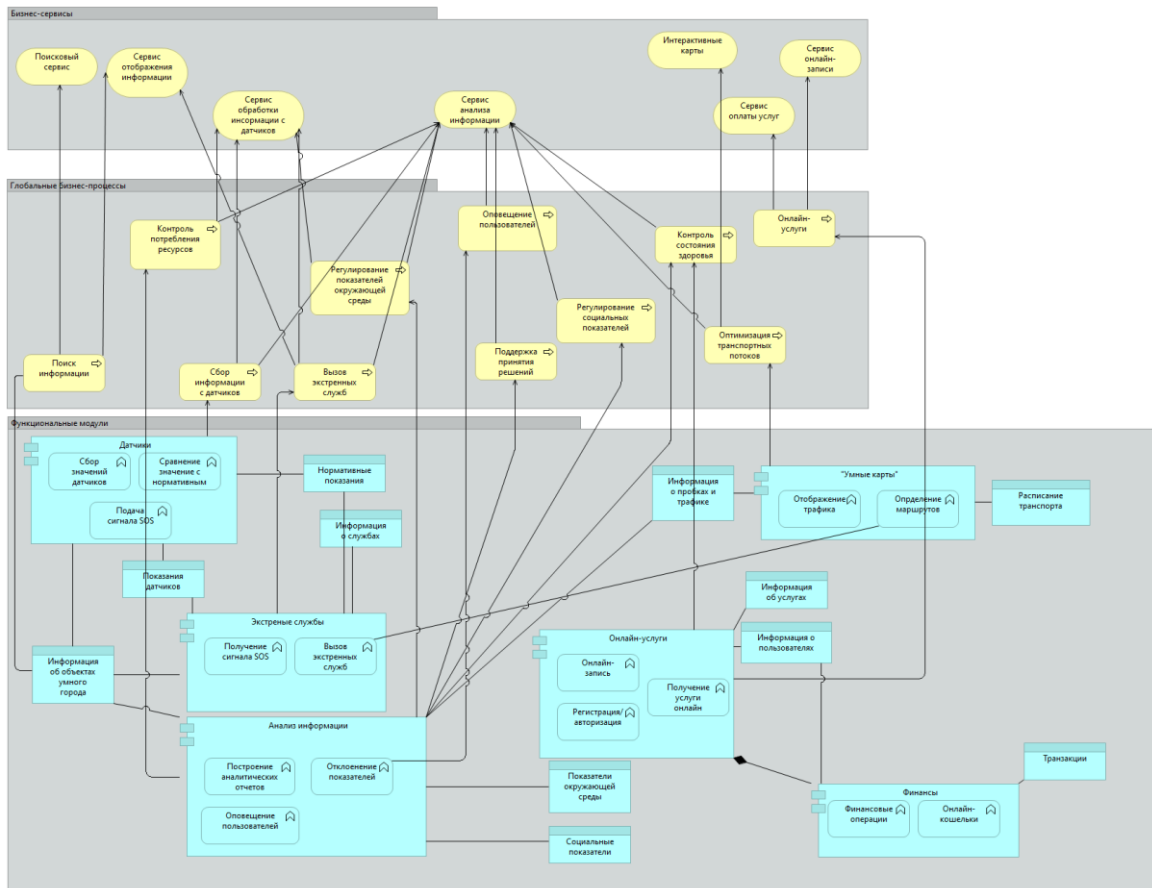


Рисунок 2.4 - Соединение функциональных модулей и бизнес-процессов

В данной главе будут описаны не все бизнес-процессы и объекты, функционирующие в умном городе, а только их часть, поэтому оставить необходимо только нужные элементы на схеме. Выбранные для подробного анализа сферы – это безопасность (всё, что связано с датчиками) и сфера развлечений (всё что связано с кафе, ресторанами, театрами, кинотеатрами и так далее).

Данные сферы были выбраны за счет того, что в них используются различные технологии сбора и хранения данных: например, значения датчиков неудобно хранить в реляционной базе данных, для этой задачи больше подойдет база данных временных рядов; аргументом выбора сферы развлечений может стать тот факт, что в данной сфере помимо стандартной реляционной базы данных должна использоваться документо-ориентированная база данных, так как для объектов этой сферы необходимы для хранения различные документы, которые могут иметь сложную и разнообразную структуру (что также невозможно хранить в реляционной базе). В результате, если удалить с модели избыточные элементы, остается следующая модель (см. рис. 2.5).

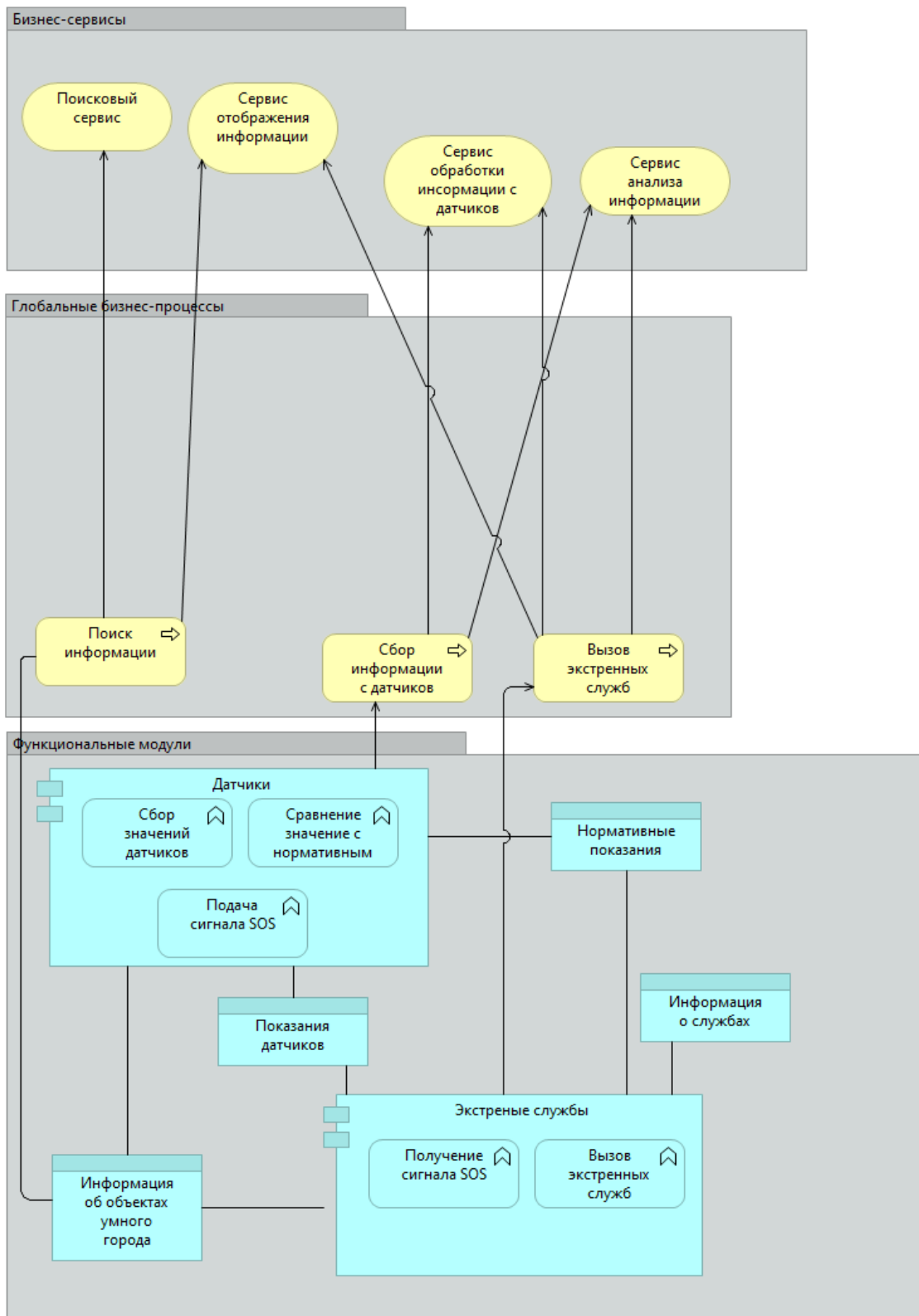


Рисунок 2.5 - Архитектурная модель части умного города, рассматриваемой в данной работе

Архитектурный подход описания информационных систем применяют в тех случаях, когда система охватывает множество сфер жизни, является многоуровневой и сложной. В рамках данной работы, как описано выше, были выбраны только некоторые из сфер жизни человека, но именно такие, для объединения которых потребуется реализация не просто базы данных какого-либо определенного типа, а именно цифровой двойник.

Так как информация, обрабатываемая бизнес-сервисами, разнотипная, решить проблему её общего хранения и работы с ней может именно цифровой двойник: информация с датчиков будет обрабатываться с помощью базы данных временных рядов, так как она обновляется в режиме онлайн и имеет простую структуру, информация об объектах умного города должна храниться в структурированной базе с быстрым доступом к данным – подойдет реляционный тип базы данных. Информация из документов же или иная информация, не поддающаяся строгой типизации, может храниться в NoSql-базах данных. Необходимо оценить аналоги и выбрать наиболее подходящие инструменты для проектирования цифрового двойника.

Применение архитектурного метода описания проектируемой системы позволило понять детально, какие бизнес-сервисы необходимо реализовать в системе для полного и корректного функционирования глобальных бизнес-процессов умного города, а также какие функциональные модули нужны в системе для поддержки бизнес-процессов. На основе определенных функциональных модулей были выделены блоки данных, которые необходимы для хранения в проектируемом цифровом двойнике. После ограничения всей архитектурной модели системы умного города только выбранными в рамках данной выпускной квалификационной работы областями, количество блоков данных также сократилось, однако они недостаточно детализированы, чтобы не перегружать общую схему модели. Для детализации выделенных блоков данных необходимо более подробно проанализировать бизнес-процессы.

Одним из самых удобных способов представления бизнес-процессов является их графическое описание с помощью диаграмм. Поэтому определенные выше бизнес-процессы были описаны с помощью диаграмм активности, чтобы на основе детализированного представления бизнес-процесса выделить объекты (сущности) и конкретную информацию о них, необходимую для хранения в цифровом двойнике. Логика применения архитектурного метода можно описать следующей схемой (см. рис. 2.6):



Рисунок 2.6 – Логика применения архитектурного метода для проектирования цифрового двойника

Итак, в результате построения архитектурной модели была выбрана часть бизнес-процессов, которая будет далее описана с помощью диаграмм активности, и на основе которой будет построена информационная модель.

2.2 Бизнес-процессы, протекающие в «умных городах»

Для того, чтобы понять, каким образом происходит обмен информацией внутри «умного города», а также как взаимодействуют составные части умного города, необходимо проанализировать бизнес-процессы, протекающие в «умном городе». В частности, будут рассмотрены только те части умного города, которые анализируются в рамках данной работы: безопасность и сфера развлечений.

К сфере развлечений можно отнести следующие бизнес-процессы:

1. Отображение информации о здании по запросу (рис. 2.7). Данный бизнес-процесс описывает считывание уникального маркера здания, а также поиск в базе данных информации о нём. Бизнес-процесс был описан с использованием диаграммы активности нотации UML.



Рисунок 2.7 - Отображение информации о здании по запросу

2. Поиск и создание списка рекомендаций похожих зданий в ближайшем районе (см. рис. 2.8). Данный бизнес-процесс описывает поиск информации о зданиях, похожих на то, которое смотрит пользователь. Для того, чтобы поиск был удобнее, пользователю предлагается выбрать критерий «схожести» зданий. Также, чтобы показывались здания поблизости, пользователю необходимо включить отображение геолокации на телефоне (или устройстве, с которого он заходит в приложение).

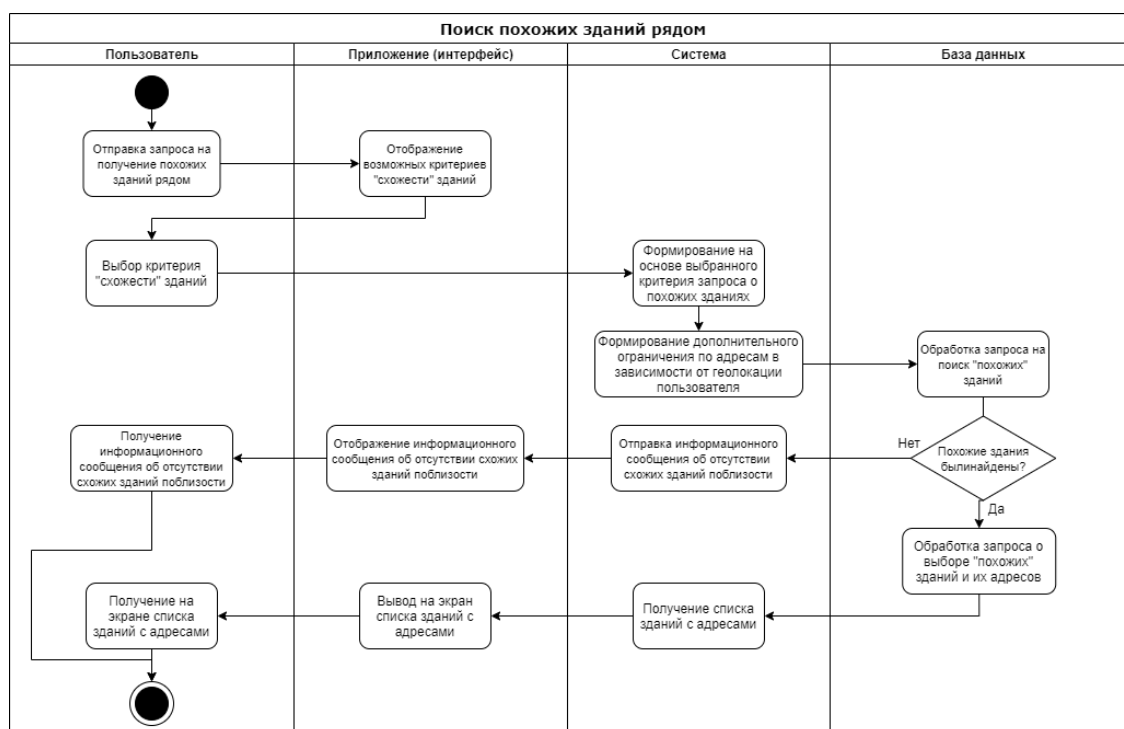


Рисунок 2.8 - Поиск похожих зданий поблизости

К сфере безопасности можно отнести следующие бизнес-процессы:

1. Считывание информации с датчиков с определенной периодичностью

Данный бизнес-процесс (см. рис. 2.9) направлен на заполнение базы данных, содержащей информацию, которая собирается с датчиков. Вероятнее всего, данная информация должна быть представлена в виде временного ряда, так как с помощью этого типа базы данных происходит сбор статистической информации о значениях какого-либо параметра или показателя.

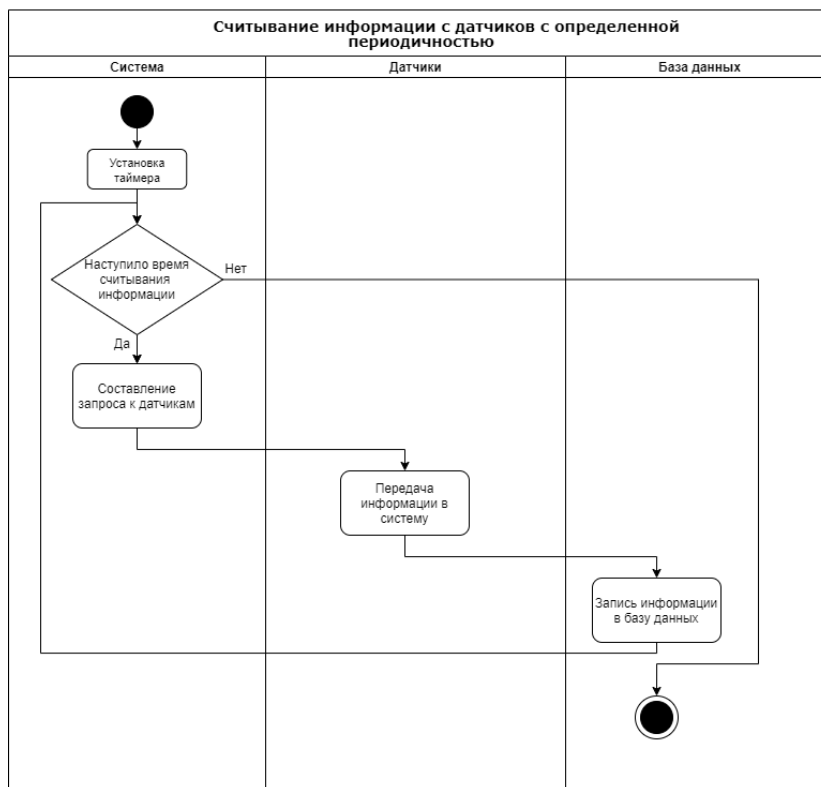


Рисунок 2.9 - Считывание информации с датчиков

В случае исследуемой предметной области данные удобно предоставлять в виде временного ряда, так как важно собирать статистическую информацию показателя (к примеру, температуры внутри здания) за определенный промежуток времени (например, каждый час). Для более понятного определения объектов, используемых в данном процессе, была разработана диаграмма последовательности (рис. 2.10).

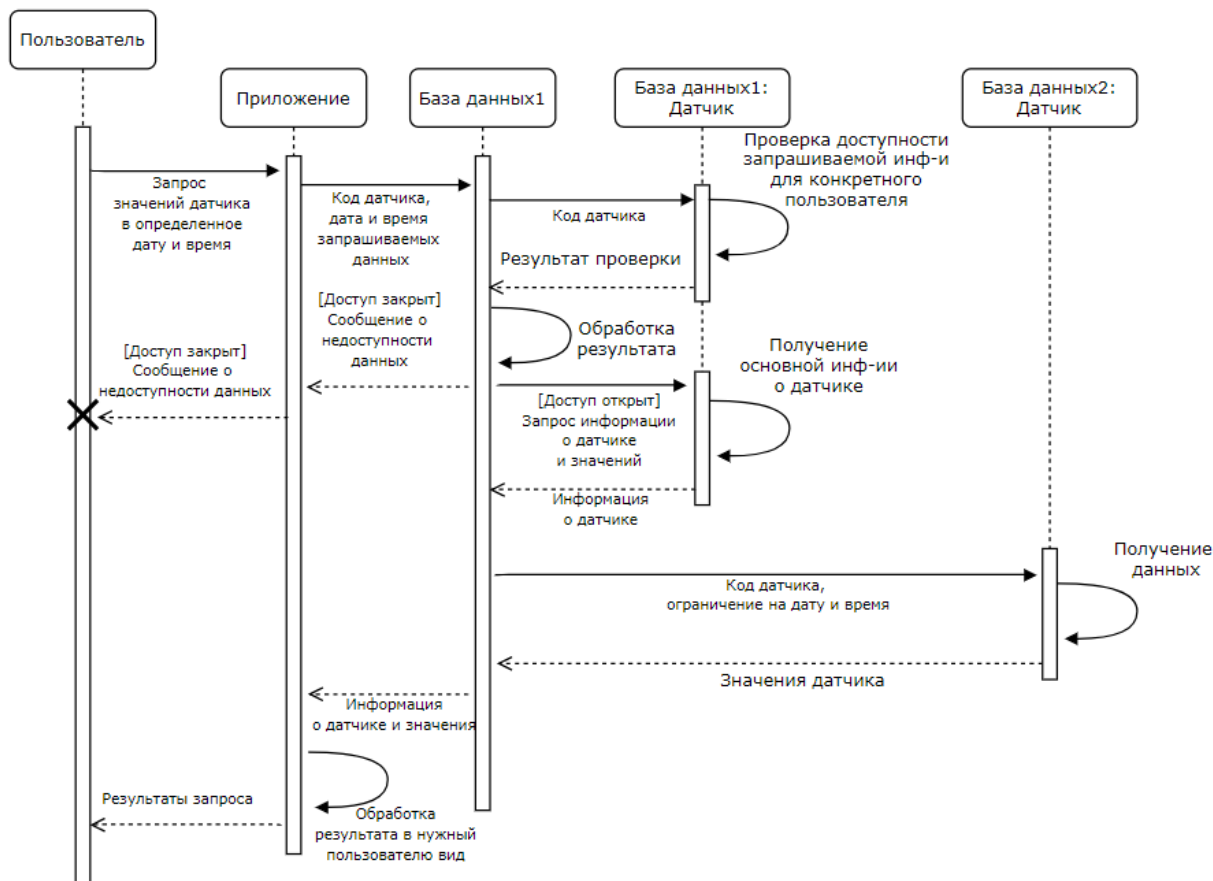


Рисунок 2.10 - Считывание информации с датчиков (последовательность)

На диаграмме выделено, что значения датчиков и основная информация о них должны храниться в разных базах данных, потому что информация различная по своей структуре. Подробнее о необходимых типах баз данных для цифрового двойника будет описано в работе далее. Также по данной диаграмме видно, что в базе данных необходимо хранить информацию о пользователях, чтобы ограничивать доступ к информации об объектах и датчиках.

2. Проверка соответствия значений показателей норме (включает в себя отправку предупредительного сигнала).

Бизнес-процесс сверки значения, полученного с датчика, с нормативным значением, является основным бизнес-процессом в сфере безопасности (см. прил. А). Для каждого показателя, например, температура внутри помещения, существует закрепленное в нормативно-правовых актах нормативное значение. Чаще всего это значение определяется интервалом. Суть бизнес-процесса заключается в сверке значений датчика с нормативным значением, хранящимся в базе данных.

После того, как с датчика было получено какое-то значение (см. предыдущий анализируемый бизнес-процесс – рис. 2.9), строится запрос в базу данных о нормативном значении данного показателя. Если значение не совпадает с нормативным, то считается разница и сравнивается с интервалом допустимых отклонений показателя. Если показатель не в норме, то в зависимости от того, требуется ли это, вызываются экстренные службы (предварительно запросив в базе данных адрес здания с аварией).

На основе построенной архитектурной модели можно отметить, что в проектируемом цифровом двойнике (в рамках данной работы) будет храниться информация об объектах умного города (в сфере развлечений это будут здания – кинотеатры, театры, рестораны и так далее) и датчиках. На основе проанализированной на данном этапе информации можно выделить следующие особенности, необходимые для дальнейшего проектирования:

1. Цифровой двойник должен состоять из нескольких типов баз данных, так как информация, необходимая для хранения, разрозненная.

2. Уже на данном этапе можно выделить такие сущности будущей спроектированной базы данных как: пользователь, объект умного города (необходима детализация в соответствии с выбранной сферой жизни – развлечения), датчик.

Важно отметить, что сущность «объект умного города» должна присутствовать в базе данных для последующего масштабирования системы. Так как в рамках данной работы была выбрана только сфера развлечений, то более мелкие сущности (например, ресторан, кино, кафе и так далее) также должны быть добавлены (и разделены именно на разные сущности, так как набор полей существенно отличается). Однако у всех объектов умного города определены будут и общие поля, которые некорректно будет дублировать во всех таблицах детализированных сущностей. При масштабировании системы будет удобно добавлять новые сущности в базу, объединяя их сущностью «объект умного города», - таким образом они будут логически правильно определены в базе, а не будут существовать отдельно от других объектов.

Таким образом, основываясь на архитектурном подходе к проектированию системы умного города, система была разобрана по уровням от более крупной концепции к более мелким – конкретным функциональным модулям.

На основе выделенных модулей были выделены бизнес-процессы, функционал для осуществления которых будет спроектирован в рамках этой работы. Далее бизнес-процессы были детализированы, чтобы выявить основные сущности, необходимые для реализации этих бизнес-процессов. Следующим этапом в работе необходимо детализировать сущность «объект умного города», а также понять, какие поля должны быть в базе данных у выделенных сущностей и определить их типы данных.

2.3 Описание объектов умного города и определение данных для хранения в базе данных

В проекте такого масштаба как выпускная квалификационная работа сложно было бы уместить разработку требований для модели города целиком, включив все сферы жизни. Поэтому для данных ограничений по времени и трудоёмкости были определены следующие ограничения: затрагивается сфера развлечений (театры, концертные залы, музеи и так далее), а также сфера безопасности (датчики, установленные на жилых или «развлекательных» зданиях, должны контролировать уровень опасности нахождения в помещении, а также сообщать о неисправностях в работе сферы ЖКХ). Выше в работе уже была описана причина выбора именно этих сфер: на их примере можно показать выгоду проектирования именно цифрового двойника, позволяющего обрабатывать и хранить разрозненную информацию.

2.3.1 Сфера безопасности

В сфере безопасности возможно моделирование следующих объектов. Во-первых, «умный дом» — это жилой дом (многоквартирный или частный), муниципальное или государственное учреждение (например, детский сад, университет), а также частные здания (например, банк, торговый центр, кинотеатр). Все указанные здания должны быть оборудованы датчиками, измеряющими различные показатели. К таким показателям могут быть отнесены:

- подача воды (горячей и холодной);
- загазованность помещений здания;
- подача электроэнергии;
- показатели температуры внутри помещений;
- показатели датчиков движения;
- показатели загазованности помещений.

— запись камер видеонаблюдения.

Датчики, собирая необходимую информацию, должны в режиме онлайн передавать её в базу данных, где полученная информация должна сверяться с показателями нормы. В случае сильного отклонения от нормы и при возможности возникновения аварийной ситуации, в приложении, связанном с базой данных, должен загораться индикатор на аварийном здании. Данная функция необходима для быстрого реагирования в случае возможной аварии, чтобы избежать или максимально сократить количество пострадавших.

В базу данных должна поступать следующая информация. Для начала была выделена отдельная таблица с описанием здания (табл. 2.1) – в неё вынесены все общие поля для зданий разных типов, которые будут описаны ниже.

Таблица 2.1 - Информация, которая должна храниться в БД (общая информация о здании)

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
ID	Int	Уникальный идентификатор, для пользователя не выводится в силу отсутствия необходимости
HistoricalAccount	String	Историческая справка, опционально
Picture	Image	Фотография здания
Latitude	Decimal	Широта
Longitude	Decimal	Долгота
Country	String	Страна
Region/Province/Neighborhood	String	Регион, провинция или район
City	String	Город
Street	String	Улица
House/Building	String	Дом/строение/корпус
Organizations	List<Organization>	Организации в здании

Далее необходимо было описать информацию, касающуюся именно сферы безопасности (см. табл. 2.2). В таблице описано здание с точки зрения сбора информации с датчиков.

Таблица 2.2 - Информация, которая должна храниться в БД (сфера безопасности)

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
ID	int	
IDBuildingType	int	Тип здания (жилое/ административное/ развлекательная сфера/ и т.д.).
BuildingType	string	Описание типа здания (жилое/ административное/ развлекательная сфера/ и т.д.).
Sensors	List<Sensor>	Датчики

SensorDescription	string	Могут быть следующие датчики: подача воды, загазованность помещения, подача электроэнергии, температура воздуха внутри здания, показания датчиков движения, запись камер видеонаблюдения.
Indicator	List<Indicator>	От значения данного показателя зависит, включать ли сигнализацию и вызывать ли экстренные службы.
LegalAct		Нормативно-правовые акты нужны для отображения нормы значения показателей, измеряемых датчиками. Хранится в документоориентированной базе данных.

Как видно из таблицы 2.2, значения датчиков удобнее всего хранить в виде временных рядов. Остальную информацию о здании удобно было бы хранить в виде реляционной базы данных. Отдельно от основной информации о здании удобно хранить информацию о датчике (табл. 2.3).

Таблица 2.3 - Информация, которая должна храниться в БД (датчик)

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
IDSensor	int	
SensorDescription	string	Могут быть следующие датчики: подача воды, загазованность помещения, подача электроэнергии, температура воздуха внутри здания, показания датчиков движения, запись камер видеонаблюдения.
SensorValue		Должно храниться как временной ряд (например, в influxDB).

Как видно из таблицы 2.3, значения датчиков удобнее всего хранить в виде временных рядов. Остальную информацию о здании удобно было бы хранить в виде реляционной базы данных.

2.3.2 Сфера развлечений

К объектам данной сферы относятся здания развлекательной индустрии: театры, музеи, исторические здания и так далее. На зданиях также будут расположены различные датчики, собирающие значения различных показателей. Но сфера развлечений в рамках данной работы будет рассмотрена не в качестве здания с датчиками (к этому больше относится описанная ранее сфера безопасности). В контексте данной работы «сфера развлечений» — это здания, при просмотре информации о которых через специальное приложение, пользователю должна быть доступна информация о мероприятиях с данным зданием, какие-то исторические факты о нём или другая информация развлекательного характера.

Ниже в виде таблиц описаны информационные модели для различных объектов умного города в сфере развлечений (табл. 2.4 – 2.8). Данные таблицы связаны с общей таблицей, содержащей информацию о здании – объекте умного города (см. табл. 2.1) по ID здания.

Таблица 2.4 - Информация, которая должна храниться в БД (ресторан)

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
ID	Int	
Rating	Double	Рейтинг ресторана
AverageCheck	Int	Берём целочисленное значение, для пользователя не имеют значения цифры после запятой
NumberOfEmptyTables		Количество свободных столов
FamousCooks	List<Person>	Опциональный список со ссылками на объекты человека или любой другой похожей модели
FanciestDishes	List<Dish>	Опциональный список с самыми необычными блюдами
MostPopularDishes	List<Dish>	Опциональный список с самыми популярными блюдами
Website	String	
Picture	Image	Изображение ресторана

В таблице 2.4 описана информация о ресторанах, необходимая для хранения в базе данных. Данная информация позволит пользователю, например, найти ресторан поблизости, посмотреть его рейтинг, количество свободных мест, а также набор блюд. На основе этой информации пользователь сможет быстро подобрать для себя наиболее удобное и комфортное место для отдыха.

Таблица 2.5 - Информация, которая должна храниться в БД (кинотеатр)

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
ID	Int	
Website	String	
ComfortabilityRating	Double	Рейтинг кинотеатра
Movies	List<Movie>	Список фильмов в прокате
Picture	Image	Изображение здания кинотеатра

В таблице 2.5 показана информация о кинотеатре, она может пригодиться системе, чтобы подсказать пользователю оптимальный маршрут до кинотеатра. Отдельно была проработана информация о кино (о сеансе какого-либо фильма), эту информацию также может получить пользователь при поиске кинотеатра поблизости (табл. 2.6).

Таблица 2.6 - Информация, которая должна храниться в БД (сеанс кино)

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
ID	Int	
Name	String	Название фильма
Description	String	Описание фильма
Rating	Double	Рейтинг фильма
ReleaseDate	Date	Дата выхода
EndDate	Date	Дата окончания проката
BoxOffice	Int	Кассовые сборы, опционально
Showings	List<Showing>	Сеансы
Poster	Image	Изображение официального постера

В таблице 2.7 описана информация про музей или выставочный центр. Данную информацию пользователь может использовать, чтобы посмотреть выставки неподалёку от его местоположения, а также посмотреть стоимость билетов.

Таблица 2.7 - Информация, которая должна храниться в БД (музей)

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
ID	Int	
Exhibitions	List<Exhibition>	Выставки
Picture	Image	Изображение музея

Так же как в случае с кинотеатром и отдельным сеансом, в таблице 2.8 отдельно от информации о музее была определена информация о выставках, которая может быть интересна пользователю при подборе досуга.

Таблица 2.8 - Информация, которая должна храниться в БД (выставка)

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
ID	Int	
Name	String	
Description	String	Эта информация может храниться в документоориентированной базе данных (например, mongoDB).
TicketPrice	Int	Цена билета
StartDate	Date	Начало выставки
EndDate	Date	Конец выставки
BoxOffice	Int	Кассовые сборы, опционально
Showings	List<Showing>	Сеансы выставки
Poster	Image	Официальная афиша

Как видно из описанных выше таблиц, пользователь при желании просмотреть информацию об объекте сможет узнать афишу мероприятий, официальный сайт или контактный телефон, а также информацию о самом здании. Пример – дом Мешкова в Перми.

Данное здание стало музеем не сразу и построено было не под музей, оно имеет интересные исторические корни, которые и могут быть описаны с помощью исторических статей, которые также должны стать доступны пользователю.

Также, так как пользователь будет регистрироваться в приложении, то необходимо хранить информацию о нём – ФИО, логин и пароль. Авторизация в приложении необходима для того, чтобы пользователь мог себе «пометить» какие-то здания, за которыми он хочет следить (например, свой дом и дом родителей, чтобы следить за возможностью возникновения ЧС и предпринять меры).

2.4 Обоснование выбора технологий

На основе информации, описанной в предыдущей подглаве, необходимо проанализировать, какие технологии удовлетворяют требованиям для реализации хранения нужной информации в «умном городе» в рамках описанных ограничений.

Ранее в работе была выявлена та информация, которая должна храниться и обрабатываться в базе данных. На основе полученной информации можно сделать вывод, что для успешной работы умного города всю информацию будет неэффективно хранить в базе данных какого-то определенного типа (например, в реляционной). Для основной части данных лучше всего подойдет реляционная база данных, однако для каких-то определенных полей (например, показания датчиков) лучше подойдет база данных типа временной ряд. Также важно учесть, что для такой сложной системы как «умный город» важным аспектом является юридическая составляющая обработки данных. Таким образом, работа с документами будет неотъемлемой частью работы с данными. Из этого можно сделать вывод, что нужна специализированная база данных, ориентированная именно на хранение и обработку документов, так как хранить их, например, в простой реляционной базе было бы крайне неэффективно и некорректно.

Если рассматривать проектируемую модель с точки зрения классификации цифровых двойников, то она скорее относится к двойнику-прототипу. Основной существующей классификацией считается разработанная в 2003 году Майклом Гривзом, он выделил 3 типа цифровых двойников: прототип, экземпляр и агрегатор. «Прототип» – это такая модель, которая содержит информационные наборы, необходимые для описания и создания физической версии исследуемого объекта. «Прототипы» не ограничиваются требованиями и спецификой процессов, но включают их. То есть данный тип наиболее абстрактный.

«Экземпляр» – это описание конкретного физического объекта, причем данный тип двойника описывает полный жизненный цикл объекта. Он может включать в себя, например, 3D-модель конкретного объекта. На основе «прототипа» можно разработать несколько объектов, но каждый из них будет иметь собственный «экземпляр». Существует третий тип цифровых двойников в данной классификации – «агрегатор». Данный тип объединяет предыдущие два типа, может содержать все виртуальные прототипы

2.3.1 Выбор документо-ориентированной базы данных

Документо-ориентированная база данных отличается тем, что в ней хранятся иерархические структуры документов. Обычно хранение и обработка информации в таком типе базы данных происходит с помощью NoSQL. NoSQL — это такой подход к реализации систем управления базами данных, в основе которого лежат такие принципы как [14]:

- базовая доступность (данный термин обозначает гарантированную завершаемость запросов, причем они могут завершаться как успешно, так и с ошибками);
- неструктурированность (то есть у объектов нет строго заданной и четко определенной структуры, например, в отдельной строке можно добавить новое поле без предварительного изменения структуры всей таблицы);
- агрегаты (данные хранятся в виде агрегатов – объединённых сущностей, таким образом вся информация об объекте хранится в одном месте);
- неограниченное горизонтальное масштабирование;
- и другие.
- У указанного типа баз данных существуют свои преимущества и недостатки. К преимуществам можно отнести:
 - По сравнению с реляционными базами данных, намного проще изменять схему базы данных. Для того, чтобы что-то изменить, нет необходимости в выполнении никаких дополнительных операций (например, обновление).
 - Процесс масштабирования базы данных намного проще, чем, к примеру, для реляционных баз данных.
 - Несложный процесс “общения” с базой данных, обращения к ней - простая структура: ключ - значение.
 - К основным недостаткам можно отнести следующие характеристики:

— Избыточность результатов запроса и как следствие нерациональность. Если выполнен запрос к какому-либо документу, то результатом запроса будет весь документ целиком. Если необходимо было получить, к примеру, значение какого-то одного поля, то результат в виде таблицы будет слишком избыточен.

— Слабые зависимости между данными. Может возникнуть ситуация, когда нет никакой связи (и невозможно её построить) между каким-то документом и какой-то коллекцией.

К примерам документо-ориентированной базы данных относят следующие:

- MongoDB;
- CouchDB;
- IBM Notes;
- И другие.

Для того, чтобы выявить наиболее подходящую под данный проект базу, было проведено сравнение самых распространенных из перечисленных выше примеров. Результаты сравнения представлены в виде таблицы (табл. 2.9) [15].

Таблица 2.9 - Сравнительная таблица документо-ориентированных БД

	MongoDB	CouchDB	IBM Notes
Структура БД	Документы в формате BSON без заранее определенной структуры.	Документы в формате JSON.	Документы хранятся без заранее определенной структуры, поля могут динамически добавляться.
Индексация	Может и не быть индексов, однако лучше их добавлять, так как это ускорит чтение информации из базы.	Аналогично SQL, создается один раз при создании документа и изменяется только при обновлении документа.	Аналогично MongoDB.
Синтаксис запроса (пример)	Все записи с ключом «Толстой»: <code>db.mybooks.find ({автор: «Толстой»})</code>	Все записи с ключом «Толстой»: <code>curl -X GET http://127.0.0.1:5984/mybooks/_design/application/_view/author?key="Tolstoy"</code>	Синтаксис похож на SQL запросы.

Поддержка языков программирования	Actionscript, C, C #, C ++, Clojure, ColdFusion, D, Dart, Delphi, Erlang, Go, Groovy, Haskell, Java, JavaScript, Lisp, Lua, MatLab, Perl, PHP, PowerShell Пролог, Python, R, Ruby, Scala и Smalltalk	C, C #, ColdFusion, Erlang, Haskell, Java, JavaScript, Lisp, Lua, Objective-C, OCaml, Perl, PHP, PL / SQL, Python, Ruby и Smalltalk	@-формулы, Lotus Script, Java, JavaScript
Кто изобрел	MongoDB, Inc	IBM	IBM
Масштабирование	Отличное	Хорошее	Нормальное

Таким образом, на основе данных в таблице 2.9 был сделан выбор в пользу MongoDB, так как важна масштабируемость, скорость и простота написания запросов, а также неструктурированность хранящихся в базе документов.

2.3.2 Выбор базы данных временных рядов

В основе временных рядов лежит принцип быстрого получения данных. Так как такой тип баз данных применяют для хранения каких-то транзакционных, постоянно меняющихся, очень часто приходящих данных, то принцип именно приёма и записи данных является основополагающим. Ещё одним принципом, который используют базы данных временных рядов – политика удаления. Так как данные приходят в очень большом объеме, нет смысла все их хранить длительный срок.

В качестве примеров наиболее распространенных баз данных временных рядов можно выбрать следующие:

- Open TSDB;
- InfluxDB;
- MongoDB;
- ClickHouse.

Далее выбранные примеры баз данных типа «временной ряд» сравнивались между собой с помощью ряда критериев, наиболее важных в исследовании (табл. 2.10) [16].

Таблица 2.10 - Сравнительная таблица БД временных рядов

	InfluxDB	MongoDB	Open TSDB	ClickHouse
Пропускная способность на запись	0,9	0,36	0,55	1
Скорость запросов	1	0,13	0,83	0.67
Степень сжатия	1	0,15	0,18	0.56
Результат	2,9	0,64	1,56	2,23

В результате исследований ученых при проведении сравнения по выделенным критериям, больше всех баллов набрала InfluxDB. Это обозначает, что эта база данных временных рядов является самой оптимальной.

Таким образом, в данной главе работы была проанализирована и представлена в виде таблиц информация, которая необходима для сбора и хранения в базе данных. Также были примерно определены типы данных для каждого из полей. В результате сбора информации был сделан вывод о том, что хранить всю информацию в реляционных базах данных будет неудобно и неэффективно.

2.3.3 Выбор реляционной базы данных

Основой для разрабатываемого цифрового двойника будет реляционная база данных, так как данный тип баз данных предоставляет информацию в очень понятной форме: четко выделены сущности, определены связи между ними. Также в контексте разрабатываемой системы будет удобно, что основные сущности строго типизированы, что позволяют реализовать реляционные базы данных. Этим типом баз данных легко управлять, а также из-за своего длительного существования и наличия крупных популярных аналогов, данные базы стабильны и качественно поддерживаются. Для выбора наиболее подходящей СУБД (системы управления базами данных) были проанализированы следующие аналоги (самые распространенные и крупные):

- Oracle;
- MySQL.

Сравнительная таблица с выделенными критериями описана ниже (см. табл. 2.11).

Таблица 2.11 - Сравнительная таблица РСУБД

	Oracle	MySQL
Исходный код	Коммерческая СУБД	Бесплатная СУБД с открытым исходным кодом
Специфика наименования	Много зарезервированных служебных слов, от которых нужно избавляться для корректной работы	Большинство из зарезервированных в Oracle слов можно использовать в SQL
Производительность	Из-за более сложной структуры данных показатели производительности ниже, чем у MySQL	Доступ по первичному ключу обеспечивает самую высокую производительность в сравнении с другими базами

На основе полученной информации были проанализированы разные примеры баз данных, был проведен сравнительный анализ и в результате выбран набор инструментов, с помощью которых может быть реализована модель базы данных для такой масштабной системы как «умный город».

Глава 3 Проектирование информационной модели умного города

На основе информации, проанализированной в предыдущих главах, необходимо спроектировать информационную модель. В контексте данной работы информационная модель – это база данных. Так как ранее в процессе описания объектов умного города, которые играют роль в выбранных бизнес-процессах, был сделан вывод о том, что будет 3 разных типа баз данных, каким-либо образом соединённых между собой, то результатом проектирования также будут 3 базы данных. В данной главе будут описаны способы соединения баз данных между собой.

3.1 Построение ER-диаграммы

В первую очередь необходимо понять, какие объекты будут в базе данных, а также как они будут взаимодействовать друг с другом. Для того, чтобы визуальнo представить на абстрактном уровне информационную модель умного города, была разработана ER-диаграмма. Entity-Relation диаграммы используются для обозначения сущностей и связей между ними, а также имеют удобную и интуитивно понятную логику. Для построения ER-диаграмм используются разные нотации. Одной из самых распространённых является нотация Баркера, именно в этой нотации была построена диаграмма (рис. 3.1) [19].

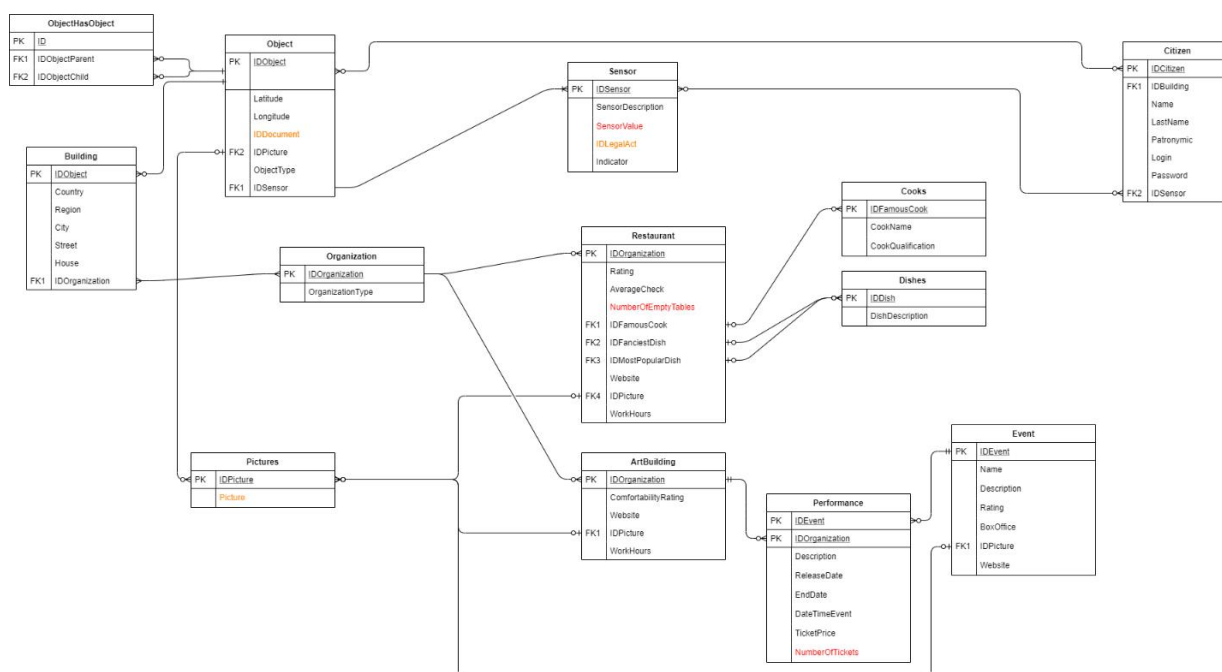


Рисунок 3.1 – ER-диаграмма

Далее необходимо описать все используемые сущности и определенные между ними связи. Главной сущностью, которая была выделена на диаграмме, является объект умного города (Object).

Под данной сущностью понимается любой объект умного города: здание, светофор, парк и т. д. Для того, чтобы все возможные объекты описать с помощью одной сущности, у неё должны были быть довольно абстрактные поля: тип объекта, широта и долгота, а также изображение объекта (опционально) и список необходимых для работы с этим объектом документов. Отдельно от основной сущности с объектом была выделена сущность здание (Building). Она является одним из типов объектов умного города, но вынесена в отдельную сущность, так как у здания должен быть уникальный набор полей – адрес.

Для остальных объектов можно использовать просто широту и долготу. Также, как видно на диаграмме (см. рис. 3.1), выделена отдельная таблица «ObjectHasObject». Она нужна для описания связей между объектами умного города в случае, когда один их объектов является частью другого (пример – дом и квартира). Следующей важной сущностью, относящейся к сфере безопасности, является датчик (Sensor). Для датчика важны такие поля как: описание датчика, значение, а также документ, регламентирующий допустимые значения. Также было добавлено поле-индикатор, которое является бинарным и отвечает за необходимость вызова экстренных служб при достижении критического значения.

Была выделена отдельная сущность, отвечающая за типы организаций, существующие в здании – Organization. Данная сущность объединяет в себе все типы организаций, которые могут существовать в одном здании. Если типы организаций будут в будущем выделены в отдельные сущности, как в случае данной работы – ресторан и «арт-здание», эти сущности можно будет объединять с помощью сущности организация.

Ещё одна выделенная сущность – это ресторан (Restaurant). К данной сущности относятся все заведения общественного питания. Они выделены в отдельную сущность также потому, что у них присутствуют уникальные именно для этой сферы поля: рейтинг, средний чек, количество свободных мест, известные повара, работающие в ресторане, какие-либо выдающиеся блюда, по которым могут знать этот ресторан, самые популярные блюда. Также в данную сущность включены поля вебсайт, картинки (внутри, снаружи, фотографии меню или блюд) и часы работы.

Следующая выделенная сущность – здание, в котором показывают что-либо: спектакли, кино, выставки. Сущность была названа ArtBuilding.

В эту сущность объединены кинотеатры, театры, выставочные центры, галереи, цирки и так далее. Для этой сущности были выделены следующие поля: рейтинг, вебсайт, картинки, рабочие часы. В отдельные сущности, связанными с ArtBuilding, были выделены мероприятия (Event) и представление (Performance). На примере кинотеатра связь этих сущностей можно определить следующим образом: кинотеатр, фильм, сеанс. Для мероприятия актуальны следующие поля: название, описание, рейтинг, кассовые сборы, картинки и вебсайт (бывает отдельный сайт для конкретного мероприятия, не привязанный к месту проведения). Для представления, как минимальной единицы мероприятия, выделены следующие поля: описание, дата начала и конца всего релиза (может отличаться в разных местах, поэтому выделено у представления, а не у мероприятия), а также дата и время самого представления, цена билета и количество свободных мест.

Ещё одной очень важной сущностью в базе данных является житель города, имеющий личный кабинет в системе (Citizen). Данная сущность связана с датчиками и со зданием. Для жителя города выделены следующие поля: логин и пароль от системы, фамилия, имя и отчество.

Как видно, на диаграмме (см. рис. 3.1) некоторые поля выделены цветами. В данном случае оранжевым цветом выделены поля, по которым должна быть связь с документо-ориентированной базой данных, а красным – связь с базой данных типа «временной ряд». В документо-ориентированной базе данных должны храниться необходимые для той или иной сущности документы. Например, это могут быть планировки квартир в строящемся доме – пользователь, который хочет купить в этом доме квартиру, может посмотреть эти планы и принять решение о покупке. Другим примером использования документо-ориентированной базы данных является определение критических значений датчиков, они также могут браться из нормативных актов, которые, в свою очередь, должны храниться в виде документов. Если же говорить о временных рядах, самым ярким примером будет значение датчика: значение этого показателя должно очень часто обновляться и передаваться в обработку. Ещё один пример – количество свободных мест, оно должно постоянно обновляться и также отправляться для анализа.

Далее необходимо описать отношения между сущностями. В первую очередь – связь между объектом города и зданием (см. рис. 3.2).

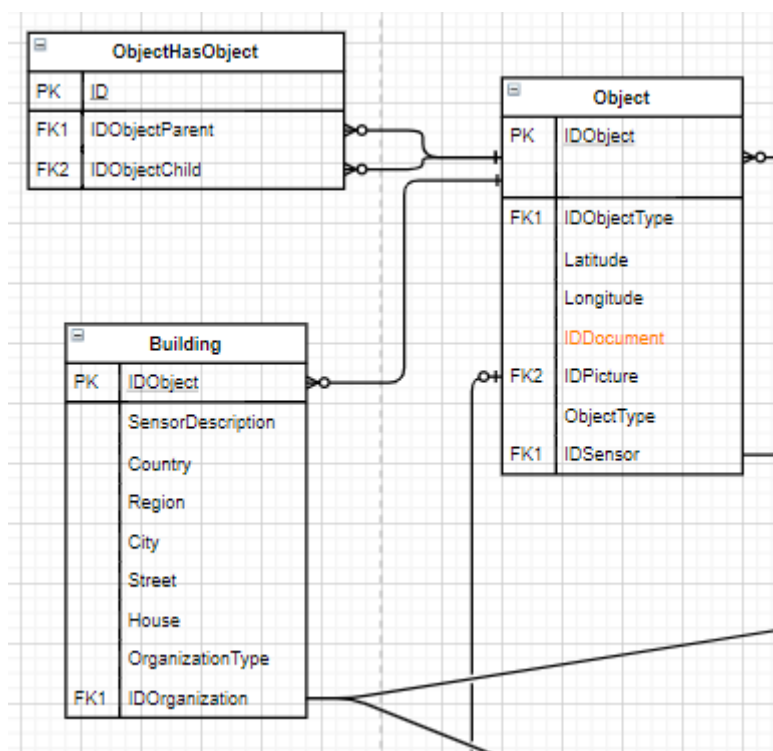


Рисунок 3.2 – Отношение между объектом и зданием

Отношение между Building и Object видно на рисунке 3.2. Это отношение обозначает, что одному объекту может соответствовать одно или несколько зданий. Примером, когда одному объекту соответствует несколько зданий – торговый центр. Часто бывает, что торговый центр состоит из нескольких зданий с разными адресами, но они относятся к одному и тому же объекту. Также на рисунке 3.2 показана реализация связи двух объектов, в случае, когда один из них является составной частью другого (пример: дом – квартира). Связь аналогична связи «многие ко многим» и реализуется с помощью дополнительной таблицы «ObjectHasObject».

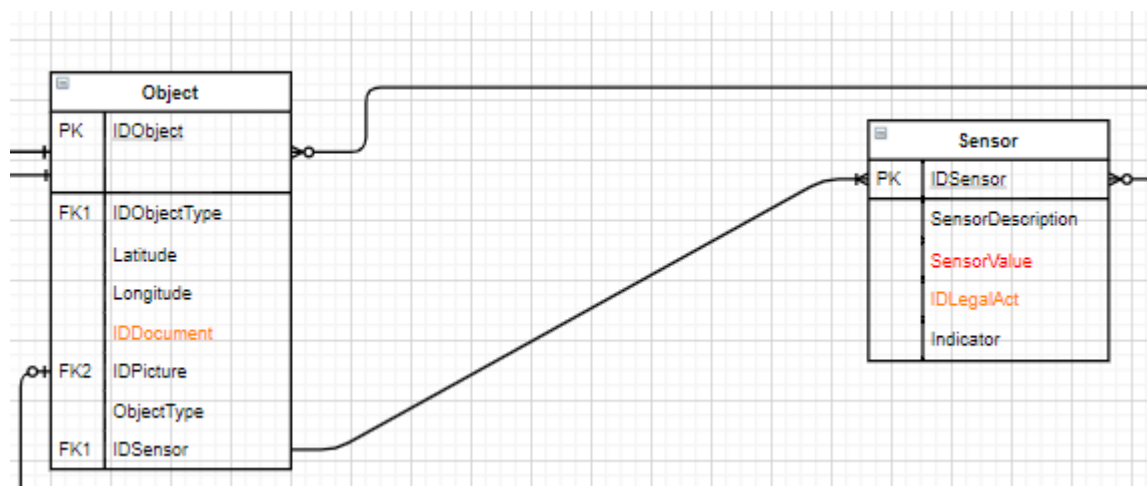


Рисунок 3.3 – Связь объекта и датчика

На рисунке 3.3 показана связь объекта умного города с датчиком. Связь следующая: для одного объекта умного города обязательно существует хотя бы один датчик.

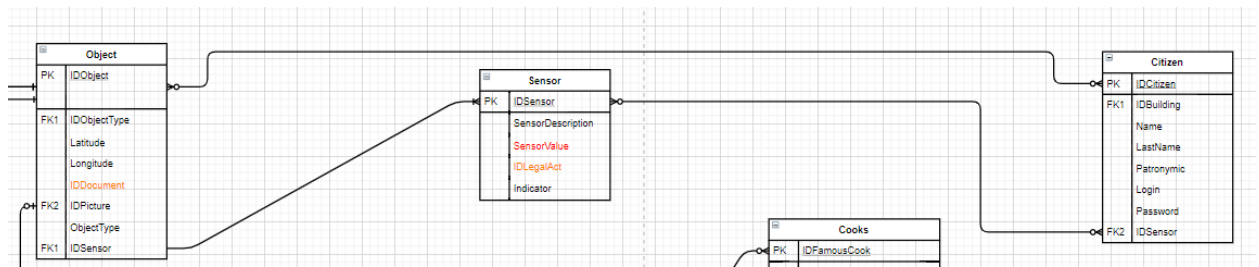


Рисунок 3.4 – Связь объекта, датчика и жителя города

На рисунке 3.4 показана связь объекта, датчика и жителя города. Как видно, связь между жителем и объектом – многие ко многим, причем она необязательна. То есть каждому жителю может соответствовать от 0 до бесконечности объектов (житель может выбрать их для отслеживания показателей), а также каждому объекту может соответствовать от 0 до бесконечности жителей (за одним объектом может следить от 0 до бесконечности людей). Аналогично с датчиками: за одним датчиком может наблюдать от 0 до бесконечности людей, а один человек может наблюдать за любым количеством датчиков.

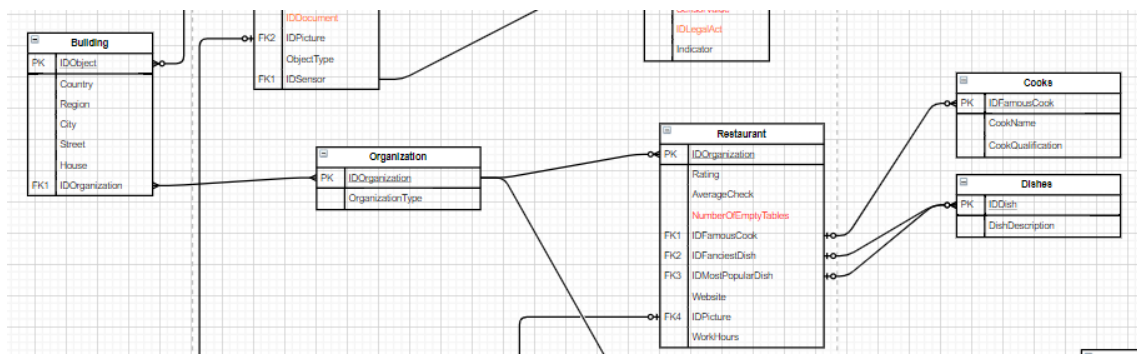


Рисунок 3.5 – Связь здания и организации

На рисунке 3.5 показано, как связаны между собой здания и организации в них. Связь можно охарактеризовать как «одному зданию может соответствовать от 0 до бесконечности ресторанов». Связь между рестораном и поварами, интересными блюдами, а также самыми популярными блюдами – это связь один ко многим, причем необязательная.

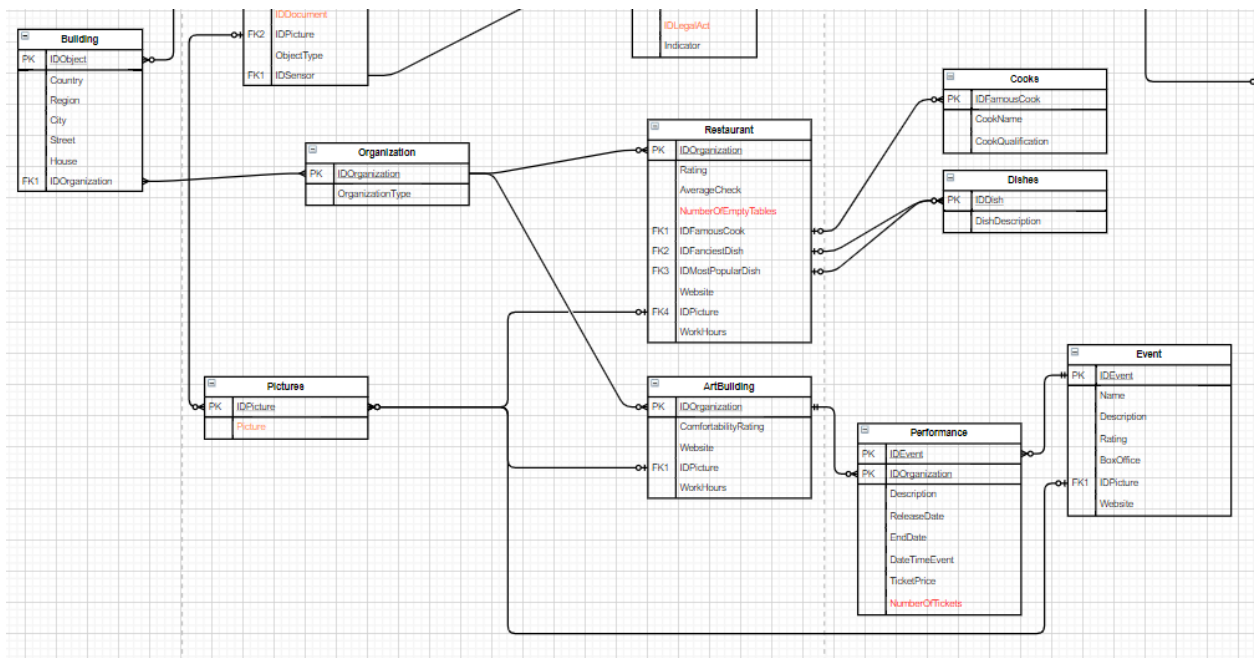


Рисунок 3.6 – Связь здания и ArtBuilding

Здание и ArtBuilding связаны между собой так же, как здание и ресторан (см. рим. 3.6). На данном рисунке также видна связь рисунков для всех объектов. Они все хранятся в одном месте, а объекты на них ссылаются необязательной связью один-ко-многим. Также на рисунке 3.6 видна связь ArtBuilding, мероприятия и представления. Можно увидеть, что с помощью таблицы Performance как бы реализована связь многие-ко-многим между ArtBuilding и Event. Одному ArtBuilding обязательно соответствует от 0 до бесконечности представлений и каждому мероприятию также соответствует хотя бы одно представление.

3.2 Проектирование базы данных

После построения ER-диаграммы и проанализировав её, необходимо спроектировать саму базу данных. В контексте данной работы база данных будет состоять из трёх баз: реляционной, документо-ориентированной и временных рядов. Основная часть данных будет храниться в реляционной базе данных. В качестве реляционной базы была выбрана самая популярная и распространённая база – SQL. В качестве базы данных временных рядов была выбрана InfluxDB, а в качестве документо-ориентированной – MongoDB.

3.2.1 Проектирование реляционной базы данных

Для построения реляционной базы данных использовался SQL Server и среда MS SQL Server Management Studio [19]. На основе описанной ранее ER-диаграммы были созданы таблицы для будущей базы данных (рис. 3.7).















- +  dbo.ArtOrganization
- +  dbo.Building
- +  dbo.Building_Citizen
- +  dbo.Citizen
- +  dbo.Citizen_Sensor
- +  dbo.Cook_Restaurant
- +  dbo.Dishes
- +  dbo.Event
- +  dbo.FamousCooks
- +  dbo.Object
- +  dbo.ObjectHasObject
- +  dbo.Restaurant
- +  dbo.Restaurant_Dish
- +  dbo.Sensor
- +  dbo.Showing

Рисунок 3.7 – Таблицы реляционной базы данных

Как видно, были созданы таблицы для всех основных сущностей, а также вспомогательные таблицы для реализации связи многие-ко-многим. Далее были созданы связи между таблицами – построена диаграмма базы данных. На рисунке 3.8 представлена полная диаграмма. Далее будут подробнее описаны все таблицы, а также связи между ними.

Как видно по рисунку 3.8, таблицы Building, Object, Citizen, Sensors, Restaurant, ArtBuilding, Showing и Event построены на основе таблиц-сущностей, которые были выделены на этапе анализа и построения ER-диаграммы. Остальные таблицы нужны как вспомогательные таблицы для реализации связи многие-ко-многим.

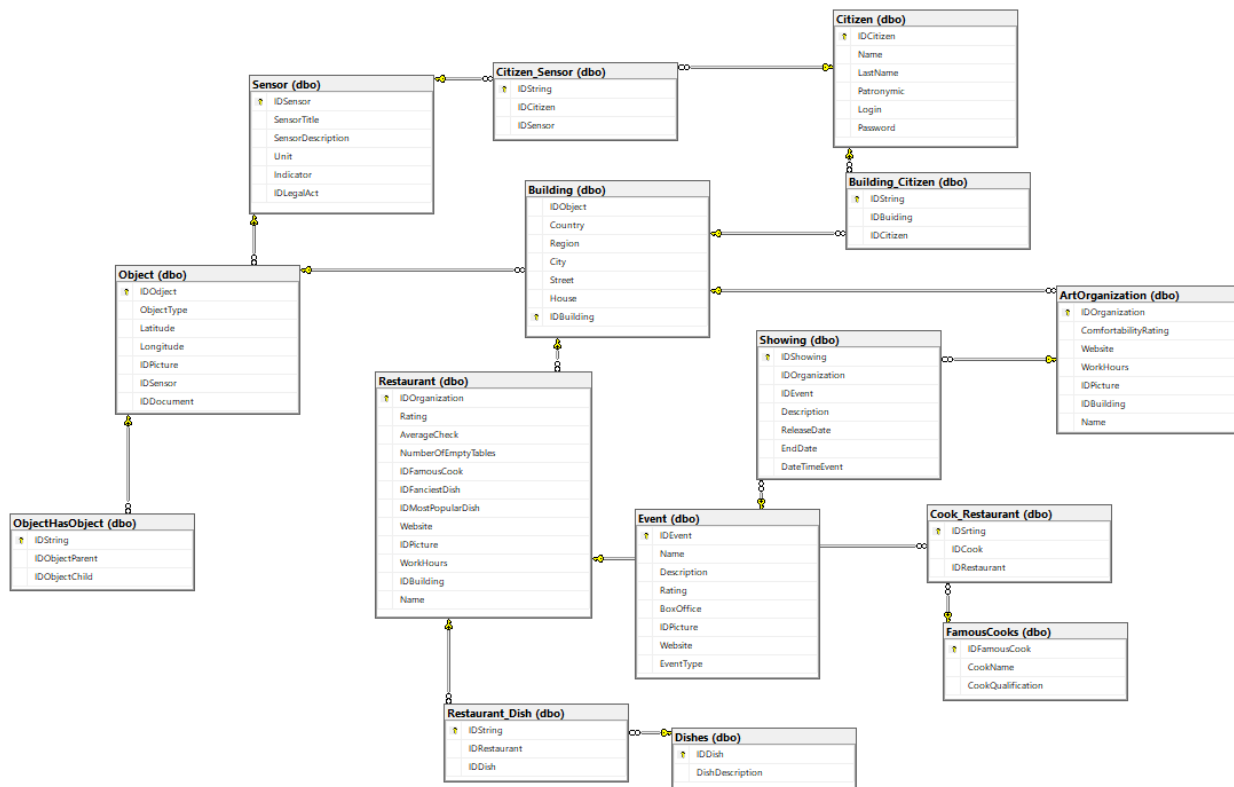


Рисунок 3.8 – Диаграмма базы данных

Изначально была создана локальная база данных, однако для удобства использования несколькими людьми и проектирования приложения было принято решение разместить базу данных в облаке. Одной из самых распространённых и удобных облачных платформ является MS Azure, к её преимуществам относится сравнительно небольшая цена за подписку, поддержка почти всех существующих языков программирования, а также понятный интерфейс. Также в контексте данной работы преимуществом может быть то, что база данных построена также в продукте Microsoft – MS SQL Server Management Studio, а продукты одной компании обычно легко интегрированы друг с другом. Локальная база данных была выложена в Azure (см. рис. 3.9).

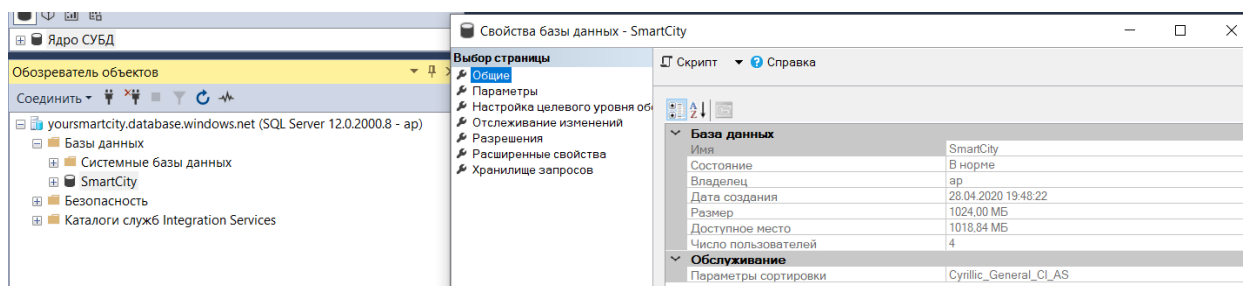
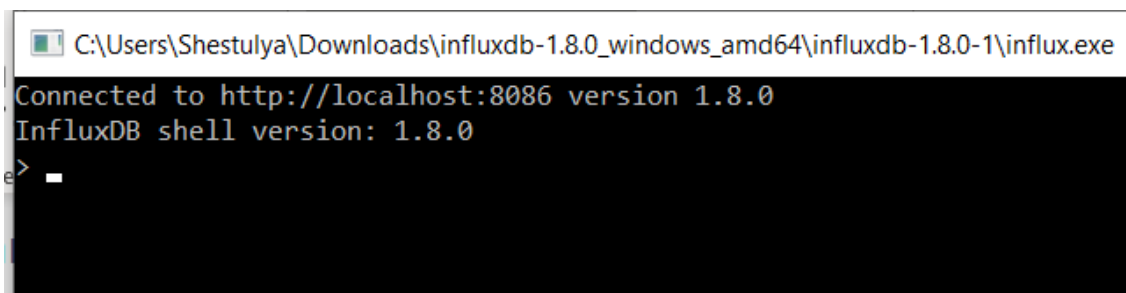


Рисунок 3.9 – Свойства базы данных

Связи между сущностями подробно были описаны ранее, когда анализировалась ER-диаграмма. В связи с этим очень подробное описание таблиц базы данных, их связей между собой и набора полей в них будет избыточным.

3.2.2 Проектирование базы данных временных рядов

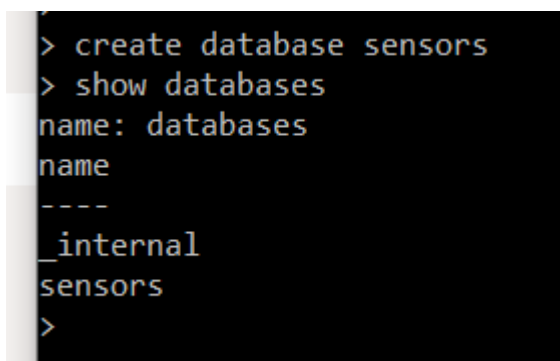
Для того, чтобы создать базу данных временных рядов, был установлен InfluxDB, который представляет из себя консольное приложение. После запуска приложения, для пользователя становится доступна следующая консоль (рис. 3.10):



```
C:\Users\Shestulya\Downloads\influxdb-1.8.0_windows_amd64\influxdb-1.8.0-1\influx.exe
Connected to http://localhost:8086 version 1.8.0
InfluxDB shell version: 1.8.0
> _
```

Рисунок 3.10 – Начальная консоль для построения базы данных в InfluxDB

Для того, чтобы создать базу данных, необходимо использовать команду `create database`, а затем прописать имя для создаваемой базы. Так как в данном случае создается база для хранения значений датчиков, то название у неё будет «`sensors`» (рис. 3.11).



```
> create database sensors
> show databases
name: databases
name
----
internal
sensors
>
```

Рисунок 3.11 – Создание базы данных sensors

Организация данных в InfluxDB отличается от структуры в реляционных базах данных. Данные в InfluxDB организованы в виде временного ряда, который содержит измеренные значения, например температура - “`temperature`”. Временной ряд содержит 0 или несколько точек, по одной на каждое значение измерения метрики. Каждая точка содержит время (`timestamp`), имя измерения или метрики (`measurement`), не менее одного поля (`fields`) в формате ключ-значения (например `value=10`), и 0 или несколько тегов (`tags`) в формате ключ-значение, которые содержат метаинформацию о собранном значении например, `sensorID="12345"`). Соответственно, вся информация, которая будет храниться в виде временных рядов, будет загружена одновременно в одну и ту же базу данных, отличаться объекты будут набором тегов [20]. Для примера были добавлены несколько значений температуры (рис. 3.12). По рисунку видно, что

синтаксис очень важен, каждая запятая или пробел имеет значение, так как с их помощью база отличает элементы: measurement, fields, tags.

```
> use sensors
Using database sensors
> insert temperature,sensorID=123,value=10
ERR: {"error":"unable to parse 'temperature,sensorID=123,value=10': missing fields"}
> insert temperature,sensorID=123 value=10
>
```

Рисунок 3.12 – Некорректный и корректный пример ввода данных в базу

После ввода нескольких значений можно посмотреть, что именно содержится в базе (рис. 3.13). Для этого используется SQL-подобный язык запросов.

```
> select * from temperature
name: temperature
time                sensorID value
-----
1587905437407300100 123      10
1587905586253445400 456      15
1587905795591251900 789      -5
1587905816185061000 836      -2.5
```

Рисунок 3.13– Просмотр существующих в базе значений

Как видно, поле time заполняется автоматически (см. рис. 3.12), оно не было введено при заполнении базы. Если провести аналогию с реляционными базами – данное поле является уникальным ключом. Если попробовать сейчас ввести какое-то значение для сенсора с уже имеющимся ID, то значение не перезапишется, так как ID сенсора никак нельзя задать ключевым (рис. 3.14). Ключевым всегда является дата-время, чтобы запись большого потока в базу была намного быстрее.

```
> insert temperature,sensorID=123 value=12
>
> select * from temperature
name: temperature
time                sensorID value
-----
1587905437407300100 123      10
1587905586253445400 456      15
1587905795591251900 789      -5
1587905816185061000 836      -2.5
1587905990755345000 123      12
```

Рисунок 3.14 – Добавление новой записи

Данное свойство временных рядов очень удобно, например, для отслеживания статистики. Например, измеряется температура окружающей среды. Для статистики необходимо посчитать среднее значение за весь день, для этого достаточно сделать запрос по нужному ID датчика, а также преобразовать timestamp и ограничить нужной датой и временем.

Были выделены следующие типы датчиков, значения которых должны храниться в базе (табл. 3.1). Перечисленные типы в базе данных будут отражены как measurement.

Таблица 3.1 – Типы датчиков для хранения в виде временных рядов

Тип датчика	Measurement в БД	Описание
Температура окружающей среды	TempOutside	Температура окружающей среды (может быть использована приложениями для отображения погоды).
Температура помещения	TempInside	Температура помещения (может использоваться для проверки условий труда в офисах или просто для регулирования в умных домах).
Загазованность помещения	GasContamination	Загазованность помещения (может использоваться для предотвращения утечек газа в жилых домах или офисных помещениях).
Давление воздуха	AirPressure	Давление окружающей среды (для приложений погоды, а также для предупреждения метеозависимых людей).
Скорость ветра	WindSpeed	Скорость ветра (может использоваться для предотвращения или своевременной подготовки к катаклизмам, а также для предупреждения жителей).
Потребление электричества	ElectConsumption	Потребление электричества (может быть использовано для автоматического заполнения счетов, а также просто для отслеживания жителями).
Загрязнение воздуха	AirPollution	Уровень загрязнения воздуха (для своевременного реагирования и регулирования ситуации с точки зрения экологии).
Потребление воды	WaterConsumption	Потребление воды (может быть использовано для автоматического заполнения счетов, а также просто для отслеживания жителями).
Освещение рабочего места	WorkplaceLighting	Освещение рабочего места (должно регулироваться в соответствии с трудовым законодательством).
Шум вокруг	Noise	Шум на рабочем месте (также должен регулироваться в соответствии с трудовым законодательством). Также сюда может быть отнесён шум в жилых домах для автоматического реагирования правоохранительных органов.

Влажность воздуха	HumidityOutside	Влажность воздуха (может быть использована приложениями погоды).
Влажность помещения	HumidityInside	Влажность внутри помещения (должна регулироваться трудовым законодательством для офисов, а также может быть важна при своевременном реагировании на потопаы в жилых зданиях).

В виде временных рядов хранится не только информация по значению датчиков. На ER-диаграмме видно, что так же должны храниться количество свободных мест в ресторанах и количество оставшихся билетов на то или иное мероприятие. Поэтому были выделены также следующие measurements (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Другие показатели, необходимые для хранения в виде временных рядов

Поле	Measurement в БД	Описание
Количество билетов	NumberOfTickets	Количество купленных билетов на мероприятие.
Количество свободных мест	EmptyTables	Количество свободных мест в ресторане или кафе.

Чтобы заполнить InfluxDB, существуют разные способы. Например, можно использовать загрузку из csv-файла или из сторонней системы.

3.2.3 Проектирование документо-ориентированной базы данных

На ER-диаграмме (см. рис. 3.1) видно, что помимо реляционной базы данных и базы данных временных рядов, для построения полной модели обмена данными внутри умного города необходимо также использовать базу документо-ориентированную базу данных. Ранее в данной работе был проведён сравнительный анализ разных инструментов для работы с этим типом баз данных. На основе выбранных критериев была определена используемая в работе база – MongoDB.

Для того, чтобы начать работать с этой базой данных, необходимо было скачать с официального сайта архив и установить его [21]. После чего, чтобы начать работу с самой базой данных нужно выполнить следующие шаги:

1. Создать на диске C папку «data», а в ней – ещё одну папку «db».

2. Запустить в командной строке файл mongod.exe и не закрывать это окно командной строки до конца работы с базой.

3. Запустить в командной строке файл mongo.exe и не закрывать это окно командной строки до конца работы с базой. Именно в этом окне командной строки будет происходить работа по созданию, редактированию и наполнению базы данных.

Однако помимо создания базы данных через командную строку существует более удобный и понятный пользователю способ. Работать с MongoDB удобно через приложение MongoDB Compass Community. Для того, чтобы создать базу, необходимо открыть приложение и добавить новую базу данных (рис. 3.15):

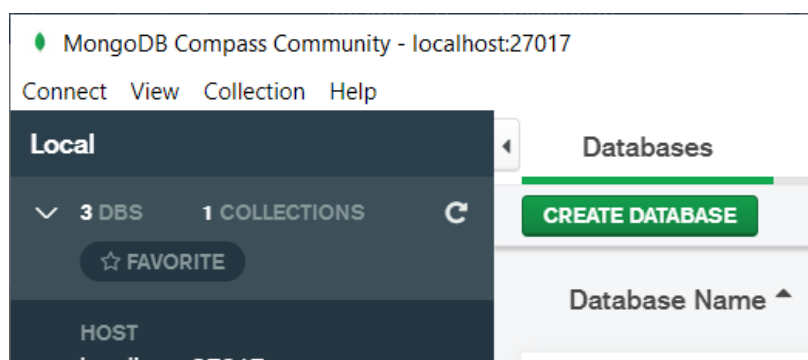


Рисунок 3.15 – Создание базы данных через MongoDB Compass Community

В отличие от реляционной базы данных, в MongoDB данные хранятся не в виде таблиц. Для каждого объекта, информацию о котором необходимо хранить в базе данных, создается коллекция. Как следует из рисунка 3.1, в данной базе необходимо хранение следующих объектов: Pictures (рисунки, фотографии, изображения, которые будут использоваться для предоставления пользователю дополнительную информацию о том или ином объекте), Documents (необходимые для более полного представления об объекте документы, в данном случае отличие от рисунков в том, что к Documents будут относиться более формальные документы: например, нормативно-правовые акты), а также – LegalActs для датчиков (нормативно-правовые акты, содержащие в себе информацию о нормах значений датчиков). Исходя из представленной выше информации, для базы данных были созданы 3 коллекции (рис. 3.16).

Collection Name ^	Documents	Avg. Document Size	Total Document Size	Num. Indexes	Total Index Size	Properties
Documents	0	-	0.0 B	1	4.0 KB	
LegalActs	0	-	0.0 B	1	4.0 KB	
Pictures	0	-	0.0 B	1	4.0 KB	

Рисунок 3.16 – Созданные коллекции в MongoDB

Добавление документов в коллекции

Для примера, в базу был добавлен документ. Как видно на рисунке 3.17, объект был добавлен в коллекцию Documents и содержит 2 поля: имя и адрес. В данном примере в документе содержится информация о каком-либо жителе.

```
In [75]: import pymongo
         from pymongo import MongoClient
         client = MongoClient()

         client = MongoClient('localhost', 27017)

In [76]: mydb = client["SmartCity"]
         mycol = mydb["Documents"]

         mydict = { "name": "John", "address": "Highway 37" }
         x = mycol.insert_one(mydict)
```

Рисунок 3.17 – Добавление документа в коллекцию Documents

В результате работы кода в базе данных SmartCity в коллекции Documents появляется документ с 3 полями (рис. 3.18): имя, адрес и id (автоматически генерируемый уникальный ключ).

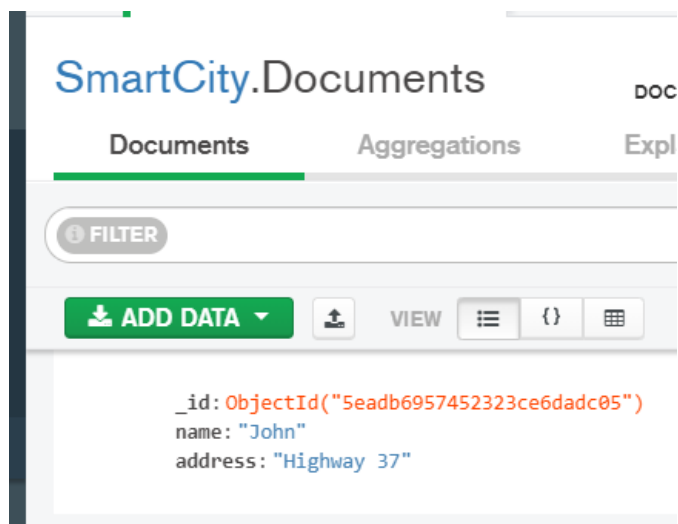


Рисунок 3.18 – Добавлен новый документ в коллекцию Documents

Описанным выше образом в коллекции Documents и LegalActs могут быть записаны данные. Однако третья созданная коллекция (Pictures) отличается от этих двух коллекций, так как в ней хранятся исключительно изображения. Для работы с изображениями в MongoDB существует специальный инструмент.

Для MongoDB существуют различные спецификации, которые позволяют более гибко использовать данный инструмент и удобнее хранить разную информацию. Применимо к разрабатываемой базе данных, можно использовать спецификацию GridFS, которая поможет работать с изображениями. GridFS позволяет хранить большие файлы изображений, размер которых превышает предельный размер документа BSON – 16 Мегабайт. Удобство данного инструмента в том, что вместо того, чтобы хранить файл в одном документе, GridFS делит файл на части или части и сохраняет каждый фрагмент как отдельный документ. По умолчанию GridFS использует размер фрагмента 255 КБ, то есть GridFS делит файл на фрагменты размером 255 КБ, за исключением последнего фрагмента. Последний кусок только настолько большой, насколько это необходимо [21]. Использовать GridFS можно двумя способами: с помощью драйвера MingoDB и с помощью инструмента mongofiles командной строки mongo в оболочке. Записать данные в MongoDB можно разными способами, используя разные языки программирования, например, Python. Ниже на рисунке 3.19 показан код добавления в созданную базу SmartCity в коллекцию Pictures элемент cinema_perm.jpg. Для примера файл был импортирован с локального компьютера.

```

In [1]: import pymongo
        from pymongo import MongoClient
        client = MongoClient()

        client = MongoClient('localhost', 27017)

In [63]: db = client["SmartCity"]

In [64]: import gridfs
        fs = gridfs.GridFS(db, collection='Pictures')

In [65]: datafile = open(r"C:\Users\Shestulya\Desktop\Диплом\cinema_perm.jpg", "rb")

In [66]: thedata = datafile.read()

In [67]: stored = fs.put(thedata, filename="testimage")

In [69]: outputdata = fs.get(stored).read()

In [70]: outfilename = "./cinema_perm.jpg"
        output = open(outfilename, "wb")

        output.write(outputdata)
        # close the output file
        output.close()

        # print(connection.database_names())
        client.close()

```

Рисунок 3.19 – Добавление картинки как элемент коллекции Pictures

В результате в базе создались 2 файла, один из которых отвечает за метаданные файлов, а другой – за само содержание файлов (рис. 3.20).

Pictures.chunks	4	155.0 KB	620.0 KB	2	72.0 KB	
Pictures.files	2	139.0 B	278.0 B	2	72.0 KB	

Рисунок 3.20 – Созданные файлы в MongoDB

Как было описано выше, особенность GridFS в том, что этот инструмент делит файлы на несколько частей. Поэтому несмотря на то, что был загружен только один файл, в папке Pictures.files созданы 2 объекта (рис. 3.21).

SmartCity.Pictures.files

Documents Aggregations Explain

FILTER

ADD DATA VIEW

```

_id: ObjectId("5ead91c77452323ce6dadbf")
filename: "testimage"
md5: "da3dea596fd3b7e264cdf66a99042dbe"
chunkSize: 261120
length: 317317
uploadDate: 2020-05-02T15:29:11.210+00:00

_id: ObjectId("5ead93c17452323ce6dad00")
filename: "testimage"
md5: "da3dea596fd3b7e264cdf66a99042dbe"
chunkSize: 261120
length: 317317
uploadDate: 2020-05-02T15:37:37.897+00:00

```

Рисунок 3.21 – Объекты в Pictures.files

ID объектов формируется автоматически при попадании файла в базу. Однако этот ID можно задать и вручную, если это требуется.

3.3 Связь различных типов баз данных

Как было описано выше, для полного и эффективного обмена информацией в рамках такой крупной системы, как «умный город», должны быть использованы различные типы баз данных. Ранее в работе были описаны и спроектированы базы данных трёх типов: реляционная (для хранения основных сущностей и быстрого доступа к данным), документо-ориентированная (для хранения неструктурированной и разрозненной информации), а также – временные ряды (для хранения ежесекундно/ежеминутно обновляющихся значений каких-либо показателей – датчиков).

Так как типы баз данных очень разные по своей структуре и способах обращения с данными, объединить их все в одну базу данных какого-либо типа невозможно. Однако связь между ними определено нужна, поэтому далее будет описано, по каким полям должны быть объединены данные из разных типов баз данных.

Связь реляционной базы данных и базы данных временных рядов

В базе данных временных рядов хранятся значения показателей датчиков, а также информация о свободных местах в заведениях и количестве доступных билетов на мероприятие. Значения датчиков из базы данных временных рядов хранятся с sensorID, точно так же хранится информация о датчике в реляционной базе данных. Значит, по этому ID можно связать две базы: если нужно получить данные по датчику температуры воздуха в здании по адресу г. Пермь, ул. Ленина, д. 100, то можно построить 2 запроса – к реляционной базе, чтобы получить описание датчика и какую-то дополнительную статическую информацию о нём, а другой запрос – к базе данных временных рядов по тому же sensorID, чтобы получить данные по показателям этого датчика.

Что касается количества свободных столов в ресторанах или количество доступных к покупке билетов, то аналогично в базе данных временных рядов нужно хранить showingID/restaurantID. По данному уникальному номеру можно также построить 2 запроса: к реляционной базе для получения статической информации о ресторане или мероприятии и к базе данных временных рядов для получения динамически изменяющейся информации.

Связь реляционной базы данных и документо-ориентированной базы данных

Как было описано выше, в документо-ориентированной базе данных хранятся картинки или документы, не имеющие четкой структуры. Однако у объектов MongoDB также можно хранить ID объектов, в данном случае ID картинок, которые также хранятся в реляционной базе. Таким образом, чтобы получить из MongoDB нужное изображение, нужно построить 2 запроса. Лучше хранить в MongoDB ID картинок, а не в реляционной базе ID документа MongoDB, так как в MongoDB документы и картинки большого объема дробятся на более мелкие, поэтому возникнет связь один ко многим. Если у объектов MongoDB будет поле PictureID, и с таким же ID в реляционной базе будет существовать запись, то можно будет достать все части документа (картинки) из MongoDB и отнести их к нужному объекту реляционной базы (например, фотографии ресторана или pdf-файлы планировок квартир в новостройках).

Таким образом, концептуально связь баз данных будет выглядеть как описано выше – с помощью хранения ID объектов в разных базах и построения двух запросов.

Подводя итог главы, важно заметить, что главные задачи данной работы были выполнены: были спроектированы базы данных, необходимые для полного описания обмена данными в умном городе в рамках выбранных сфер жизни человека. Также была концептуально описана взаимосвязь баз данных различных типов, следовательно, прототип цифрового двойника умного города был спроектирован.

Глава 4: Проектирование сетевого обеспечения умных городов

Практическая работа № 1

Тема: Характеристики линий связи передачи данных.

Цель: научиться определять полосу пропускания, рассчитывать пропускную способность, задержку распределения сигнала, задержку передачи данных и затухание.

Материальное обеспечение: инструкция к практической работе, калькулятор.

Теоретическая часть:

Традиционной и наиболее широко распространенной физической средой передачи информации в локальных сетях являются кабели. Альтернативой кабелю в локальных сетях является связь с помощью инфракрасного излучения и радиосвязь, но эти виды связи по ряду причин пока что используются весьма ограниченно. Все многообразие кабелей, применяемых для передачи информации, в первую очередь разделяется на электрические, чаще всего медные (Copper cable), и оптоволоконные (Fiber-optic cable).

Коаксиальный кабель

Самый простой коаксиальный кабель состоит из медной жилы (core), изоляции, ее окружающей, экрана в виде металлической оплетки и внешней оболочки. Если кабель, кроме металлической оплетки, имеет и слой фольги, он называется кабелем с двойной экранизацией.

Некоторые типы кабелей покрывает металлическая сетка - экран (shield). Он защищает передаваемые по кабелю данные, поглощая внешние электромагнитные сигналы, называемые помехами или шумом. Таким образом, экран не позволяет помехам исказить данные.

Электрические сигналы, кодирующие данные, передаются по жиле. Жила - это один провод (сплошная) или пучок проводов. Сплошная жила изготавливается, как правило, из меди. Жила окружена изоляционным слоем, который отделяет ее от металлической оплетки. Оплетка играет роль заземления и защищает жилу от электрических шумов (noise) и перекрестных помех (crosstalk). Перекрестные помехи - это электрические наводки, вызванные сигналами в соседних проводах. Проводящая жила и металлическая оплетка не должны соприкасаться, иначе произойдет короткое замыкание, помехи проникнут в жилу, и данные разрушатся.

Снаружи кабель покрыт непроводящим слоем - из резины, тефлона или пластика.

Существует большое количество типов коаксиальных кабелей, используемых в сетях различного типа - телефонных, телевизионных и компьютерных. Ниже приводятся основные типы и характеристики этих кабелей.

- RG-8 и RG-11 - «толстый» коаксиальный кабель, разработанный для сетей Ethernet 10Base-5. Имеет волновое сопротивление 50 Ом и внешний диаметр 0,5 дюйма (около 12 мм). Этот кабель имеет достаточно толстый внутренний проводник диаметром 2,17 мм, который обеспечивает хорошие механические и электрические характеристики (затухание на частоте 10 МГц - не хуже 18 дБ/км). Зато этот кабель сложно монтировать - он плохо гнется.

- RG-58/U, RG-58 A/U и RG-58 C/U - разновидности «тонкого» коаксиального кабеля для сетей Ethernet 10Base-2. Кабель RG-58/U имеет сплошной внутренний проводник, а кабель RG-58 A/U - многожильный. Все эти разновидности кабеля имеют волновое сопротивление 50 Ом, но обладают худшими механическими и электрическими характеристиками по сравнению с «толстым» коаксиальным кабелем. Тонкий внутренний проводник 0,89 мм не так прочен, зато обладает гораздо большей гибкостью, удобной при монтаже. Затухание в этом типе кабеля выше, чем в «толстом» коаксиальном кабеле, что приводит к необходимости уменьшать длину кабеля для получения одинакового затухания в сегменте.

- RG-59 - телевизионный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом. Широко применяется в кабельном телевидении.

- RG-62 - кабель с волновым сопротивлением 93 Ома, использовался в сетях ArcNet, оборудование которых сегодня практически не выпускается.

Выбор того или иного типа кабеля зависит от потребностей конкретной сети.

Тонкий коаксиальный кабель прост в применении и годится практически для любого типа сети. Подключается непосредственно к платам сетевого адаптера компьютеров. Тонкий (thin) коаксиальный кабель способен передавать сигнал на расстояние до 185 м без его заметного искажения, вызванного затуханием. Чем толще жила у кабеля, тем большее расстояние способен преодолеть сигнал. Толстый коаксиальный кабель передает сигналы дальше, чем тонкий - до 500 м, поэтому толстый коаксиальный кабель иногда используют в качестве основного кабеля [магистральной (backbone)], который соединяет несколько небольших сетей, построенных на тонком коаксиальном кабеле.

Кабели соединяются между собой с помощью коннекторов. Коннектор обеспечивает механическую фиксацию и электрический контакт. Как и кабели, они классифицируются по категориям, определяющим диапазон рабочих частот. Для подключения к толстому коаксиальному кабелю применяют специальное устройство - трансивер. Трансивер снабжен специальным коннектором, который назван "зуб вампира" (vampire tap) или "пронзающий ответвитель" (piercing tap). Этот "зуб" проникает через изоляционный слой и вступает в непосредственный физический контакт с проводящей жилой. Чтобы подключить трансивер к сетевому адаптеру, надо кабель трансивера подключить к коннектору AUI-порта сетевой платы. Этот коннектор известен также как DIX-коннектор (Digital Intel Xerox) в соответствии с названиями фирм-разработчиков, или коннектор DB-15. Для подключения тонкого коаксиального кабеля к компьютерам используются так называемые BNC-коннекторы (British Naval Connector, BNC). BNC-коннектор либо припаивается, либо обжимается на конце кабеля. В семействе BNC несколько основных компонентов:

– BNC T-коннектор. T-коннектор соединяет сетевой кабель с сетевой платой компьютера.

– BNC баррел-коннектор. Баррел-коннектор применяется для сращивания двух отрезков тонкого коаксиального кабеля.

– BNC-терминатор. В сети с топологией "шина" для поглощения "свободных" сигналов терминаторы устанавливаются на каждом конце кабеля. Иначе сеть не будет работать.

Существует два класса коаксиальных кабелей: поливинилхлоридные, пленумные - для прокладки в области пленума.

Поливинилхлорид (PVC) - это пластик, который применяется в качестве изолятора или внешней оболочки у большинства коаксиальных кабелей. Кабель PVC достаточно гибок, его можно прокладывать на открытых участках помещений. Однако при горении он выделяет ядовитые газы.

Пленум (plenum) - это небольшое пространство между фальшь-потолком и перекрытием обычно его используют для вентиляции. Требования пожарной безопасности строго ограничивают типы кабелей, которые могут быть здесь проложены, поскольку в случае пожара выделяемые ими дым или газы распространятся по всему зданию.

Витая пара

Самая простая витая пара (twisted pair) - это два перекрученных вокруг друга изолированных медных провода. Существует два типа тонкого кабеля: неэкранированная (unshielded) витая пара (UTP) и экранированная (shielded) витая пара (STP).

Одной из потенциальных проблем для всех типов кабелей являются перекрестные помехи. Неэкранированная витая пара особенно страдает от перекрестных помех. Для уменьшения их влияния используют экран, помещая несколько витых пар в одну защитную оболочку. Их количество в таком кабеле может быть разным. Завивка проводов позволяет избавиться от электрических помех, наводимых соседними парами и другими источниками.

Неэкранированная витая пара (спецификация 10BaseT) широко используется в ЛВС, максимальная длина сегмента составляет 100 м. Неэкранированная витая пара состоит из двух изолированных медных проводов. Для подключения неэкранированной витой пары к компьютеру используются коннекторы модульные разъемы (Modular Jack), RJ-45.

Существует несколько спецификаций, которые регулируют количество витков на единицу длины - в зависимости от назначения кабеля. Неэкранированная витая пара определена в особом стандарте - Electronic Industries Association and the Telecommunications Industries Association (EIA/TIA) 568 Commercial Building Wiring Standan. Эти стандарты включают пять категорий UTP.

- Категория 1. Традиционный телефонный кабель, по которому можно передавать только речь, но не данные.

- Категория 2. Кабель, способный передавать данные со скоростью до 4 Мбит/с. Состоит из четырех витых пар.

- Категория 3. Кабель, способный передавать данные со скоростью до 10 Мбит/с. Состоит из четырех витых пар с девятью витками на метр.

- Категория 4. Кабель, способный передавать данные со скоростью до 16 Мбит/с. Состоит из четырех витых пар.

- Категория 5. Кабель, способный передавать данные со скоростью до 100 Мбит/с. Состоит из четырех витых пар медного провода.

- Кабель категории 6 - перспективный тип кабеля для передачи данных в полосе частот до 200 МГц.

- Кабель категории 7 - перспективный тип кабеля для передачи данных в полосе частот до 600 МГц.

Кабель экранированной витой пары (STP) имеет медную оплетку, которая обеспечивает большую защиту, чем неэкранированная витая пара. Кроме того, пары проводов STP обмотаны фольгой. В результате экранированная витая пара обладает прекрасной изоляцией, защищающей передаваемые данные от внешних помех. Все это означает, что STP, по сравнению с UTP, меньше подвержена воздействию электрических помех и может передавать сигналы с более высокой скоростью и на большие расстояния.

Основным стандартом, определяющим параметры экранированной витой пары, является фирменный стандарт IBM. В этом стандарте кабели делятся не на категории, а на типы: Type 1, Type 2,..., Type 9. Основным типом экранированного кабеля является кабель Type 1 стандарта IBM. Он состоит из 2-х пар скрученных проводов, экранированных проводящей оплеткой, которая заземляется. Для присоединения экранированных кабелей к оборудованию используются разъемы конструкции IBM.

Электрические параметры кабеля Type 1 примерно соответствуют параметрам кабеля UTP категории 5. Однако волновое сопротивление кабеля Type 1 равно 150 Ом (UTP категории 5 имеет волновое сопротивление 100 Ом). Трансиверы, рассчитанные на работу с кабелем, имеющим волновое сопротивление 100 Ом, будут плохо работать на волновое сопротивление 150 Ом.

Оптоволоконный кабель

Волоконно-оптические кабели состоят из центрального проводника света (сердцевины) - стеклянного волокна, окруженного другим слоем стекла - оболочкой, обладающей меньшим показателем преломления, чем сердцевина. Распространяясь по сердцевине, лучи света не выходят за ее пределы, отражаясь от покрывающего слоя оболочки. В зависимости от распределения показателя преломления и от величины диаметра сердечника различают:

- многомодовое волокно;
- одномодовое волокно.

Понятие «мода» описывает режим распространения световых лучей во внутреннем сердечнике кабеля.

В одномодовом кабеле (Single Mode Fiber, SMF) используется центральный проводник очень малого диаметра, соизмеримого с длиной волны света - от 5 до 10 мкм. При этом практически все лучи света распространяются вдоль оптической оси световода, не отражаясь от внешнего проводника. Полоса пропускания одномодового кабеля очень широкая - до сотен гигагерц на километр. Изготовление тонких качественных волокон для одномодового кабеля представляет сложный технологический процесс, что делает одномодовый кабель достаточно дорогим. Кроме того, в волокно такого маленького диаметра достаточно сложно направить пучок света, не потеряв при этом значительную часть его энергии.

В многомодовых кабелях (Multi Mode Fiber, MMF) используются более широкие внутренние сердечники, которые легче изготовить технологически. В стандартах определены два наиболее употребительных многомодовых кабеля: 62,5/125 мкм и 50/125 мкм, где 62,5 мкм или 50 мкм - это диаметр центрального проводника, а 125 мкм - диаметр внешнего проводника.

В многомодовых кабелях во внутреннем проводнике одновременно существует несколько световых лучей, отражающихся от внешнего проводника под разными углами. Угол отражения луча называется модой луча. В многомодовых кабелях с плавным изменением коэффициента преломления режим распространения каждой моды имеет более сложный характер. Многомодовые кабели имеют более узкую полосу пропускания - от 500 до 800 МГц/км. Сужение полосы происходит из-за потерь световой энергии при отражениях, а также из-за интерференции лучей разных мод.

В качестве источников излучения света в волоконно-оптических кабелях применяются:

- светодиоды;
- полупроводниковые лазеры.

Для одномодовых кабелей применяются только полупроводниковые лазеры, так как при таком малом диаметре оптического волокна световой поток, создаваемый светодиодом, невозможно без больших потерь направить в волокно. Для многомодовых кабелей используются более дешевые светодиодные излучатели.

Оптоволоконные линии предназначены для перемещения больших объемов данных на очень высоких скоростях, так как сигнал в них практически не затухает и не искажается.

Каждое стеклянное оптоволокно передает сигналы только в одном направлении, поэтому кабель состоит из двух волокон с отдельными коннекторами. Одно из них служит для передачи, а другое - для приема. Жесткость волокон увеличивается покрытием из пластика. а прочность - волокнами из кевлара.

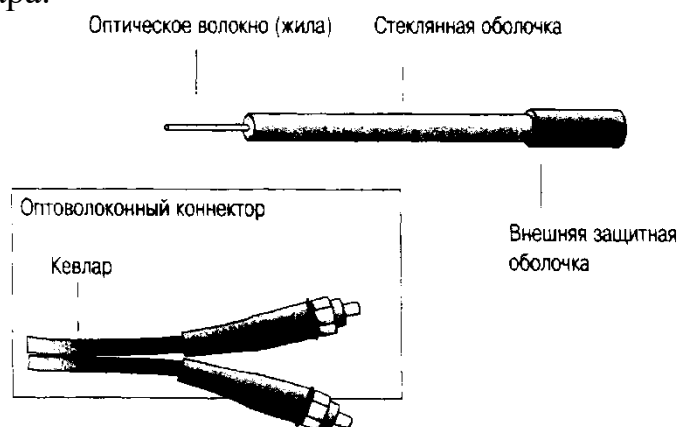


Рисунок 1. Оптоволоконный кабель

Передача по оптоволоконному кабелю не подвержена электрическим помехам и ведется на чрезвычайно высокой скорости (в настоящее время до 100 Мбит/с, теоретически возможная скорость - 200 000 Мбит/с). По нему можно передавать световой импульс на многие километры.

Для передачи по кабелю кодированных сигналов используют две технологии - узкополосную передачу и широкополосную передачу.

Узкополосные (baseband) системы передают данные в виде цифрового сигнала одной частоты. Сигналы представляют собой дискретные электрические или световые импульсы. При таком способе вся емкость коммуникационного канала используется для передачи одного импульса, или, другими словами, цифровой сигнал использует всю полосу пропускания кабеля. Полоса пропускания - это разница между максимальной и минимальной частотой, которая может быть передана по кабелю. Каждое устройство в сетях с узкополосной передачей посылает данные в обоих направлениях, а некоторые могут одновременно и передавать их, и принимать.



Рисунок 2. Узкополосная передача. Двухнаправленная цифровая волна

Продвигаясь по кабелю, сигнал постепенно затухает и, как следствие, может исказиться. Если кабель слишком длинный, на дальнем его конце передаваемый сигнал может исказиться до неузнаваемости или просто пропасть. Чтобы избежать этого, в узкополосных системах используют репитеры, которые усиливают сигнал и ретранслируют его в дополнительные сегменты, позволяя тем самым увеличить общую длину кабеля.

Широкополосные (broadband) системы передают данные в виде аналогового сигнала, который использует некоторый интервал частот. Сигналы представляют собой непрерывные (а не дискретные) электромагнитные или оптические волны. При таком способе сигналы передаются по физической среде в одном направлении.

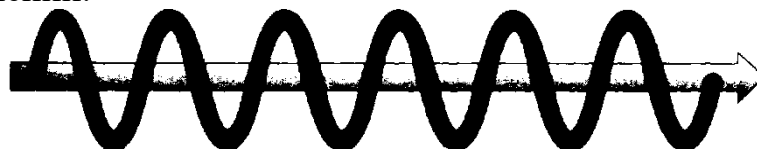


Рисунок 3. Широкополосная передача. Однонаправленная аналоговая волна

Если обеспечить необходимую полосу пропускания, то по одному кабелю одновременно может идти вещание нескольких систем, таких, как кабельное телевидение и передача данных.

Каждой передающей системе выделяется часть полосы пропускания. Все устройства, связанные с данной системой (например, компьютеры), должны быть настроены таким образом, чтобы работать именно с выделенной частью полосы пропускания.

Если в узкополосных системах для восстановления сигнала используют репитеры, то в широкополосных - усилители (amplifiers). В широкополосной системе сигнал передается только в одном направлении, поэтому, чтобы все устройства могли и принимать, и передавать данные, необходимо обеспечить два пути для прохождения сигнала. Разработано два основных решения:

- разбить полосу пропускания на два канала, которые работают с различными частотами; один канал предназначен для передачи сигналов, другой - для приема;

- использовать два кабеля; один кабель предназначен для передачи сигналов, другой - для приема.

Основные характеристики линий связи

К основным характеристикам линий связи относятся:

- амплитудно-частотная характеристика;
- полоса пропускания;
- затухание;
- помехоустойчивость;
- перекрестные наводки на ближнем конце линии;
- пропускная способность;
- достоверность передачи данных.

Амплитудно-частотная характеристика показывает, как затухает амплитуда синусоиды на выходе линии связи по сравнению с амплитудой на ее входе для всех возможных частот передаваемого сигнала. Вместо амплитуды в этой характеристике часто используют также такой параметр сигнала, как его мощность.

Перекрестные наводки на ближнем конце (Near End Cross Talk, NEXT) – определяют устойчивость кабеля в том случае, когда наводка образуется в результате действия сигнала, генерируемого передатчиком, подключенным к одной из соседних пар на том же конце кабеля, на котором работает подключенный к подверженной влиянию паре приемник. Чем меньше значение показателя, тем лучше кабель. Измеряются в децибелах для определенной частоты сигнала. Перекрестные наводки на дальнем конце позволяют оценить устойчивость кабеля к наводкам для случая, когда передатчик и приемник подключены к разным концам кабеля.

Импеданс (волновое сопротивление) - это полное (активное и реактивное) сопротивление в электрической цепи. Импеданс измеряется в Омах и является относительно постоянной величиной для кабельных систем (например, для коаксиальных кабелей, используемых в стандартах Ethernet, импеданс кабеля должен составлять 50 Ом). Для неэкранированной витой пары наиболее часто используемые значения импеданса - 100 и 120 Ом. В области высоких частот (100-200 МГц) импеданс зависит от частоты.

Достоверность передачи данных характеризует вероятность искажения для каждого передаваемого бита данных. Эта величина для каналов связи без дополнительных средств защиты от ошибок составляет, как правило 10⁻⁴ – 10⁻⁶, в оптоволоконных линиях связи – 10⁻⁹. 10⁻⁴ означает, что из переданных 10000 бит искажается один.

В первую очередь разработчика вычислительной сети интересуют пропускная способность и достоверность передачи данных, поскольку эти характеристики прямо влияют на производительность и надежность создаваемой сети. Пропускная способность и достоверность - это характеристики как линии связи, так и способа передачи данных. Поэтому если способ передачи (протокол) уже определен, то известны и эти характеристики. Например, пропускная способность цифровой линии всегда известна, так как на ней определен протокол физического уровня, который задает битовую скорость передачи данных - 64 Кбит/с, 2 Мбит/с и т. п.

Однако нельзя говорить о пропускной способности линии связи, до того как для нее определен протокол физического уровня. Именно в таких случаях, когда только предстоит определить, какой из множества существующих протоколов

можно использовать на данной линии, очень важными являются остальные характеристики линии, такие как полоса пропускания, перекрестные наводки, помехоустойчивость и другие характеристики.

Полоса пропускания (bandwidth) - это непрерывный диапазон частот, для которого отношение амплитуды выходного сигнала ко входному превышает некоторый заранее заданный предел, обычно 0,5. То есть полоса пропускания определяет диапазон частот синусоидального сигнала, при которых этот сигнал передается по линии связи без значительных искажений.

Затухание (attenuation) определяется как относительное уменьшение амплитуды или мощности сигнала при передаче по линии сигнала определенной частоты. Затухание A обычно измеряется в децибелах (дБ, decibel - dB) и вычисляется по следующей формуле:

$$A = 10 \log_{10} P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}},$$

где $P_{\text{вых}}$ ~ мощность сигнала на выходе линии, $P_{\text{вх}}$ - мощность сигнала на входе линии.

Так как мощность выходного сигнала кабеля без промежуточных усилителей всегда меньше, чем мощность входного сигнала, затухание кабеля всегда является отрицательной величиной.

Абсолютный уровень мощности, например уровень мощности передатчика, также измеряется в децибелах. При этом в качестве базового значения мощности сигнала, относительно которого измеряется текущая мощность, принимается значение в 1 мВт. Таким образом, уровень мощности p вычисляется по следующей формуле:

$$p = 10 \log_{10} P / 1 \text{ мВт} \text{ [дБм]},$$

где P - мощность сигнала в милливаттах, а дБм (dBm) - это единица измерения уровня мощности (децибел на 1 мВт).

Пропускная способность (throughput) линии характеризует максимально возможную скорость передачи данных по линии связи в единицу времени. Пропускная способность измеряется в битах в секунду - бит/с, а также в производных единицах, таких как килобит в секунду (Кбит/с), мегабит в секунду (Мбит/с), гигабит в секунду (Гбит/с) и т. д.

Выбор способа представления дискретной информации в виде сигналов, подаваемых на линию связи, называется физическим или линейным кодированием. От выбранного способа кодирования зависит спектр сигналов и, соответственно, пропускная способность линии. Таким образом, для одного способа кодирования линия может обладать одной пропускной способностью, а для другого - другой. Например, витая пара категории 3 может передавать данные с пропускной способностью 10 Мбит/с при способе кодирования стандарта физического уровня 10Base-T и 33 Мбит/с при способе кодирования стандарта 100Base-T4.

На пропускную способность линии оказывает влияние не только физическое, но и логическое кодирование. Логическое кодирование выполняется до физического кодирования и подразумевает замену бит исходной информации новой последовательностью бит, несущей ту же информацию, но обладающей, кроме этого, дополнительными свойствами, например возможностью для приемной стороны обнаруживать ошибки в принятых данных. Сопровождение каждого байта исходной информации одним битом четности - это пример очень

часто применяемого способа логического кодирования при передаче данных с помощью модемов. Другим примером логического кодирования может служить шифрация данных, обеспечивающая их конфиденциальность при передаче через общественные каналы связи. При логическом кодировании чаще всего исходная последовательность бит заменяется более длинной последовательностью, поэтому пропускная способность канала по отношению к полезной информации при этом уменьшается.

Связь между полосой пропускания линии и ее максимально возможной пропускной способностью, вне зависимости от принятого способа физического кодирования, установил Клод Шеннон:

$$C = F \log_2 (1 + P_c / P_{ш})$$

где C – максимальная пропускная способность линии в битах в секунду, F – ширина полосы пропускания линии в герцах, P_c – мощность сигнала, $P_{ш}$ – мощность шума.

Из этого соотношения видно, что повысить пропускную способность линии можно за счет увеличения мощности передатчика или же уменьшения мощности шума (помех) на линии связи. Обе эти составляющие поддаются изменению с большим трудом. Повышение мощности передатчика ведет к значительному увеличению его габаритов и стоимости. Снижение уровня шума требует применения специальных кабелей с хорошими защитными экранами, что весьма дорого, а также снижения шума в передатчике и промежуточной аппаратуре, чего достичь весьма непросто.

Близким по сути к формуле Шеннона является другое соотношение, полученное Найквистом, которое также определяет максимально возможную пропускную способность линии связи, но без учета шума на линии:

$$C = F \log_2 M$$

Здесь M – количество различных состояний информационного параметра. Если сигнал имеет 2 различных состояния, то пропускная способность равна удвоенному значению ширины полосы пропускания линии связи. Если же передатчик использует более чем 2 устойчивых состояния сигнала для кодирования данных, то пропускная способность линии повышается, так как за один такт работы передатчик передает несколько бит исходных данных

Беспроводные сети

Беспроводная среда:

- обеспечивает временное подключение к существующей кабельной сети;
- гарантирует определенный уровень мобильности;
- позволяет снять ограничения на максимальную протяженность сети, накладываемые медными или даже оптоволоконными кабелями.

Она может оказаться особенно полезной в следующих ситуациях

- для людей, которые не работают на одном месте;
- в изолированных помещениях и зданиях;
- в помещениях, планировка которых часто меняется;
- в строениях (например, памятниках истории или архитектуры), где прокладывать кабель непозволительно.

В зависимости от технологии беспроводные сети можно разделить на три типа:

- локальные вычислительные сети;
- расширенные локальные вычислительные сети;
- мобильные сети (переносные компьютеры).

Типичная беспроводная сеть выглядит и функционирует практически так же, как обычная, за исключением среды передачи. Беспроводной сетевой адаптер с трансиром установлен в каждом компьютере. Трансивер, называемый иногда точкой доступа (access point) обеспечивает обмен кадрами между компьютерами с беспроводным подключением и остальной сетью. В беспроводных ЛВС используются небольшие настенные трансиверы. Они устанавливаются радиоконтакт между переносными устройствами. Такую сеть нельзя назвать полностью беспроводной именно из-за использования этих трансиверов.

Беспроводные локальные сети используют четыре способа передачи данных:

- инфракрасное излучение;
- лазер;
- радиопередачу в узком спектре (одночастотная передача);
- радиопередачу в рассеянном спектре.

Инфракрасное излучение.

Инфракрасные беспроводные сети используют для передачи данных инфракрасные лучи. Этот способ позволяет передавать сигналы с большой скоростью, поскольку инфракрасный свет имеет широкий диапазон частот. Инфракрасные сети способны нормально функционировать на скорости 100 Мбит/с.

Существует четыре типа инфракрасных сетей.

- Сети прямой видимости. В таких сетях передача возможна лишь в случае прямой видимости между передатчиком и приемником.
- Сети на рассеянном инфракрасном излучении. При этой технологии сигналы, отражаясь от стен и потолка, в конце концов достигают приемника. Эффективная область ограничивается примерно 30 м и скорость передачи невелика (так как все сигналы отраженные).
- Сети на отраженном инфракрасном излучении. В этих сетях оптические трансиверы, расположенные рядом с компьютером, передают сигналы в определенное место, из которого они переадресуются соответствующему компьютеру.
- Широкополосные оптические сети. Эти инфракрасные беспроводные сети предоставляют широкополосные услуги. Они соответствуют жестким требованиям мультимедийной среды и практически не уступают кабельным сетям.

Хотя скорость и удобство использования инфракрасных сетей очень привлекательны, возникают трудности при передаче сигналов на расстояние более 30 м. К тому же такие сети подвержены помехам со стороны сильных источников света, которые есть в большинстве организаций.

Характеристики линий связи можно разделить на две группы:

- параметры распространения характеризуют процесс распространения полезного сигнала в зависимости от собственных параметров линии, например, погонной индуктивности медного кабеля;

- параметры влияния описывают степень влияния на полезный сигнал других сигналов - внешних помех, наводок от других пар проводников в медном кабеле.

В свою очередь, в каждой из этих групп можно выделить первичные и вторичные параметры.

Первичные — характеризуют физическую природу линии связи: например, погонное активное сопротивление, погонную индуктивность, погонную емкость и погонную проводимость изоляции медного кабеля или зависимость коэффициента преломления оптического волокна от расстояния от оптической оси.

Вторичные параметры выражают некоторый обобщенный результат процесса распространения сигнала по линии связи и не зависят от ее природы — например, степень ослабления мощности сигнала при прохождении им определенного расстояния вдоль линии связи. Вторичные параметры определяются по отклику линии передачи на некоторые эталонные воздействия.

Первичные параметры влияния медного кабеля — электрическая и магнитная связи. Электрическая связь определяется отношением наведенного тока в цепи, подверженной влиянию, к напряжению, действующему во влияющей цепи. Магнитная связь — это отношение электродвижущей силы, наведенной в цепи, подверженной влиянию, к току во влияющей цепи. Результатом электрической и магнитной связи будут наведенные сигналы (наводки) в цепи, подверженной влиянию. Устойчивость кабеля к наводкам характеризуется несколькими различными параметрами.

Переходное затухание на ближнем конце (Near End Cross Talk, NEXT) определяет устойчивость кабеля в том случае, когда наводка образуется в результате действия сигнала, генерируемого передатчиком, подключенным к одной из соседних пар на том же конце кабеля, на котором работает подключенный к подверженному влиянию паре приемник. Показатель NEXT, выраженный в децибелах, равен $10 \lg R_{\text{вых}}/R_{\text{нав}}$, где $R_{\text{вых}}$ — мощность выходного сигнала, $R_{\text{нав}}$ — мощность наведенного сигнала. Чем меньше значение NEXT, тем лучше кабель. Так, для витой пары Категории 5 показатель NEXT должен быть лучше -27 дБ на частоте 100 МГц. Перекрестные наводки на дальнем конце позволяют оценить устойчивость кабеля к наводкам для случая, когда передатчик и приемник подключены к разным концам кабеля.

Переходное затухание на дальнем конце (Far End Cross Talk, FEXT) описывает устойчивость кабеля к наводкам для случая, когда передатчик и приемник подключены к разным концам кабеля. Очевидно, что этот показатель должен быть лучше, чем NEXT, так как до дальнего конца кабеля сигнал приходит ослабленный вследствие затухания в каждой паре.

Показатели NEXT и FEXT обычно используются применительно к кабелю, состоящему из нескольких витых пар, когда взаимные наводки одной пары на другую могут достигать значительных величин. Для одинарного коаксиального кабеля (т. е. состоящего из одной экранированной жилы) подобный показатель не имеет смысла, не применяется он и для двойного коаксиального кабеля вследствие высокой степени защищенности каждой жилы. Оптические волокна также не создают сколько-нибудь заметных помех друг для друга.

В связи с тем, что в некоторых новых технологиях передача данных осуществляется одновременно по нескольким витым парам, в последнее время стали применяться суммарные показатели (PowerSUM, PS) — PS NEXT и PS FEXT. Они отражают устойчивость кабеля к суммарной мощности перекрестных наводок на одну из пар кабеля от всех остальных передающих пар.

Импеданс (волновое сопротивление) - это полное (активное и реактивное) сопротивление в электрической цепи. Импеданс измеряется в Омах и является относительно постоянной величиной для кабельных систем (например, для коаксиальных кабелей, используемых в стандартах Ethernet, импеданс кабеля должен составлять 50 Ом). Для неэкранированной витой пары наиболее часто используемые значения импеданса - 100 и 120 Ом. В области высоких частот (100-200 МГц) импеданс зависит от частоты.

Амплитудно-частотная характеристика показывает, как затухает амплитуда синусоиды на выходе линии связи по сравнению с амплитудой на ее входе для всех возможных частот передаваемого сигнала. Вместо амплитуды в этой характеристике часто используют также такой параметр сигнала, как его мощность.

Полоса пропускания (bandwidth) - это непрерывный диапазон частот, для которого отношение амплитуды выходного сигнала ко входному превышает некоторый заранее заданный предел, обычно -0,5. То есть полоса пропускания определяет диапазон частот синусоидального сигнала, при которых этот сигнал передается по линии связи без значительных искажений.

Затухание - потери или уменьшение уровня сигнала при прохождении его по передающей среде. Существует два типа потерь, определяющих величину затухания сигнала собственные потери в проводниках (центральном проводнике и экране) и диэлектрические потери. Оба типа потерь растут с увеличением частоты.

Затухание (attenuation) определяется как относительное уменьшение амплитуды или мощности сигнала при передаче по линии сигнала определенной частоты. Затухание A обычно измеряется в децибелах (дБ, decibel - dB) и вычисляется по следующей формуле:

$$A = 10 \log_{10} (P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}),$$

где $P_{\text{вых}}$ - мощность сигнала на выходе линии, $P_{\text{вх}}$ - мощность сигнала на входе линии.

Так как мощность выходного сигнала кабеля без промежуточных усилителей всегда меньше, чем мощность входного сигнала, затухание кабеля всегда является отрицательной величиной.

Абсолютный уровень мощности, например, уровень мощности передатчика, также измеряется в децибелах. При этом в качестве базового значения мощности сигнала, относительно которого измеряется текущая мощность, принимается значение в 1 мВт. Таким образом, уровень мощности P вычисляется по следующей формуле:

$$P = 10 \log_{10} (P/1\text{мВт} [\text{дБм}]),$$

где P - мощность сигнала в милливаттах, а дБм (dBm) - это единица измерения уровня мощности (децибел на 1 мВт).

Таким образом, амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания и затухание являются универсальными характеристиками, и их знание позволяет

сделать вывод о том, как через линию связи будут передаваться сигналы любой формы.

Весьма важной характеристикой передающей среды является *показатель защищенности кабеля* (ACR), представляющий собой разность между уровнями полезного сигнала и помех. Чем больше это значение, тем с потенциально более высокой скоростью можно передавать данные по указанному кабелю.

Помехоустойчивость линии определяет ее способность уменьшать уровень помех со стороны внешней среды или проводников самого кабеля. Она зависит от типа используемой физической среды, от экранирующих и подавляющих помехи средств самой линии. Наименее помехоустойчивыми являются радиолинии, хорошей устойчивостью обладают кабельные линии и отличной — волоконно-оптические, малочувствительные к внешнему электромагнитному излучению. Обычно уменьшения помех от внешних электромагнитных полей добиваются экранированием и/или скручиванием проводников. Величины, характеризующие помехоустойчивость, относятся к параметрам влияния линии связи.

Достоверность передачи данных характеризует вероятность искажения для каждого передаваемого бита данных. Иногда этот же показатель называют интенсивностью битовых ошибок (Bit Error Rate, BER). Эта величина для каналов связи без дополнительных средств защиты от ошибок составляет, как правило $10^{-4} - 10^{-6}$, в оптоволоконных линиях связи — 10^{-9} . 10^{-4} означает, что из переданных 10000 бит искажается один. Битовые ошибки происходят как из-за наличия помех на линии, так и по причине искажений формы сигнала вследствие ограниченной полосы пропускания линии. Поэтому для повышения достоверности передаваемых данных нужно повышать степень помехозащищенности линии, снижать уровень перекрестных наводок в кабеле, а также использовать линии связи с более широкой полосой рабочих частот.

Скорость распространения сигнала по кабелю или, обратный параметр — *задержка сигнала* на метр длины кабеля. Этот параметр имеет принципиальное значение при выборе длины сети. Типичные величины скорости распространения сигнала составляют от 0,6 до 0,8 от скорости распространения света в вакууме. Производители кабелей иногда указывают величину задержки на метр длины, а иногда — скорость распространения сигнала относительно скорости света (или NVP — Nominal Velocity of Propagation, как ее часто называют в документации). Связаны эти две величины простой формулой:

$$t_3 = 1 / (3 \times 10^8 \times \text{NVP})$$

где t_3 — величина *задержки* на метр длины кабеля в наносекундах.

Пропускная способность линии — характеризует объем данных передаваемых по среде передачи в единицу времени. Пропускная способность измеряется в битах в секунду — бит/с, а также в производных единицах, таких как килобит в секунду (Кбит/с), мегабит в секунду (Мбит/с), гигабит в секунду (Гбит/с) и т. д.

Выбор способа представления дискретной информации в виде сигналов, подаваемых на линию связи, называется физическим или линейным кодированием. От выбранного способа кодирования зависит спектр сигналов и, соответственно, пропускная способность линии. Большинство способов кодирования использует изменение какого-либо параметра периодического

сигнала — частоты, амплитуды и фазы синусоиды или же знак потенциала последовательности импульсов. Периодический сигнал, параметры которого изменяются, называют несущим сигналом или несущей частотой, если в качестве такого сигнала применяется синусоида.

Если сигнал изменяется так, что различаются только два его состояния, то любое его изменение будет соответствовать наименьшей единице информации — биту. Если же сигнал может иметь более двух различных состояний, то любое его изменение содержит несколько бит информации.

Количество изменений информационного параметра несущего периодического сигнала в секунду измеряется в бодах (baud). Период времени между соседними изменениями информационного сигнала называется тактом работы передатчика.

Пропускная способность линии в битах в секунду в общем случае не совпадает с числом бод. Она может быть как выше, так и ниже числа бод, и это соотношение зависит от способа кодирования.

Таким образом, для одного способа кодирования линия может обладать одной пропускной способностью, а для другого - другой. Например, витая пара категории 3 может передавать данные с пропускной способностью 10 Мбит/с при способе кодирования стандарта физического уровня 10Base-T и 33 Мбит/с при способе кодирования стандарта 100Base-T4.

Связь между полосой пропускания линии и ее максимально возможной пропускной способностью, вне зависимости от принятого способа физического кодирования, установил Клод Шеннон:

$$C = F \log_2 (1 + P_c / P_{ш})$$

где C — максимальная пропускная способность линии в битах в секунду, F — ширина полосы пропускания линии в герцах, P_c — мощность сигнала, $P_{ш}$ — мощность шума.

Из этого соотношения видно, что повысить пропускную способность линии можно за счет увеличения мощности передатчика или же уменьшения мощности шума (помех) на линии связи. Обе эти составляющие поддаются изменению с большим трудом. Повышение мощности передатчика ведет к значительному увеличению его габаритов и стоимости. Снижение уровня шума требует применения специальных кабелей с хорошими защитными экранами, что весьма дорого, а также снижения шума в передатчике и промежуточной аппаратуре, чего достичь весьма не просто.

Близким по сути к формуле Шеннона является другое соотношение, полученное Найквистом, которое также определяет максимально возможную пропускную способность линии связи, но без учета шума на линии:

$$C = F \log_2 M$$

Здесь M — количество различных состояний информационного параметра.

Если сигнал имеет 2 различных состояния, то пропускная способность равна удвоенному значению ширины полосы пропускания линии связи. Если же передатчик использует более чем 2 устойчивых состояния сигнала для кодирования данных, то пропускная способность линии повышается, так как за один такт работы передатчик передает несколько бит исходных данных

Задание:

1. Рассчитайте задержку распространения сигнала и задержку передачи данных для случая передачи пакета согласно исходных данных индивидуального варианта:

- по кабелю витой пары;
- коаксиальному кабелю;
- спутниковому геостационарному каналу.

Считайте скорость распространения сигнала равной скорости света в вакууме $300\,000\text{ км/с} \cdot 0,66$

Индивидуальные варианты

Вариант	Размер пакета	Витая пара		Коаксиальный кабель		Спутниковый геостационарный канал	
		длина	Скорость передачи	длина	Скорость передачи	длина	Скорость передачи
	байт	м	Мбит/с	км	Мбит/с	км	Кбит/с
1	64	40	100	0,1	10	1000	64
2	64	70	100	0,2	10	10000	128
3	64	100	100	0,3	10	20000	192
4	128	40	100	0,4	10	30000	256
5	128	70	100	0,5	10	40000	384
6	128	100	100	0,6	10	50000	512
7	192	40	100	0,7	10	60000	1024
8	192	70	100	0,8	10	70000	2048
9	192	100	100	0,9	10	80000	4096
10	256	40	100	1	10	90000	64
11	256	70	100	1,1	10	100000	128
12	256	100	100	1,2	10	1000	192
13	512	40	100	1,3	10	10000	256
14	512	70	100	1,4	10	20000	384
15	512	100	100	1,5	10	30000	512
16	64	15	1000	1,6	10	40000	1024
17	64	25	1000	1,7	10	50000	2048
18	128	15	1000	1,8	10	60000	4096
19	128	25	1000	1,9	10	70000	64
20	192	15	1000	2	10	80000	128
21	192	25	1000	0,1	10	90000	192
22	256	15	1000	0,2	10	100000	256
23	256	25	1000	0,3	10	72000	384
24	512	15	1000	0,4	10	36000	512
25	512	25	1000	0,5	10	18000	1024

2. Каким будет теоретический предел скорости передачи данных в битах в секунду по каналу с шириной полосы пропускания в (пункт 4 таблицы), если мощность передатчика составляет (пункт 2 таблицы) мВт, а мощность шума в канале равна (пункт 3 таблицы) мВт? На сколько увеличится пропускная способность линии, если мощность передатчика увеличить в два раза? На сколько надо увеличить мощность передатчика или уменьшить мощность шума, чтобы пропускная способность увеличилась вдвое?

3. Определите пропускную способность канала связи для каждого из направлений дуплексного режима, если известно, что его полоса пропускания равна (пункт 4 таблицы), а в методе кодирования используется (пункт 5 таблицы) состояний сигнала. Как надо кодировать данные (изменить количество состояний информационного сигнала), чтобы пропускная способность увеличилась вдвое?

№ вар	Мощность передатчика, мВт	Мощность шума, мВт	Ширина полосы пропускания, МГц	Кол-во состояний информац. сигнала
1	2	3	4	5
1	0,01	0,0001	0,01	2
2	0,02	0,0003	0,1	4
3	0,03	0,0003	1	6
4	0,04	0,0004	10	8
5	0,05	0,0005	100	10
6	0,01	0,0001	1000	2
7	0,02	0,0003	10000	4
8	0,03	0,0003	0,02	6
9	0,04	0,0004	0,2	8
10	0,05	0,0005	2	10
11	0,01	0,0001	20	2
12	0,02	0,0003	200	4
13	0,03	0,0003	0,05	6
14	0,04	0,0004	0,5	8
15	0,05	0,0005	5	10

4. Рассчитайте задержку передачи сигнала на метр длины (в наносекундах) для некоторых типов кабелей

Тип кабеля	Показатель NVP	Задержка
Коаксиал толстый	0,74	
Коаксиал тонкий	0,65	
Витая пара категория 3	0,67	
Витая пара категория 4	0,70	
Витая пара категория 5	0,72	

Одномодовый кабель	0,78	
Многомодовый кабель	0,68	

Решение задач

1. Каким будет теоретический предел скорости передачи данных в битах в секунду по каналу с шириной полосы пропускания в 20 кГц, если мощность передатчика составляет 0,01 мВт, а мощность шума в канале равна 0,0001 мВт?

2. Каким будет теоретический предел скорости передачи данных в бит/с по каналу с шириной полосы пропускания в 10 кГц, если мощность передатчика составляет 0,8 мВт, мощность шума 0,001 мкВт?

3. Каким будет теоретический предел скорости передачи данных в битах в секунду по каналу с шириной полосы пропускания в 150 кГц, если мощность передатчика составляет 0,2 мВт, а мощность шума в канале равна 0,1 мкВт?

4. Определите пропускную способность канала связи для каждого из направлений дуплексного режима, если известно, что его полоса пропускания равна 600 кГц, а в методе кодирования используется 10 состояний сигнала.

5. Определите пропускную способность линии связи для каждого из направлений, если известно, что ее полоса пропускания равна 100 кГц, а в методе кодирования используется 16 состояний сигнала.

6. Скорость передачи данных через ADSL соединение равна 1024000 бит/с. Передача файла через данное соединение заняла 5 секунд. Определите размер файла в килобайтах.

7. У провайдера есть высокоскоростной канал, обеспечивающий скорость получения им информации 2^{22} бит в секунду. Информация от провайдера к клиентам передается по низкоскоростному каналу со средней скоростью 2^{15} бит в секунду. Провайдер скачивает данные объемом 8 Мбайт и ретранслирует их клиенту по низкоскоростному каналу. Сервер провайдера может начать ретрансляцию данных не раньше, чем им будут получены первые 1024 Кбайт этих данных. Каков минимально возможный промежуток времени (в секундах) с момента начала скачивания провайдером данных до полного их получения клиентом?

8. У Кати есть доступ к Интернет по высокоскоростному одностороннему радиоканалу, обеспечивающему скорость получения им информации 2^{20} бит в секунду. У Сергея нет скоростного доступа в Интернет, но есть возможность получать информацию от Кати по низкоскоростному телефонному каналу со средней скоростью 2^{13} бит в секунду. Сергей договорился с Катей, что она скачает для него данные объемом 9 Мбайт по высокоскоростному каналу и ретранслирует их Сергею по низкоскоростному каналу. Компьютер Кати может начать ретрансляцию данных не раньше, чем им будут получены первые 1024 Кбайт этих данных. Каков минимально возможный промежуток времени (в секундах), с момента начала скачивания Катей данных, до полного их получения Сергеем?

9. Спектр сигнала - от 3 до 4 МГц; отношение сигнал/шум составляет 24 дБ. Сколько потребуется уровней сигнала, чтобы достичь заданного теоретического предела?

10. Объясните разницу между тремя понятиями:

- логические соединения, на которых основаны некоторые протоколы;
- виртуальные каналы в сетях с коммутацией пакетов;
- составные каналы в сетях с коммутацией каналов.

11. Скорость передачи данных через ADSL-соединение равна 2 621 440 бит/с. Через данное соединение передают файл размером 10 Мбайт. Определите время передачи файла в секундах.

12. Скорость передачи данных через ADSL-соединение равна 256 000 бит/с. Определите наибольший размер файла в килобайтах, который может быть передан через данное соединение за 10 минут.

13. Сколько секунд потребуется модему, передающему информацию со скоростью 102 400 бит/с, чтобы передать цветное растровое изображение размером 1024×800 пикселей, при условии, что в палитре 65 536 цветов (216). Результат представьте целым числом.

14. Скорость передачи данных скоростного ADSL соединения равна 1024000 бит/с, а скорость передачи данных через 3G-модем равна 512000 бит/с. Определите на сколько секунд дольше будет скачиваться файл размером 9000 Кбайт через 3G-модем, чем через ADSL-соединение.

15. У Оли есть доступ к сети Интернет по высокоскоростному одностороннему радиоканалу, обеспечивающему скорость получения информации 220 бит в секунду. У Маши нет скоростного доступа в Интернет, но есть возможность получать информацию от Оли по низкоскоростному телефонному каналу со средней скоростью 2^{12} бит в секунду. Маша договорилась с Олей, что та будет скачивать для нее данные объемом 8 Мбайт по высокоскоростному каналу и ретранслировать их Маше по низкоскоростному каналу. Компьютер Оли может начать ретрансляцию данных не раньше, чем ей будет получен 1 Мбайт этих данных. Сколько Кбайт успеет скачать Маша к моменту окончания скачивания информации Олей?

16. Через ADSL соединение файл размером 1000 Кбайт передавался 32 с. Сколько секунд потребуется для передачи файла размером 625 Кбайт.

17. У Толи есть доступ к сети Интернет по высокоскоростному одностороннему радиоканалу, обеспечивающему скорость получения информации 2^{19} бит в секунду. У Миши нет скоростного доступа в Интернет, но есть возможность получать информацию от Толи по низкоскоростному телефонному каналу со средней скоростью 2^{15} бит в секунду. Миша договорился с Толей, что тот будет скачивать для него данные объемом 5 Мбайт по высокоскоростному каналу и ретранслировать их Мише по низкоскоростному каналу. Компьютер Толи может начать ретрансляцию данных не раньше, чем им будут получены первые 512 Кбайт этих данных. Каков минимально возможный промежуток времени (в секундах) с момента начала скачивания Толей данных до полного их получения Мишей?

Порядок выполнения работы:

1. Рассчитайте задержку распространения сигнала и задержку передачи данных для случая передачи пакета в 128 байт:

– по кабелю витой пары длиной в 100 м при скорости передачи 100 Мбит/с;

– коаксиальному кабелю длиной в 2 км при скорости передачи в 10 Мбит/с;

– спутниковому геостационарному каналу протяженностью в 72 000 км при скорости передачи 128 Кбит/с.

Считайте скорость распространения сигнала равной скорости света в вакууме 300 000 км/с.

Решение:

По кабелю витой пары

$$T_{\text{задержка распространения сигнала}} = \frac{100\text{м}}{1000*300000\text{км/с}} = 0,00000033\text{с} = 0,33\text{мкс}$$

$$T_{\text{задержка передачи данных}} = \frac{128*8}{\frac{100\text{Мбит}}{\text{с}}*1000*1000} = 0,00001024\text{с} = 10,24\text{мкс}$$

Таким образом, общая задержка передачи данных (или общее время, затрачиваемое на передачу данных) в сети с коммутацией каналов составит $10,24+0,33=10,57\text{мкс}$

Коаксиальный кабель

$$T_{\text{задержка распространения сигнала}} = \frac{2\text{км}}{300000\text{км/с}} = 0,0000066\text{с} = 6,6\text{мкс}$$

$$T_{\text{задержка передачи данных}} = \frac{128*8}{\frac{10\text{Мбит}}{\text{с}}*1000*1000} = 0,0001024\text{с} = 102,4\text{мкс}$$

Таким образом, общая задержка передачи данных (или общее время, затрачиваемое на передачу данных) в сети с коммутацией каналов составит $6,6+102,4=109\text{мкс}$

Спутниковый геостационарный канал

$$T_{\text{задержка распространения сигнала}} = \frac{72000\text{км}}{300000\text{км/с}} = 0,24\text{с}$$

$$T_{\text{задержка передачи данных}} = \frac{128*8}{\frac{128\text{Мбит}}{\text{с}}*1000} = 0,008\text{с}$$

Таким образом, общая задержка передачи данных (или общее время, затрачиваемое на передачу данных) в сети с коммутацией каналов составит $0,24+0,008=0,248\text{с}$

Тестовые вопросы.

Заполните пропуски в следующих высказываниях:

1. Коаксиальный кабель имеет жилу, изготовленную из _____
2. Если жила коаксиального кабеля соприкоснется с металлической оплеткой, произойдет _____
3. Жила в коаксиальном кабеле окружена _____, который отделяет ее от металлической оплетки
4. Толстый коаксиальный кабель иногда используются в качестве _____, соединяющей сегменты из тонкого коаксиального кабеля
5. Гибкий коаксиальный кабель, удобный в использовании, который нельзя прокладывать в вентиляционных пространствах, - это кабель _____
6. Слой изоляции и внешняя оболочка _____ коаксиального кабеля выполнены из специальных огнеупорных материалов
7. Наиболее популярным типом витой пары является _____
8. Неэкранированная витая пара, способная передавать данные со скоростью до 10 Мбит/с, относится к категории _____
9. Неэкранированная витая пара, способная передавать данные со скоростью 100 Мбит/с, относится к категории _____
10. В экранированной витой паре оболочка из фольги используется для _____ от внешних помех
11. Экранированная витая пара меньше подвержена воздействию электрических _____ и может передавать сигналы с более высокой скоростью, чем неэкранированная витая пара
12. Для подключения витой пары к компьютеру используются телефонные коннекторы _____
13. Оптические волокна переносят данные в виде _____ импульсов
14. К оптоволоконному кабелю трудно _____, чтобы перехватывать передаваемые данные
15. Для передачи больших объемов данных с очень высокой скоростью оптоволоконные кабели выгодно отличаются от _____ кабелей, так как сигнал в оптоволокне практически не затухает и не искажается
16. Передача данных по оптоволоконному кабелю не подвержена воздействию электрических _____
17. Узкополосные системы передают данные в виде _____ сигнала одной частоты
18. Широкополосные системы передают данные в виде _____ сигнала, который использует некоторый интервал частот
19. При радиопередаче в рассеянном спектре сигналы передаются в некоторой полосе _____
20. Какой класс кабелей UTP, описанных в стандарте EIA/TIA-568A является наиболее часто рекомендуемым и используемым при установке ЛВС _____
21. Какой тип гнездового соединения должен использоваться для создания соединений с кабелем UTP 5 категории в горизонтальной кабельной системе _____

Содержание отчета:

1. Тема.
2. Цель.
3. Материальное обеспечение.
4. Практическое задание.
5. Ответы на тестовые вопросы.
6. Ответы на вопросы самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое полоса пропускания линии передачи?
2. Что определяет полоса пропускания линии передачи?
3. В чем измеряется полоса пропускания линии передачи?
4. Каковы современные скорости передачи данных?
5. Опишите характеристики коаксиального кабеля.
6. Опишите характеристики кабеля на витой паре.
7. Опишите характеристики оптоволоконного кабеля.
8. Какие знаете технологии передачи сигналов?
9. Какие знаете основные характеристики линий связи?
10. Характеристики беспроводных сред передачи данных.

Практическая работа № 2

Тема: Пропускная способность вычислительных сетей IoT

Цель: научиться определять теоретическую пропускную способность линии.

Материальное обеспечение: инструкция к практической работе, калькулятор.

Теоретическая часть:

Пропускная способность. Определение пропускной способности. Пропускная способность (количество бит информации, передаваемое в единицу времени) и достоверность передачи данных (вероятность доставки неискаженного бита или же вероятность искажения бита) интересуют разработчика компьютерной сети в первую очередь, поскольку эти характеристики прямо влияют на производительность и надежность создаваемой сети.

Пропускная способность и достоверность передачи данных зависят, с одной стороны, от характеристик физической среды, а с другой — определяются характеристиками способа передачи данных. Следовательно, нельзя говорить о пропускной способности линии связи, до того, как для нее определен протокол физического уровня. Например, поскольку для цифровых линий всегда определен протокол физического уровня, задающий битовую скорость передачи данных, то для них всегда известна и пропускная способность — 64 Кбит/с, 2 Мбит/с и т. п.

В тех же случаях, когда только предстоит определить, какой из множества существующих протоколов можно использовать на данной линии, очень важными являются остальные характеристики линии, такие как полоса пропускания, перекрестные наводки, помехоустойчивость и другие характеристики.

Пропускная способность (throughput) линии характеризует максимально возможную скорость передачи данных по линии связи. Пропускная способность измеряется в битах в секунду (бит/с), а также в производных единицах, таких как килобит в секунду (Кбит/с), мегабит в секунду (Мбит/с), гигабит в секунду (Гбит/с) и т. д.

Пропускная способность линий связи и коммуникационного сетевого оборудования традиционно измеряется в битах в секунду, а не в байтах в секунду. Это связано с тем, что данные в сетях передаются последовательно, то есть побитно, а не параллельно, байтами, как это происходит между устройствами внутри компьютера. Такие единицы измерения, как килобит, мегабит или гигабит, в сетевых технологиях строго соответствуют степеням 10 (то есть килобит — это 1000 бит, а мегабит — это 1 000 000 бит), как это принято во всех отраслях науки и техники, а не близким к этим числам степеням 2, как это принято в программировании, где приставка «кило» равна $2^{10} = 1024$, а «мега» — $2^{20} = 1\,048\,576$.

Пропускная способность линии связи зависит не только от ее характеристик, таких как затухание и полоса пропускания, но и от спектра передаваемых сигналов. Если значимые гармоники сигнала (то есть те гармоники, амплитуды которых вносят основной вклад в результирующий

сигнал) попадают в полосу пропускания линии, то такой сигнал будет хорошо передаваться данной линией связи и приемник сможет правильно распознать информацию, отправленную по линии передатчиком (рис.1, а). Если же значимые гармоники выходят за границы полосы пропускания линии связи, то сигнал будет значительно искажаться, приемник будет ошибаться при распознавании информации, а значит, информация не сможет передаваться с заданной пропускной способностью (рис.1, б).

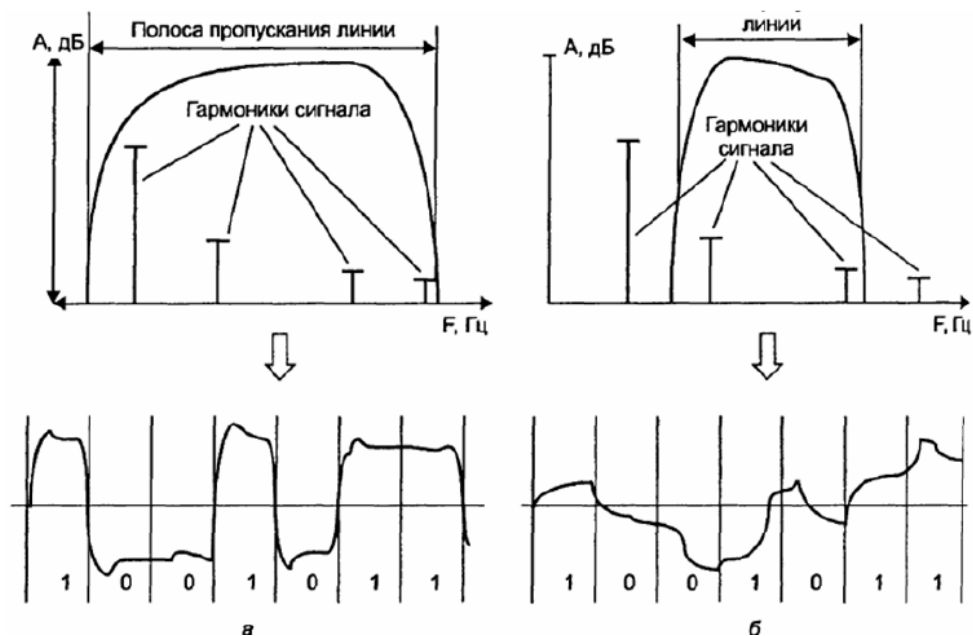


Рисунок 1 Соответствие между полосой пропускания линии связи и спектром сигнала

Выбор способа представления дискретной информации в виде сигналов, подаваемых на линию связи, называется *физическим*, или *линейным*, *кодированием*. От выбранного способа кодирования зависит спектр сигналов и, соответственно, пропускная способность линии. Таким образом, для одного способа кодирования линия может обладать одной пропускной способностью, а для другого — другой. Например, витая пара категории 3 может передавать данные с пропускной способностью 10 Мбит/с при способе кодирования стандарта физического уровня 10Base-T и 33 Мбит/с при способе кодирования стандарта 100Base-T4. В примере, приведенном на рис.4.1, принят следующий способ кодирования: логическая 1 представлена на линии положительным потенциалом, а логический 0 — отрицательным.

Теория информации говорит, что любое различимое и непредсказуемое изменение принимаемого сигнала несет в себе информацию. В соответствии с этим прием синусоиды, у которой амплитуда, фаза и частота остаются неизменными, информации не несет, так как изменение сигнала хотя и происходит, но является хорошо предсказуемым. Аналогично, не несут в себе информации импульсы на тактовой шине компьютера, так как их изменения также постоянны во времени. А вот импульсы на шине данных предсказать заранее нельзя, поэтому они переносят информацию между отдельными блоками или устройствами компьютера.

Большинство способов кодирования используют изменение какого-либо параметра периодического сигнала — частоты, амплитуды и фазы синусоиды или же знак потенциала последовательности импульсов. Периодический сигнал, параметры которого изменяются, называют *несущим сигналом* или *несущей частотой*, если в качестве такого сигнала используется синусоида.

Если сигнал изменяется так, что можно различить только два его состояния, то любое его изменение будет соответствовать наименьшей единице информации — биту. Если же сигнал может иметь более двух различных состояний, то любое его изменение будет нести несколько битов информации.

Количество изменений информационного параметра несущего периодического сигнала в секунду измеряется в *бодах (baud)*. Период времени между соседними изменениями информационного сигнала называется тактом работы передатчика.

Пропускная способность линии в битах в секунду в общем случае не совпадает с числом бод. Она может быть как выше, так и ниже числа бод, и это соотношение зависит от способа кодирования.

Если сигнал имеет более двух различных состояний, то пропускная способность в битах в секунду будет выше, чем число бод. Например, если информационными параметрами являются фаза и амплитуда синусоиды, причем различаются 4 состояния фазы в 0, 90, 180 и 270° и два значения амплитуды сигнала, то информационный сигнал может иметь 8 различных состояний. В этом случае модем, работающий со скоростью 2400 бод (с тактовой частотой 2400 Гц), передает информацию со скоростью 7200 бит/с, так как при одном изменении сигнала передается три бита информации.

При использовании сигналов с двумя различными состояниями может наблюдаться обратная картина. Это часто происходит потому, что для надежного распознавания приемником пользовательской информации каждый бит в последовательности кодируется путем нескольких изменений информационного параметра несущего сигнала. Например, при кодировании единичного значения бита импульсом положительной полярности, а нулевого значения бита импульсом отрицательной полярности физический сигнал дважды изменяет свое состояние при передаче каждого бита. При таком кодировании пропускная способность линии в два раза ниже, чем число бод, передаваемое по линии.

На пропускную способность линии оказывает влияние не только физическое, но и логическое кодирование. *Логическое кодирование* выполняется до физического кодирования и подразумевает замену битов исходной информации новой последовательностью битов, несущей ту же информацию, но обладающей, кроме этого, дополнительными свойствами, например возможностью для приемной стороны обнаруживать ошибки в принятых данных. Сопровождение каждого байта исходной информации одним битом четности — это пример очень часто применяемого способа логического кодирования при передаче данных с помощью модемов. Другим примером логического кодирования может служить шифрование данных, обеспечивающее их конфиденциальность при передаче через общественные каналы связи. При логическом кодировании чаще всего исходная последовательность бит заменяется более длинной последовательностью, поэтому пропускная способность канала по отношению к полезной информации при этом уменьшается.

Связь между пропускной способностью и полосой пропускания линии. Чем выше частота несущего периодического сигнала, тем больше информации в единицу времени передается по линии и тем выше пропускная способность линии при фиксированном способе физического кодирования. Однако, с другой стороны, с увеличением частоты периодического несущего сигнала увеличивается и ширина спектра этого сигнала, то есть разность между максимальной и минимальной частотами того набора синусоид, которые в сумме дадут выбранную для физического кодирования последовательность сигналов. Линия передает этот спектр синусоид с теми искажениями, которые определяются ее полосой пропускания. Чем больше несоответствие между полосой пропускания линии и шириной спектра передаваемых информационных сигналов, тем больше сигналы искажаются и тем вероятнее ошибки в распознавании информации принимающей стороной, а значит, скорость передачи информации на самом деле оказывается меньше, чем можно было предположить.

Связь между полосой пропускания линии и ее максимально возможной пропускной способностью, вне зависимости от принятого способа физического кодирования, установил Клод Шеннон:

$$C = F \log_2 (1 + P_c/P_{ш})$$

Здесь C – максимальная пропускная способность линии в битах в секунду, F – ширина полосы пропускания линии в герцах, P_c – мощность сигнала, $P_{ш}$ – мощность шума.

Из этого соотношения видно, что хотя теоретического предела пропускной способности линии с фиксированной полосой пропускания не существует, на практике такой предел имеется. Действительно, повысить пропускную способность линии можно за счет увеличения мощности передатчика или же уменьшения мощности шума (помех) на линии связи. Обе эти составляющие поддаются изменению с большим трудом. Повышение мощности передатчика ведет к значительному увеличению его габаритов и стоимости. Снижение уровня шума требует применения специальных кабелей с хорошими защитными экранами, что весьма дорого, а также снижения шума в передатчике и промежуточной аппаратуре, чего достичь весьма не просто. К тому же влияние мощностей полезного сигнала и шума на пропускную способность ограничено логарифмической зависимостью, которая растет далеко не так быстро, как прямопропорциональная. Так, при достаточно типичном исходном отношении мощности сигнала к мощности шума в 100 раз повышение мощности передатчика в два раза даст только 15 % увеличения пропускной способности линии.

Близким, по сути, к формуле Шеннона является другое соотношение, полученное Найквистом, которое также определяет максимально возможную пропускную способность линии связи, но без учета шума на линии:

$$C = 2 F \log_2 M$$

Здесь M — количество различных состояний информационного параметра.

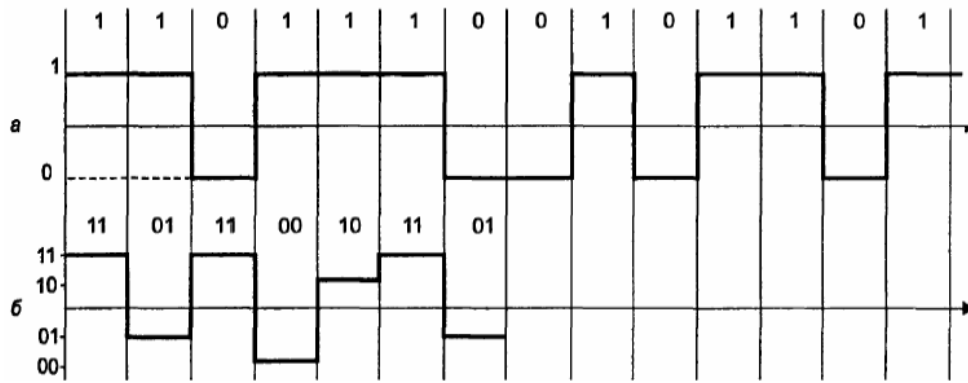


Рисунок 2 Повышение скорости передачи за счет дополнительных состояний сигнала

Если сигнал имеет два различных состояния, то пропускная способность равна удвоенному значению ширины полосы пропускания линии связи (рис.2, а). Если же передатчик использует более двух устойчивых состояний сигнала для кодирования данных, то пропускная способность линии повышается, так как за один такт работы передатчик передает несколько битов исходных данных, например два бита при наличии четырех различных состояний сигнала (рис. 2,б).

Хотя формула Найквиста явно не учитывает наличие шума, косвенно его влияние отражается в выборе количества состояний информационного сигнала. Для повышения пропускной способности канала хотелось бы увеличить это количество до значительных величин, но на практике мы не можем этого сделать из-за шума на линии. Например, для примера, приведенного на рис. 3.2, можно увеличить пропускную способность линии еще в два раза, применив для кодирования данных не 4, а 16 уровней. Однако если амплитуда шума часто превышает разницу между соседними 16-ю уровнями, то приемник не сможет устойчиво распознавать передаваемые данные. Поэтому количество возможных состояний сигнала фактически ограничивается соотношением мощности сигнала и шума, а формула Найквиста определяет предельную скорость передачи данных в том случае, когда количество состояний уже выбрано с учетом возможностей устойчивого распознавания приемником.

Пропускная способность линии связи является одной из ее важнейших потребительских характеристик, так как она говорит о том, с какой максимальной скоростью пользователь может передавать по этой линии дискретные данные.

Пропускная способность линии связи зависит от ее внутренних параметров, в частности – полосы пропускания, внешних параметров – уровня помех и степени ослабления помех, а также принятого способа кодирования дискретных данных.

Формула Шеннона определяет максимально возможную пропускную способность линии связи при фиксированных значениях полосы пропускания линии и отношении мощности сигнала к шуму.

Формула Найквиста выражает максимально возможную пропускную способность линии связи через полосу пропускания и количество состояний информационного сигнала.

Задание:

1. Постройте график зависимости максимальной пропускной способности от отношения $P_c/P_{ш}$, используя формулу Шеннона. Чему равно значение $P_c/P_{ш}$, если значения максимальной пропускной способности (C) и ширина полосы пропускания (F) равны значениям указанным в таблице согласно варианту.

Вариант	Параметры	Вариант	Сигнал
1	$C=10,19,44$ Кбит/с, $F=10$ КГц	11	$C=14,29,54$ Кбит/с, $F=15$ КГц
2	$C=11,20,45$ Кбит/с, $F=15$ КГц	12	$C=15,30,55$ Кбит/с, $F=25$ КГц
3	$C=12,21,46$ Кбит/с, $F=20$ КГц	13	$C=10,31,56$ Кбит/с, $F=35$ КГц
4	$C=13,22,47$ Кбит/с, $F=25$ КГц	14	$C=11,20,57$ Кбит/с, $F=45$ КГц
5	$C=14,23,48$ Кбит/с, $F=30$ КГц	15	$C=12,21,58$ Кбит/с, $F=9$ КГц
6	$C=15,24,49$ Кбит/с, $F=10$ КГц	16	$C=13,22,59$ Кбит/с, $F=8$ КГц
7	$C=10,25,50$ Кбит/с, $F=20$ КГц	17	$C=14,23,60$ Кбит/с, $F=11$ КГц
8	$C=11,26,51$ Кбит/с, $F=30$ КГц	18	$C=15,24,61$ Кбит/с, $F=12$ КГц
9	$C=12,27,52$ Кбит/с, $F=40$ КГц	19	$C=10,25,62$ Кбит/с, $F=13$ КГц
10	$C=13,28,53$ Кбит/с, $F=10$ КГц	20	$C=11,26,63$ Кбит/с, $F=14$ КГц

2. Определите пропускную способность канала связи для каждого из направлений дуплексного режима, если известны его полоса пропускания (F), а в методе кодирования используется M состояний сигнала?

Вариант	Параметры	Вариант	Сигнал
1	$M=10, F=100$ КГц	11	$M=14, F=150$ КГц
2	$M=11, F=150$ КГц	12	$M=15, F=250$ КГц
3	$M=12, F=200$ КГц	13	$M=10, F=350$ КГц
4	$M=13, F=250$ КГц	14	$M=11, F=450$ КГц
5	$M=14, F=300$ КГц	15	$M=12, F=90$ КГц
6	$M=15, F=100$ КГц	16	$M=13, F=80$ КГц
7	$M=10, F=200$ КГц	17	$M=14, F=110$ КГц
8	$M=11, F=300$ КГц	18	$M=15, F=120$ КГц
9	$M=12, F=400$ КГц	19	$M=10, F=130$ КГц
10	$M=13, F=100$ КГц	20	$M=11, F=140$ КГц

3. Каким будет предел скорости передачи данных в битах в секунду по каналу с заданными согласно варианту параметрами: шириной полосы пропускания (F), мощностью передатчика (P_c) и мощностью шума в канале ($P_{ш}$)?

4.

Вариант	Параметры	Вариант	Сигнал
1	$P_c=0,01\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0001\text{мВт}$, $F=10\text{ КГц}$	11	$P_c=0,015\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0009\text{мВт}$, $F=15\text{ КГц}$
2	$P_c=0,02\text{мВт}$, $P_{ш}=0,00015\text{мВт}$, $F=15\text{ КГц}$	12	$P_c=0,025\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0015\text{мВт}$, $F=25\text{ КГц}$
3	$P_c=0,03\text{мВт}$, $P_{ш}=0,00017\text{мВт}$, $F=20\text{ КГц}$	13	$P_c=0,035\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0002\text{мВт}$, $F=35\text{ КГц}$
4	$P_c=0,04\text{мВт}$, $P_{ш}=0,00019\text{мВт}$, $F=25\text{ КГц}$	14	$P_c=0,045\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0003\text{мВт}$, $F=45\text{ КГц}$
5	$P_c=0,05\text{мВт}$, $P_{ш}=0,00011\text{мВт}$, $F=30\text{ КГц}$	15	$P_c=0,055\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0004\text{мВт}$, $F=9\text{ КГц}$
6	$P_c=0,06\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0001\text{мВт}$, $F=10\text{ КГц}$	16	$P_c=0,065\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0005\text{мВт}$, $F=8\text{ КГц}$
7	$P_c=0,07\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0011\text{мВт}$, $F=20\text{ КГц}$	17	$P_c=0,075\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0006\text{мВт}$, $F=11\text{ КГц}$
8	$P_c=0,08\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0003\text{мВт}$, $F=30\text{ КГц}$	18	$P_c=0,085\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0007\text{мВт}$, $F=12\text{ КГц}$
9	$P_c=0,09\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0005\text{мВт}$, $F=40\text{ КГц}$	19	$P_c=0,095\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0008\text{мВт}$, $F=13\text{ КГц}$
10	$P_c=0,1\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0007\text{мВт}$, $F=10\text{ КГц}$	20	$P_c=0,01\text{мВт}$, $P_{ш}=0,0009\text{мВт}$, $F=14\text{ КГц}$

5. Воспользовавшись формулой Шеннона, определите отношение $P_c/P_{ш}$, если известно, что максимальная теоретическая пропускная способность оптоволоконного кабеля составляет $10 \cdot 10^{15}$, $20 \cdot 10^{15}$ и $40 \cdot 10^{15}$ бит/с, а ширина полосы пропускания равна $6 \cdot 10^{15}$ Гц.

Содержание отчета:

1. Тема.
2. Цель.
3. Материальное обеспечение.
4. Практическое задание.
5. Ответы на вопросы самоконтроля.

Практическая работа № 3

Тема: Расчет затухания сигнала на линиях проводного вещания

Цель: определить уровень затухания электрического сигнала при различных структурах сети проводного вещания

Материальное обеспечение: инструкция к практической работе, калькулятор.

Теоретическая часть:

Оптический сигнал по мере распространения в оптоволокне затухает. Потери светового излучения в оптическом волокне можно разделить на:

-Потери на поглощение в инфракрасной области спектра, обусловленные хвостами резонансов атомов в кристаллической решетке;

-Потери на поляризацию оптического сигнала материалом световода;

-Потери на рассеяние Релея, определяющееся главным образом неоднородностями показателя преломления, которые возникают в процессе варки стекла, а также изменении размеров поперечного сечения ОВ, образованием неровностей на границе сердцевина-оболочка;

-Потери за счет наличия примесей возникают за счет поглощения энергии на резонансных частотах ионами примесей (в большей степени ионами гидроксильной группы ОН- и ионами металлов Fe²⁺, Cu²⁺, Cr³⁺). При этом в области резонансов собственных колебаний ионов примесей имеют место всплески поглощения.

-Дополнительные потери на микроизгибах оптоволокна;

-Потери в защитной оболочке возникают за счет того, что при полном внутреннем отражении часть энергии просачивается во внешнее пространство, окружающее ОВ и затухает по экспоненциальному закону;

-Потери термомеханического характера, обусловленные различием в температурных коэффициентах удлинения стекла и материала защитной оболочки, в силу чего в ОВ появляются внутренние механические напряжения, приводящие к увеличению затухания оптических сигналов.

-Потери в местах сварки строительных длин кабеля (неразъемных соединений, сростках) и в разъемных соединениях.

Необходимо также учитывать ухудшение характеристик компонентов участка трассы со временем.

Исходя из вышеприведенных положений, для инженерных расчетов применяют следующую формулу, которая с достаточной точностью позволяет определить затухание кабельной магистрали:

$$\alpha = L \cdot \alpha + n_{\text{ср}} \cdot a_{\text{ср}} + n_{\text{рс}} \cdot a_{\text{рс}} + \alpha_t + \alpha_z$$

где L - длина кабеля, км;

α - коэффициент затухания в световодах, дБ/км;

$n_{\text{ср}}$ - число сростков (неразъемных соединителей);

$a_{\text{ср}}$ - затухание в сростках (равно 0,02 дБ), дБ;

$n_{\text{рс}}$ - число разъемных соединителей;

$a_{\text{рс}}$ - затухание в разъемных соединителях, дБ;

α_t - допуск на температурные изменения затухания оптического волокна, дБ (для территорий СНГ данным параметром пренебрегают);

α_z - эксплуатационный запас (принимается равным от 6 до 10 дБ), дБ.

Минимальное количество сростков на регенерационном участке определяется как:

$$n_{\text{ср}} = \frac{L}{L_{\text{стр}}} - 1$$

где $L_{\text{стр}}$ - строительная длина кабеля, км.- длина участка, км.

Задание:

Участок имеет протяженность 140 км. Строительная длина кабеля 4 км. Число разъемных соединителей на ст.Василевичи- Жидковичи-4, на ст. Калинковичи 2 соединителя;

Определить расчет затухания на протяжении всего участка и рассчитать затухание сигнала при прохождении сигнала через весь участок регенерации.

Порядок выполнения работы:

Расчет затухания будем производить для заданного участка. Этот участок Василевичи - Калинковичи - Жидковичи. Данный участок имеет протяженность 140 км.

Примем строительную длину кабеля равной 4 км. Произведем расчет количества сростков

$$n_{\text{ср}} = \frac{140}{4} - 1 = 34$$

Максимально допустимая длина регенерационного участка определяется чувствительностью системы передачи и рассчитывается по формуле

$$L_y = \frac{\mathcal{E}_{\text{max}} - (\alpha_z + n_{\text{рс}} \cdot \alpha_{\text{рс}} + \alpha_t)}{\alpha_{\text{св}} + \frac{\alpha_{\text{ср}}}{L_{\text{стр}}}}$$

где \mathcal{E}_{max} - максимальная энергетический потенциал ВОЛС, определяется характеристиками аппаратуры, примем данную характеристику равной 33 дБ, для выбранной аппаратуры.

α_z - эксплуатационный запас в ВОЛС, необходимый для компенсации потери мощности сигнала, связанной с проведением ремонтных и дополнительных работ на кабеле, ухудшением параметров оптического волокна и аппаратуры приема-передачи, а также других отклонений параметров участка в процессе эксплуатации; $n_{\text{рс}}$ - число разъемных соединителей, применим 4 разъемных соединителя, на каждой станции, на ст. Калинковичи 2 соединителя;

$\alpha_{\text{рс}}$ - затухание в разъемных соединителях, $\alpha_{\text{рс}} = 0,3$ дБ;

$\alpha_{\text{св}}$ - коэффициент затухания в световодах.

В качестве оптоволоконного кабеля будем использовать ОКБ - М. Он имеет затухание:

на длине волны 1,31 мкм - $< 0,35$ дБ/км

на длине волны 1,55 мкм - $< 0,22$ дБ/км;

Произведем расчет для длины волны 1,31 мкм

$\alpha_{\text{ср}}$ - затухание в сварных соединениях (сростках);

α_t - допуск на температурные изменения затухания оптического волокна, дБ.
 Допуском на температурные изменения в расчетах для климатической зоны Республики Беларусь будем пренебрегать. Таким образом, получим

$$L_y = \frac{33 - (9 + 8 \cdot 0,3 + 0)}{0,35 + \frac{0,02}{4}} \approx 61 \text{ км}$$

Произведем расчет количества оптических усилителей по формуле:

$$n = \frac{L}{L_y} \quad n = \frac{140}{61} = 2$$

Таким образом, как видно из расчетов, необходимое число регенераторов равно 2.

Произведем расчет затухания на протяжении всего участка:

$$\alpha = 140 \cdot 0,35 + 34 \cdot 0,02 + 8 \cdot 0,3 + 0 + 9 = 61,08 \text{ дБ}$$

Рассчитаем затухание сигнала при прохождении сигнала через весь участок регенерации:

$$\alpha = 61 \cdot 0,35 + 34 \cdot 0,02 + 4 \cdot 0,3 + 0 + 9 = 32,17 \text{ дБ}$$

Нарисуем структурную схему участка с изображенными на ней регенераторами и срезками кабеля. Схема участка приведена на рисунке 1.

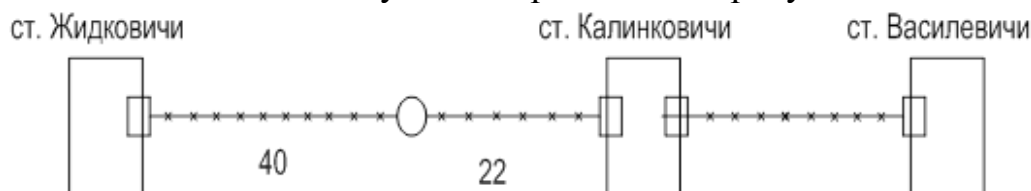


Рисунок 1 - Схема участка

Содержание отчета:

1. Тема.
2. Цель.
3. Материальное обеспечение.
4. Практическое задание.
5. Ответы на вопросы самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля:

1. Каковы физические причины затухания электромагнитной волны при ее распространении по линии связи?
2. Из каких слагаемых состоит коэффициент затухания и какова их зависимость от частоты?
3. Каково влияние затухания сигналов в линии связи на качество, экономичность и дальность связи?
4. В чём состоит разница между рабочим и собственным затуханиями и каково их соотношение друг с другом?
5. Какие виды неоднородностей существуют в линиях связи и каково их влияние на передачу сигналов?
6. Расскажите о существующих приборах для измерения затухания в линиях связи.

Практическая работа № 4

Тема: Преобразование единиц измерения в беспроводных сетях. Расчет беспроводной линии связи.

Цель: Ознакомиться и изучить основные формулы для преобразования единиц измерения в беспроводных сетях; научиться переводить одни единицы измерения в другие; научиться оценивать пригодность линии связи для выявления возможных проблем в ходе установки беспроводного оборудования.

Материальное обеспечение: инструкция к практической работе, калькулятор.

Теоретическая часть:

Преобразование единиц измерения в беспроводных сетях

При расчете различных параметров беспроводных сетей, часто приходится выполнять преобразование одних единиц измерения в другие. Проблема состоит в том, что в технических описаниях и законодательных актах, регулирующих использование радиочастотного спектра в России, присутствуют как линейные (Ватты, Вт), так и логарифмические (децибелы) единицы измерения. Децибелы являются логарифмическими единицами измерения уровней мощности, затухания и усиления сигналов. В децибелах принято измерять затухание волны при распространении в поглощающей среде, коэффициент усиления антенны, отношение сигнал/шум. Русское обозначение единицы «децибел» – «дБ», международное – «dB». Децибел является безразмерной относительной величиной, предназначенной для измерения отношения двух одноименных величин с применением к полученному отношению логарифмического масштаба. Для оценки отношения мощностей сигнала, величина, выраженная в дБ, вычисляется по формуле:

$$\text{дБ} = 10 \lg \frac{P_1}{P_0}, (1)$$

где P_1 – измеренная мощность, P_0 – мощность, принятая за основу. В отличие от безразмерного децибела, для выражения абсолютных значений мощности используются dBm (дБм) и dBW (дБВт). Для этого достаточно условиться, какой уровень измеряемой физической величины будет принят за основу (условный 0 дБ). В dBm (дБм) обычно выражается мощность передатчика. За нулевой уровень дБм принята мощность в 1 мВт. Для перевода мощности из мВт в дБм необходимо выполнить следующее вычисление:

$$P_{\text{trdBm}} = 10 \lg \frac{P_{\text{trmW}}}{1\text{mW}}, (2)$$

где P_{trdBm} – мощность передатчика, выраженная в дБм, P_{trmW} – мощность передатчика, выраженная в мВт. Обратное преобразование из дБм в мВт выполняется по формуле:

$$P_{trmW} = 10^{\frac{P_{trdBm}}{10}}, (3)$$

где P_{trdBm} – мощность передатчика, выраженная в дБм, P_{trmW} – мощность передатчика, выраженная в мВт. В dBW (дБВт) за нулевой уровень принята мощность в 1 Вт. Формулы для перевода аналогичны вышеприведенным с той разницей, что в качестве нулевого уровня выбрана величина 1 Вт, а измеренная мощность также должна выражаться в ваттах. dBi (дБи) – изотропный децибел (децибел относительно изотропного излучателя). Характеризует коэффициент усиления антенны относительно коэффициента направленного действия изотропного излучателя. Как правило, если не оговорено специально, характеристики усиления реальных антенн даются именно относительно усиления изотропного излучателя. Децибелы являются нелинейными единицами измерения. Поэтому, когда говорят, например, об удвоении мощности, равной 100 мВт (20 дБм), это не означает, что мощность увеличилась до 40 дБм. 40 дБм соответствует 10 000 мВт. Увеличение мощности в мВт в 2 раза эквивалентно прибавлению к мощности в дБм 3 дБм. Уменьшение мощности в мВт в 2 раза эквивалентно вычитанию из мощности в дБм 3 дБм. Следовательно, при увеличении мощности 100 мВт в 2 раза, необходимо сложить 20 дБм и 3 дБм и получим мощность 23 дБм.

Расчет беспроводной линии связи

Проектирование беспроводных сетей практически невозможно без оценки пригодности линии связи, т.к. эта оценка имеет большое значение для выявления возможных проблем в ходе установки. Наличие хорошего энергетического потенциала является базовым условием для нормального функционирования линии связи.

Энергетический потенциал (Link budget) беспроводной линии связи учитывает все усиления и потери уровня сигнала при его распространении от передатчика к приемнику через беспроводную среду передачи, кабели, разъемы и различные препятствия (стены, потолки, деревья и т.д.).

Полное уравнение энергетического потенциала линии связи можно записать следующим образом:

$$P_{tr} - L_{tr} + G_{tr} - L_{bf} + G_{recv} - L_{recv} = SOM + P_{recv}, (1)$$

где:

P_{tr} – мощность передатчика, дБм (dBm);

L_{tr} – потери сигнала в антенном кабеле и разъемах передающего тракта, дБ (dB);

G_{tr} – коэффициент усиления передающей антенны, дБ (dBi);

L_{bf} – потери передачи в свободном пространстве, дБ (dB);

G_{recv} – коэффициент усиления приемной антенны, дБ (dBi);

L_{recv} – потери сигнала в антенном кабеле и разъемах приемного тракта, дБ (dB);

SOM – запас на замирание сигнала (SOM, System Operating Margin), дБ (dB);

P_{recv} – чувствительность приемника при данной скорости передачи, дБм (dBm).

Потери в свободном пространстве для линии связи с изотропными антеннами можно рассчитать с помощью следующей формулы:

$$L_{bf} = 20 \lg F + 20 \lg D + K \text{ (дБ)}, (2)$$

где:

L_{bf} – основные потери передачи в свободном пространстве;
 F – центральная частота канала, на котором работает система связи;
 D – расстояние между двумя антеннами;
 K – константа, которая зависит от единиц измерения частоты и расстояния.
 Константа в выражении может меняться в зависимости от того, в каких единицах выражены частота и расстояние:

- для частоты, выраженной в ГГц, и расстояния, измеряемого в километрах, константа равна 92,45;
- для частоты, выраженной в МГц, и расстояния, измеряемого в километрах, константа равна 32,4;
- для частоты, выраженной в МГц, и расстояния, измеряемого в метрах, константа равна -27,55.

Для других типов антенн следует учитывать коэффициент усиления. В результате выражение для потерь в свободном пространстве примет следующий вид:

$$L_{bf}=20\lg F+20\lg D-G_{tr}-G_{recv}+K(\text{дБ}), (3)$$

где:

L_{bf} – основные потери передачи в свободном пространстве;
 F – центральная частота канала, на котором работает система связи;
 D – расстояние между двумя антеннами;
 G_{tr} – коэффициент усиления передающей антенны;
 G_{recv} – коэффициент усиления приемной антенны;
 K – константа, которая зависит от единиц измерения частоты и расстояния.

Надежность работы беспроводной линии связи в первую очередь определяется энергетическим запасом на быстрые и медленные замирания. Поэтому при ее расчете обязательно должен быть предусмотрен резерв на компенсацию этих замираний - запас на замирание сигнала (SOM). SOM определяется как разница между уровнем фактически принимаемого сигнала и чувствительностью приемника, которая зависит от выбранного типа модуляции.

$$SOM=Ptr-Ltr+Gtr-Lbf+Grecv-Lrecv-Precv, (4)$$

где:

SOM – запас на замирание сигнала (SOM, System Operating Margin), дБ (dB);
 Ptr – мощность передатчика, дБм (dBm);
 Ltr – потери сигнала в антенном кабеле и разъемах передающего тракта, дБ (dB);
 Gtr – коэффициент усиления передающей антенны, дБ (dBi);
 Lbf – потери передачи в свободном пространстве, дБ (dB);
 $Grecv$ – коэффициент усиления приемной антенны, дБ (dBi);
 $Lrecv$ – потери сигнала в антенном кабеле и разъемах приемного тракта, дБ (dB);
 $Precv$ – чувствительность приемника на данной скорости передачи, дБм (dBm).

Чем выше SOM, тем надежнее беспроводная линия связи. Считается, минимальная величина запаса на замирание должна быть не меньше 10 дБ и этого достаточно для инженерного расчета, но на практике часто используют значение 20 - 30 дБ.

Для эффективной связи с помощью сантиметровых волн надо обеспечить беспрепятственную линию прямой видимости между передатчиком и приемником. Однако это не всегда возможно, особенно при построении

беспроводных сетей вне помещений. Для определения того, сколько пространства должно быть свободно от преград на линии связи между передатчиком и приемником используется такое понятие, как зона Френеля (Fresnel zone).

Ближайшая к линии, соединяющей передатчик с приемником, зона называется первой зоной Френеля. Все естественные (земля, холмы, деревья) и искусственные (здания, столбы) препятствия, попадающие в нее, оказывают наиболее негативное влияние на уровень сигнала в результате отражения, преломления, рассеивания или дифракции. При этом, чем длиннее линия связи, тем важнее становится вычисление радиуса первой зоны Френеля. Для любой точки радиолинии радиус первой зоны Френеля можно найти по формуле:

$$R = 17,32 \sqrt{\frac{S_1 \times S_2}{F \times (S_1 + S_2)}} \quad (5)$$

где:

R – радиус первой зоны Френеля, м;

S_1 – расстояние от антенны передатчика до самой высшей точки предполагаемого препятствия, км;

S_2 – расстояние от самой высшей точки предполагаемого препятствия до антенны приемника, км;

F – частота, ГГц.

Учитывая тот факт, что максимальный радиус первая зона Френеля имеет в точке, равноудаленной от обеих антенн, получим упрощенную формулу для его вычисления:

$$R = 17,32 \sqrt{\frac{D}{4F}} \quad (\text{м}), \quad (6)$$

где:

R – радиус первой зоны Френеля, м;

D – расстояние между антеннами, км;

F – частота, ГГц.

Если в области, радиус которой составляет 60% первой зоны Френеля, нет преград, то при расчете радиолинии можно ограничиться учетом потерь сигнала в свободном пространстве. Чтобы достичь этого, высота подвеса антенн приемника и передатчика должна быть такой, чтобы вдоль радиолинии не было ни одной точки, расстояние от которой до препятствия было бы меньше, чем 0,6 радиуса первой зоны Френеля. Следует отметить, что земля также является одним из препятствий. Для упрощенного вычисления радиуса области, составляющего 60% радиуса первой зоны Френеля, умножим выражение предыдущей формулы на коэффициент 0,6:

$$R(60) = 10,4 \sqrt{\frac{D}{4F}} \text{ (м)}, (7)$$

Другие источники устанавливают более жесткие требования: преграды должны отсутствовать в 80% первой зоны Френеля. Для упрощенного вычисления радиуса области, составляющего 80% радиуса первой зоны Френеля, нужно умножить выражение для упрощенного вычисления максимального радиуса первой зоны Френеля на коэффициент 0,8:

$$R(80) = 13,86 \sqrt{\frac{D}{4F}} \text{ (м)}, (8)$$

Следует понимать, что радиус первой зоны Френеля не является высотой установки антенн, но используется для ее вычисления. Определяя высоту установки антенн, следует учитывать также кривизну земной поверхности. Ее можно рассчитать, используя формулу:

$$H_{earth} = \frac{D^2}{68} \text{ (м)}, (9)$$

где:

H_{earth} - кривизна земной поверхности, м;

D - расстояние между антеннами, км.

Тогда минимальная высота установки антенн над препятствиями, с учетом того, что 60% первой зоны Френеля свободно от преград, будет вычисляться по формуле:

$$H_{ant} = 10,4 \sqrt{\frac{D}{4F}} + \frac{D^2}{68} \text{ (м)}, (10)$$

где:

H_{ant} - высота установки антенны, м;

D - расстояние между антеннами, км;

F - частота, ГГц.

Если необходимо рассчитать высоту установки антенны при отсутствии препятствий в 80% первой зоны Френеля, то коэффициент 10,4 в формуле (10) надо заменить на 13,86.

Примеры расчета беспроводной линии связи

Пример 1 Оцените возможность работы канала связи длиной 2 км между точкой доступа DAP-3310 и беспроводным клиентом с адаптером DWA-182 на максимальной скорости, поддерживаемой беспроводной сетью (300 Мбит/с). Устройства работают на 6 канале (центральная частота 2437 МГц).

Решение Запишем технические характеристики DAP-3310 и DWA-182:

- Мощность передатчика на всех скоростях DAP-3310: 20 dBm;
- Мощность передатчика DWA-182 на скорости 300 Мбит/с: 15 dBm;
- Мощность передатчика DWA-182 на скорости 1 Мбит/с: 19 dBm;

- Чувствительность DAP-3310 на скорости 300 Мбит/с: -69 dBm;
- Чувствительность DAP-3310 на скорости 1 Мбит/с: -96 dBm;
- Чувствительность DWA-182 на скорости 300 Мбит/с: -61 dBm;
- Чувствительность DWA-182 на скорости 1 Мбит/с: -87 dBm;
- Коэффициент усиления штатной антенны DAP-3310: 10 dBi.
- Коэффициент усиления штатной антенны DWA-182: 0 dBi;
- Потерь в антенно-фидерном тракте, т.е. между беспроводными устройствами и их антеннами, нет (0 дБм).

Примечание: характеристики устройств можно посмотреть на сайте <http://dlink.ru> → Продукты и решения → Беспроводное оборудование. Далее необходимо перейти на страницу DAP-3310 и DWA-182 в раздел Характеристики.

Шаг 1. Оценим линию связи в направлении от точки доступа к клиенту. Найдем потери в свободном пространстве. Подставим значения в формулу (2):

$$20\lg 2437 + 20\lg 2 + 32,4 = 106,2 \text{ дБ}$$

Рассчитаем запас на замирание для скорости 300 Мбит/с. Подставим значения в формулу (4): $SOM = 20 - 0 + 10 - 106,2 + 0 - 0 - 61 = -15,2 \text{ дБ}$

Шаг 2. Оценим линию связи в обратном направлении — от клиента к точке доступа.

Рассчитаем запас на замирание. Подставим значения в формулу (4):

$$SOM = 15 - 0 + 0 - 106,2 + 10 - 0 - 69 = -12,2 \text{ дБ}$$

Вывод: запас на замирание линии связи в обоих направлениях намного меньше 10 дБм, что говорит о ее недостаточном энергетическом потенциале.

ПРИМЕР 2 Определите максимальное расстояние, на котором линия связи между DAP-3310 и DWA-182 будет стабильно работать в обоих направлениях при скоростях передачи 300 Мбит/с и 1 Мбит/с.

РЕШЕНИЕ Формула для расчета дальности связи берется из выражения для потерь в свободном пространстве:

$$D = 10^{\left(\frac{L_{bf} - 20\lg F - K}{20}\right)} \quad (11)$$

Исходя из полного уравнения энергетического потенциала линии связи, потери в свободном пространстве можно вычислить следующим образом:

$$L_{bf} = P_{tr} - L_{tr} + G_{tr} + G_{recv} - L_{recv} - P_{recv} - SOM \quad (12)$$

Шаг 1. Найдем расстояние между устройствами при передаче данных на скорости 300 Мбит/с. Передающее устройство – DAP-3310, принимающее устройство – DWA-182. Значение SOM при расчетах будем брать равным 10 дБ. Потери в свободном пространстве составят:

$$L_{bf} = 20 - 0 + 10 + 0 - 0 - 61 - 10 = 81 \text{ дБ}$$

По формуле (11) находим дальность связи, выраженную в километрах:

$$D = 10^{\left(\frac{81-20\lg(2437)-32,4}{20}\right)} = 0,110 \text{ км} = 110 \text{ м}$$

Сделаем расчет для обратного направления линии связи. Передающее устройство – DWA-182, принимающее устройство – DAP-3310.

Потери в свободном пространстве составят:

$$L_{bf}=15-0+0+10-0- -69 -10=84 \text{ дБ}$$

По формуле (11) находим дальность связи, выраженную в километрах:

$$D = 10^{\left(\frac{84-20\lg(2437)-32,4}{20}\right)} = 0,156 \text{ км} = 156 \text{ м}$$

Вывод: максимальное расстояние между устройствами, при котором они будут стабильно работать на скорости 300 Мбит/с, составляет не более 110 метров.

Шаг 2. Найдем расстояние между устройствами при передаче данных на скорости 1 Мбит/с. Передающее устройство – DAP-3310, принимающее устройство – DWA-182. Потери в свободном пространстве составят:

$$L_{bf}=20-0+10+0-0- -87 -10=107 \text{ дБ}$$

По формуле (11) находим дальность связи, выраженную в километрах:

$$D = 10^{\left(\frac{107-20\lg(2437)-32,4}{20}\right)} = 2,2 \text{ км}$$

Сделаем расчет для обратного направления линии связи. Передающее устройство – DWA-182, принимающее устройство – DAP-3310. Потери в свободном пространстве составят:

$$L_{bf}=19-0+0+10-0- -96 -10=115 \text{ дБ}$$

По формуле (11) находим дальность связи, выраженную в километрах:

$$D = 10^{\left(\frac{115-20\lg(2437)-32,4}{20}\right)} = 5,5 \text{ км}$$

Вывод: максимальное расстояние между устройствами, при котором они будут стабильно работать на скорости 1 Мбит/с составляет не более 2,2 км.

ПРИМЕР 3 Вычислите минимальную высоту установки антенн, чтобы 60% первой зоны Френеля было свободно от препятствий. Расстояние между антеннами равно 2 км. Передача ведется в диапазоне 2,4 ГГц на 6 канале (2437 МГц).

РЕШЕНИЕ

Шаг 1. Рассчитаем радиус первой зоны Френеля. Подставим значения в формулу (6).

$$R = 17,32 \sqrt{\frac{2}{4 \times 2,437}} = 7,84 \text{ м}$$

Шаг 2. Вычислим минимальную высоту установки антенн, чтобы 60% первой зоны Френеля было свободно от препятствий. Подставим значения в формулу (10).

$$H_{ant} = 10,4 \sqrt{\frac{2}{4 \times 2,437} + \frac{2^2}{68}} = 4,76 \text{ м}$$

Задание:

Преобразование единиц измерения в беспроводных сетях

1. Укажите значения дБм для каждого из следующих уровней мощности, выраженных в мВт. За нулевой уровень дБм примите мощность в 1 мВт. Округлите полученное значение до целого числа.

Мощность передатчика, мВт	Мощность передатчика, дБм
97	20
15	
37	
63	
420	
160	
1,6	
250	
900	
2	

Примечание: подставьте значение мощности передатчика в мВт в формулу (2).

Например,

$$10 \lg \frac{97}{1} = 20 \text{ дБм}$$

2. Укажите значения мВт для каждого из следующих уровней мощности, выраженных в дБм. Округлите полученное значение до целого числа.

Мощность передатчика, дБм	Мощность передатчика, мВт
16	40
30	
2	
40	
36	
33	
0	
28	
9	
31	

Примечание: подставьте значение мощности передатчика в дБм в формулу (3).

Например,

$$10^{\frac{16}{10}} = 40 \text{ мВт}$$

3. Мощность передатчика 200 мВт уменьшилась в 4 раза. Вычислите новое значение мощности и выразите его в дБм _____.

Решение: Значение мощности P_1 в 4 раза меньше P_0 , т.е. $P_1=0,25P_0$. Подставим значения в формулу (1):

$$10 \lg 0,25 = -6 \text{ дБм}$$

Значение мощности 200 мВт эквивалентно 23 дБм. Соответственно, 23 дБм - 6 дБм = 17 дБм.

Задачи:

1. Мощность передатчика 63 мВт увеличилась в 32 раза. Вычислите новое значение мощности и выразите его в дБм _____.
2. Мощность передатчика 10 мВт уменьшилась в 10 раз. Вычислите новое значение мощности и выразите его в дБм _____.
3. Мощность передатчика 158 мВт уменьшилась в 5 раз. Вычислите новое значение мощности и выразите его в дБм _____.
4. Мощность передатчика 1000 мВт уменьшилась в 10 раз. Вычислите новое значение мощности и выразите его в дБм _____.
5. Мощность передатчика 200 мВт увеличилась в 6 раз. Вычислите новое значение мощности и выразите его в дБм _____.
6. Мощность передатчика 40 дБм уменьшилась в 100 раз. Вычислите новое значение мощности и выразите его в дБм _____.
7. Мощность передатчика 30 дБм уменьшилась в 1000 раз. Вычислите новое значение мощности и выразите его в дБм _____.
8. Мощность передатчика 20 дБм уменьшилась в 2 раза. Вычислите новое значение мощности и выразите его в дБм _____.
9. Мощность передатчика 16 дБм увеличилась в 4 раза. Вычислите новое значение мощности и выразите его в дБм _____.

Расчета беспроводной линии связи

Примечание: в заданиях, где не указаны модели беспроводных устройств, студентам предлагается выбрать их самостоятельно. Описания и характеристики устройств можно посмотреть на сайте <http://dlink.ru> → Продукты и решения → Беспроводное оборудование. Примечание: потеря в

антенно-фидерном тракте, т.е. между беспроводными устройствами и их антеннами, нет (0 дБм).

Задачи:

1. Определите потери в свободном пространстве на линии связи между точкой доступа и клиентским устройством стандарта 802.11n, работающими на 7 канале (центральная частота 2442 МГц). Расстояние между устройствами – 100 м.
2. Определите потери в свободном пространстве на линии связи между точкой доступа стандарта 802.11n и точкой доступа стандарта 802.11ac, работающими на 64 канале (центральная частота 5320 МГц). Расстояние между устройствами – 200 м.
3. Вычислите радиус первой зоны Френеля. Расстояние между антеннами 15 км. Расстояние от антенны передатчика до самой высшей точки предполагаемого препятствия – 7 км. Передача ведется в диапазоне 2,4 ГГц на 6 канале (центральная частота 2437 МГц).
4. Вычислите минимальную высоту установки антенн, чтобы 80% первой зоны Френеля было свободно от препятствий. Расстояние между антеннами равно 4 км. Передача ведется в диапазоне 5 ГГц на 36 канале (центральная частота 5480 МГц).
5. Определите максимальное расстояние, на котором линия связи между DAP-2310 и DWA-160 будет стабильно работать в обоих направлениях при скоростях передачи 300 Мбит/с и 1 Мбит/с.
6. Определите максимальное расстояние, на котором линия связи между DAP-2660 и DWA-182 будет стабильно работать в обоих направлениях на максимальной скорости, поддерживаемой беспроводной сетью. Передача ведется в диапазоне 5 ГГц.
7. Оцените возможность работы канала связи длиной 7 км между точкой доступа DAP-3662 и беспроводным клиентом с адаптером DWA-182 на минимальной скорости, поддерживаемой беспроводной сетью. Устройства работают на 3 канале (центральная частота 2422 МГц). Если энергетический потенциал линии связи окажется недостаточным, подберите другие устройства (точки доступа, антенны), которые обеспечат стабильную связь на расстоянии 7 км.

Содержание отчета:

1. Тема.
2. Цель.
3. Материальное обеспечение.
4. Практическое задание.
5. Ответы на вопросы самоконтроля.

Практическая работа № 5

Тема: Расчет дальности работы беспроводного канала связи 802.11

Цель: Ознакомиться со стандартами IEEE 802.11 и используемыми диапазонами частот. Научиться определять дальность работы канала связи 802.11 в зависимости от требуемой скорости передачи и используемого частотного канала.

Материальное обеспечение: инструкция к практической работе.

Теоретическая часть:

Wi-Fi — торговая марка объединения Wi-Fi Alliance для беспроводных сетей на базе стандарта IEEE 802.11, который объединяет набор стандартов связи для коммуникации в беспроводной локальной сетевой зоне частотных диапазонов 0,9; 2,4; 3,6 и 5 ГГц. Каждый из этих диапазонов разделяется на ряд поддиапазонов, или каналов. В разных странах существуют свои ограничения по использованию частотных диапазонов, поэтому и число доступных для Параметры основных версий технологии 802.11, использующихся на территории РФ, приведены в таблица 1. Для стандартов 802.11n и 802.11ac в скобках указаны скорости одного потока для длительности защитного интервала 800 нс.

Таблица 1 Параметры основных версий технологии 802.11, использующихся на территории РФ

Стандарт	Год	Диап.	Ширина	Скорость потока	Кол.	Метод
802.11		ГГц	канала	Мбит/с	потоков	модуляции
b	1999	2,4	22	1–11	1	DSSS
g	2003	2,4	20	6–54	1	OFDM
n	2009	2,4/5	20	7,2–72,2 (6,5–65)	4	OFDM
			40	15–150 (13,5–135)		
ac	2013	5	20	7,2–96,3 (6,5–86,7)	8	OFDM
			40	15–200 (13,5–180)		
			80	32,5–433,3 (29,2–390)		
			160	65–866,7 (58,5–780)		

Необходимо помнить, что приведенные максимальные скорости для каждой из технологий являются лишь верхним теоретически достижимым порогом. То есть они возможны только при работе точки доступа в идеальных «лабораторных» условиях при отсутствии внешних помех. На практике, да же в благоприятных условиях, реально достижимая скорость передачи может составлять от трети до половины заданной в стандарте максимальной скорости.

Диапазон 2,4 ГГц содержит всего 14 перекрывающихся каналов шириной 22 МГц каждый. Для стандарта 802.11g и более поздних ширина каждого канала установлена равной 20 МГц. Суммарно они занимают полосу частот от 2,401 ГГц до 2,495 ГГц. Распределение каналов по полосе частот приведено на рисунок 1. В этом диапазоне одновременно доступны всего 3 неперекрывающихся 22 МГц канала. Список центральных частот каждого канала приведен в таблице 2.

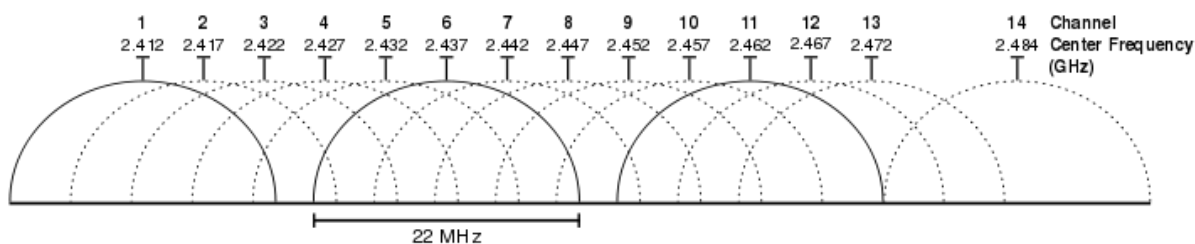


Рисунок 1. Распределение каналов 802.11 по полосе частот в диапазоне 2,4 ГГц

Таблица 2 Центральные частоты каналов 802.11 в диапазоне 2,4 ГГц

Номер канала	Частота МГц	Номер канала	Частота МГц	Номер канала	Частота МГц	Номер канала	Частота МГц
1	2412	5	2432	9	2452	13	2472
2	2417	6	2437	10	2457	14	2484
3	2422	7	2442	11	2462		
4	2427	8	2447	12	2467		

На территории РФ в диапазоне 2,4 ГГц для нелицензированного использования внутри помещений разрешены каналы с 1 по 13. Регламентируется следующими документами

1. Решение ГКРЧ от 7 мая 2007 г. № 07-20-03-001 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия»
2. Решение ГКРЧ от 20 ноября 2014 г. № 14-29-01 «О внесении изменений в решение ГКРЧ от 7 мая 2007 г. № 07-20-03-001 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия»

Диапазон 5 ГГц разделен на четыре поддиапазона.

1. UNII-1: 5150–5250 МГц (доступно 4 частотных канала).
2. UNII-2: 5250–5350 МГц (доступно 4 частотных канала).
3. UNII-2 Extended: 5470–5725 МГц (доступно 11 частотных каналов).
4. UNII-3: 5725–5825 МГц (доступно 4 частотных канала).

Ширина каждого канала установлена равной 20 МГц. Список центральных частот каждого канала приведен в таблице 3.

Таблица 3 Центральные частоты каналов 802.11 в диапазоне 5ГГц

Номер канала	Частота МГц	Номер канала	Частота МГц	Номер канала	Частота МГц	Номер канала	Частота МГц
Поддиапазон UNII-1							
36	5180	40	5200	44	5220	48	5240
Поддиапазон UNII-2							
52	5260	56	5280	60	5300	64	5320
Поддиапазон UNII-2 Extended							
100	5500	112	5560	124	5620	136	5680
104	5520	116	5580	128	5640	140	5700
108	5540	120	5600	132	5660		
Поддиапазон UNII-3							
149	5745	153	5765	157	5785	161	5805

На территории РФ в диапазоне 5 ГГц для нелицензированного использования внутри помещений разрешены каналы с 36 по 64.

При этом, оборудование, работающее в диапазоне 5250–5350 МГц должно быть зарегистрировано в установленном в РФ порядке. Регламентируется теми же решениями ГКРЧ, что и диапазон 2,4 ГГц.

Стандарты 802.11b и 802.11g используют по одному каналу шириной 22

(20) МГц. В стандарте 802.11n могут использоваться каналы шириной 40 МГц (два канала по 20 МГц), при этом одновременно может использоваться четыре таких канала, в теории обеспечивая предельную суммарную скорость до 600 Мбит/с. Учитывая, что в диапазоне 2,4 ГГц всего три непересекающихся 22 МГц канала (или четыре 20 МГц), использовать каналы по 40 МГц рекомендуется только в диапазоне 5 ГГц. Для сосуществования каналов шириной 20/40 МГц точка доступа стандарта 802.11n должна переходить на другой канал или переключаться на использование канала шириной в 20 МГц, если соседняя точка доступа начинает передачу в одной из половин канала 40 МГц. В стандарте 802.11ac могут использоваться каналы шириной 160 МГц (8 • 20 МГц) при одновременной работе до 8 таких каналов. Теоретическая предельная скорость при этом будет равна 6,93 Гбит/с. Главным недостатком широких каналов является большее влияние на них помех и, соответственно, меньшее расстояние передачи данных. Существует также обратная модификация каналов производителями — уменьшение их ширины до 5 или 10 МГц, что позволяет увеличить дальность передачи ценой меньшей скорости.

Метод одновременного использования нескольких каналов, используемый в 802.11n и 802.11ac, получил название MIMO (multiple input multiple output — множественный вход, множественный выход). Повышение пропускной способности происходит за счет передачи сигнала по нескольким частотным каналам и последующего приема с объединением в один поток данных. Это возможно при использовании на каждый поток собственной антенны и своего тракта приема/передачи на каждой стороне. Именно поэтому, точки доступа стандарта 802.11n, имеющие лишь одну антенну, обеспечивают теоретически достижимую скорость лишь 150 Мбит/с (1 канал шириной 40 МГц). Принято пользоваться обозначением $M \times N$, где M — число потоков на передачу, а N — число потоков на прием. Таким образом, для достижения максимально возможных 600 Мбит/с в технологии 802.11n необходимо использовать конфигурацию 4×4 потока MIMO. Точка доступа при этом должна иметь 4 антенны.

Расчет дальности работы беспроводного канала связи 802.11

Расчет дальности беспроводного канала Wi-Fi выводится из формулы (1) расчета потерь в свободном пространстве.

$$FSL = 33 + 20(\lg F + \lg D), \quad (2.1)$$

где FSL (Free Space Loss) — потери в свободном пространстве (дБ); F — центральная частота канала, на котором работает система связи (МГц); D — расстояние между двумя Wi-Fi точками (км).

Следовательно, искомое расстояние D можно определить по формуле (2)

$$D = 10^{\frac{FSL-33}{20} - \lg F}. \quad (2)$$

Потери в свободном пространстве также можно определить по формуле (3), исходя из суммарного усиления системы передачи $Y_{дБ}$.

$$FSL = Y_{дБ} - SOM, \quad (3)$$

где SOM (System Operating Margin) — запас в энергетике радиосвязи (дБ), который учитывает возможные факторы, отрицательно влияющие на дальность связи, такие как:

- температурный дрейф чувствительности приемника и выходной мощности передатчика;
- всевозможные атмосферные явления: туман, снег, дождь;
- рассогласование антенны, приемника, передатчика с антенно-фидерным трактом.

Параметр SOM обычно берется равным 10 дБ. Считается, что такой запас по усилению достаточен для инженерного расчета. Суммарное усиление системы передачи рассчитывается по формуле (4).

$$Y_{дБ} = P_{t,дБм} + G_{t,дБи} + G_{r,дБи} - P_{min,дБм} - L_{t,дБ} - L_{r,дБ}, \quad (4)$$

где $P_{t,дБм}$ — мощность передатчика (паспортные данные устройства); $G_{t,дБи}$ — коэффициент усиления передающей антенны (паспортные данные устройства); $G_{r,дБи}$ — коэффициент усиления приемной антенны (паспортные данные устройства); $P_{min,дБм}$ — чувствительность приемника на данной скорости; $L_{t,дБ}$ — потери сигнала в коаксиальном кабеле и разъемах передающего тракта; $L_{r,дБ}$ — потери сигнала в коаксиальном кабеле и разъемах приемного тракта.

Потери сигнала в коаксиальном кабеле и трактах приема и передачи $L_{t,дБ}$ и $L_{r,дБ}$ необходимо учитывать только при использовании внешних вынесенных антенн. При использовании точек доступа с внутренними или подклю чаемыми напрямую антеннами, этими параметрами можно пренебречь.

В табл. 2.4 приведены средние показатели чувствительности для различных скоростей передачи данных в диапазоне 2,4 ГГц для 802.11g и 5 ГГц для 802.11n (канал 40 МГц).

Таблица 4

Зависимость чувствительности от скорости передачи данных для 802.11g и 802.11n

Скорость Мбит/с	Чувствительность дБм	Скорость Мбит/с	Чувствительность дБм
802.11g 2,4 ГГц			
54	-66	18	-83
48	-71	12	-85
36	-76	9	-86
24	-80	6	-87
802.11n 5 ГГц			
15	-96	90	-86
30	-95	120	-83
45	-92	135	-77
60	-90	150	-74

Пример расчета дальности работы канала связи 802.11

Для примера определим дальность работы канала связи для технологии 802.11n в 40 МГц канале, объединяющем каналы 36 и 40, при скорости передачи, равной 60 Мбит/с.

Исходные данные.

- Мощность передатчика P_t , дБм = 16 дБм
- Коэффициент усиления штатной антенны передатчика G_t , дБи = 3 дБи.
- Коэффициент усиления штатной антенны приемника G_r , дБи = 1 дБи.

Определим суммарное усиление системы передачи по формуле (4).

$$Y_{дБ} = 16 + 3 + 1 - (-90) = 110 \text{ дБ.}$$

По формуле (3) определим потери в свободном пространстве.

$$FSL = 110 - 10 = 100 \text{ дБ.}$$

Центральная полоса частот объединенного 40 МГц канала (36+40) согласно таблицы 3 будет равна

$$F = 5190 \text{ МГц.}$$

Рассчитаем искомое расстояние, согласно формуле (2).

$$D = 10^{\frac{100-33}{20} - \lg 5190} = 0,4313 \text{ км} \approx 431 \text{ м.}$$

Порядок выполнения работы:

1. Выбрать из таблицы 5 согласно своему номеру варианта исходные данные для расчета. Все расчеты проводятся с учетом того, что используются штатные антенны точек доступа. Для технологии 802.11n и для канала 1, и для канала 2 приведены номера только первых 20 МГц «полуканалов» — 40 МГц канал они образуют в совокупности со следующим по порядку 20 МГц каналом.

Таблица 5

Варианты задания (указаны согласно номеру студента в журнале)

№	Pt	Gt	Gr	802.11g	802.11n

вар.	дБм	дБи	дБи	канал 1	канал 2	канал 1	канал 2
1	10	1	2	1	8	36	136
2	11	2	0	2	9	40	128
3	12	3	1	3	10	44	108
4	13	1	3	4	11	52	120
5	14	2	2	5	12	56	132
6	15	3	0	6	13	60	149
7	10	1	1	7	8	100	153
8	11	2	3	1	9	112	157
9	12	3	2	2	10	56	124
10	13	1	0	3	11	36	112
11	14	2	1	4	12	40	136
12	15	3	3	5	13	44	128
13	10	1	2	6	8	52	108
14	11	2	0	7	9	56	120
15	12	3	1	1	10	60	132
16	13	1	3	2	11	100	149
17	14	2	2	3	12	112	153
18	15	3	0	4	13	56	157
19	10	1	1	5	8	36	124
20	11	2	3	6	9	40	112
21	12	3	2	7	10	44	136
22	13	1	0	1	11	52	128
23	14	2	1	2	12	56	108
24	15	3	3	3	13	60	120
25	10	1	2	4	8	100	132
26	11	2	0	5	9	112	149
27	12	3	1	6	10	56	153
28	13	1	3	7	11	36	157
29	14	2	2	1	12	44	124
30	15	3	0	2	13	60	112

2. Для технологии 802.11g (2,4 ГГц) для каждого из заданных 20 МГц каналов рассчитать дальности работы для всех возможных скоростей передачи (таблица 4).
3. Для технологии 802.11n (5 ГГц) для каждого из заданных 40 МГц каналов рассчитать дальности работы для всех возможных скоростей передачи (таблица 4).
4. По полученным значениям дальности построить графики зависимости расстояния передачи от скорости передачи. Все четыре графика должны быть построены на одной плоскости координат.
5. Сделать выводы по результатам расчетов.

Содержание отчета:

1. Тема.
2. Цель.
3. Материальное обеспечение.
4. Практическое задание.
5. Ответы на вопросы самоконтроля.

Библиографический список

1. Мировые практики Smart City: открытая база знаний [Электронный ресурс]. URL: <https://ict.moscow/projects/smart-cities/?map=russia> (дата обращения: 20.10.2019).
2. Eremia Mircea, Toma Mircea, Sanduleac Mihai, “The Smart City Concept in the 21st Century”: presented at 10th International Conference Interdisciplinarity in Engineering INTER-ENG, 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817309402> (дата обращения: 10.12.2019).
3. Дрожжинов В. И., Куприяновский В. П., Намиот Д. Е., Синягов С. А., Харитонов А. А. Умные города: модели, инструменты, рэнкинги и стандарты // International Journal of Open Information Technologies. 2017. no. 3. vol. 5.
4. Mkrtychev O. Analysis of various definitions for Smart City concept. / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/365/2/022065> (дата обращения: 20.04.2021).
5. Интеллектуальные города // TAdviser: государство, бизнес, ИТ. 2019 [Электронный ресурс] URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Умные_города_\(Smart_cities\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Умные_города_(Smart_cities)) (дата обращения: 10.01.2021)
6. Mishchenko1 Vitalii, Lopatkin Dmitry, Chernyshov Valery. Discussing the concept of smart city: perspectives from Russia. MATEC Web of Conferences 212, 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201821204016> (дата обращения: 19.12.2020).
7. Макаренко К. В. «Умный город»: стандарты, проблемы, перспективы развития // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2019. Т. 19. № 3. С. 165–171.
8. 5 самых умных городов мира и смарт-технологии, которые они используют // RoboHunter. 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://robo-hunter.com/news/5-samih-umnih-gorodov-mira-i-smart-tehnologii-kotorie-oni-ispolzuyt11521> (дата обращения: 03.04.2021).

9. Видянова А. Топ-5 умных городов мира // Капитал: центр деловой информации. 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://kapital.kz/tehnology/79555/top-5-umnykh-gorodov-mira.html> (дата обращения: 05.02.2021).
10. Москва 2030 – умный город // Официальный сайт Мэра Москвы. 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://2030.mos.ru/> (дата обращения: 15.05.2021).
11. Архитектура системы // Свободная энциклопедия Википедия [Электронный ресурс]. URL: ru.wikipedia.org/wiki/Архитектура_системы (дата обращения: 18.03.2020).
12. NoSQL // Википедия: свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/NoSQL> (дата обращения: 18.03.2020).
13. CouchDB Vs MongoDB // Panoply blog [Электронный ресурс]. URL: <https://blog.panoply.io/couchdb-vs-mongodb> (дата обращения: 19.03.2020).
14. Выбираем СУБД для хранения временных рядов [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/oleg-bunin/blog/329062/> (дата обращения: 19.02.2021).
15. Рубенчик А. Моделирование архитектуры предприятия. Обзор языка ArchiMate [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cfin.ru/itm/standards/ArchiMate.shtml/> (дата обращения: 19.03.2021).
16. Алексеева О. А. «Теория систем и системный анализ: учебно-методическое пособие // НОУВПО РБИУ, 2014. 245 с.
17. Базы данных: основные понятия // Wiki-учебник по веб-технологиям [Электронный ресурс]. URL: <https://www.webmasterwiki.ru/MySQL> (дата обращения: 15.04.2021).
18. Знакомство с InfluxDB и базами данных временных рядов // Tproger [Электронный ресурс]. URL: <https://tproger.ru/translations/influxdb-guide/> (дата обращения: 10.04.2020).
19. Большой туториал по MongoDB // Medium.com [Электронный ресурс]. URL: https://medium.com/@Merrick_krg/%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B9-%D1%82%D1%83%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB-%D0%BF%D0%BE-mongodb-ae82654387d9 (дата обращения: 12.05.2021).