

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМ-
МУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
(СПбГУТ)**

**ФАКУЛЬТЕТ ИНСТИТУТ МАГИСТРАТУРЫ (ИМ)
КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ (ИУС)**

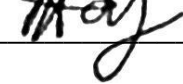
**Заявка на конкурс студенческих научных работ
на направление «Информационные системы и техноло-
гии»**

Тема конкурсной работы:

**«Анализ технологий дополненной реальности для «умных»
устойчивых городов»**

Выполнил:
студент гр. ИСТ-111м
Бовшик Павел Павлович

Руководитель:
Старший преподаватель
кафедры ИУС
Тарасов Владимир Анато-
льевич

Подпись*  _____
« _____ » _____ 2022 г.

Санкт-Петербург, 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
Глава 1. Дополненная реальность	10
1.1 Актуальность темы исследования.....	10
1.2 Анализ развития технологии	13
1.3 Классификация систем дополненной реальности	15
1.4 Основы и принципы построения технологии	18
1.5 Виды трекинга.....	22
1.6 Проблемы дополненной реальности.....	23
1.7 Применение дополненной реальности.	26
1.8 Вывод	32
Глава 2. Умные устойчивые города	34
2.1 «Умный город»	34
2.2 Системы и элементы «Умного устойчивого города» и КРІ.....	39
2.3 Сетевые технологии	47
2.4 Стандарты.....	51
2.5 Риски и безопасность	55
2.6 Проблемы и перспективы развития	60
2.7 Вывод	61
Глава 3. Дополненная реальность в умных устойчивых городах	63
3.1 Анализ приложений дополненной реальности.....	63
3.2 Вывод	73
Глава 4. Исследование технологий дополненной реальности для УУГ.....	75
4.1 Введение	75
4.2 Исследование приложений дополненной реальности	76
4.2.1 Исследование приложения Google Maps	76
4.2.2 Исследование приложения AR-Hunter	81
4.3 Вывод	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	90
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	91

РЕФЕРАТ

Данная бакалаврская работа посвящена анализу технологий дополненной реальности для умных устойчивых городов.

Ключевые слова: дополненная реальность, умный город, приложения дополненной реальности.

Цель данной работы состоит в анализе технологий дополненной реальности в умных устойчивых городах. В работе приведен анализ технологии дополненной реальности, рассмотрены способы ее применения в повседневной жизни, исследованы методы ее реализации в рамках умных городов.

Выполненные в рамках выпускной квалификационной работы исследования могут быть применены для дальнейшего развития услуги дополненной реальности.

ABSTRACT

This bachelor's thesis is devoted to the analysis of augmented reality technologies for smart sustainable cities.

Key words: augmented reality, smart city, augmented reality applications.

The purpose of this work is to analyze augmented reality technologies in smart sustainable cities. The paper analyzes the technology of augmented reality, considers the ways of its application in everyday life, explores the methods of its implementation within smart cities.

The research carried out as part of the final qualification work can be applied for the further development of the augmented reality service.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых популярных направлений урбанизации на данный момент является реализация концепции умного города. Примерами действующих проектов умных городов являются Москва, Санкт-Петербург, Амстердам, Барселона, Манчестер, Киев и многие другие. Действительно, ведь данная концепция позволяет существенно облегчить управление городским пространством, дает возможность лучше контролировать местные органы самоуправления, транспортную сеть, здравоохранение, образование, экологическую, общественную и информационную безопасность. Все эти функции оказываются благодаря современным технологиям: новейшим интеллектуальным системам, облачным вычислениям, технологии интернета вещей и т.д.

Еще одной технологией, интегрируемой в умные города, является дополненная реальность. AR-технология – одно из новейших достижений науки и техники. Эта технология получила широкое распространение и применение в таких сферах деятельности человека, как архитектура, строительство, маркетинг, медицина, образование, компьютерные игры и даже военное дело.

Дополненная реальность может значительно упростить управление городскими процессами, коммуникацию горожан и представителей власти, также с помощью AR-технологии можно организовать культурный досуг жителей и гостей города.

Целью данной работы является рассмотрение основы, технологий и принципов построения дополненной реальности, также разобрать способы ее интеграции и применения в городском пространстве. В заключение будут протестированы 2 приложения, которые можно использовать уже сейчас в городе Санкт-Петербург.

Глава 1. Дополненная реальность

1.1 Актуальность темы исследования

Мы живем в мобильном и быстро развивающемся мире, где научно-техническая революция идет семимильными шагами. Сейчас мы владеем такими технологиями, которые еще 30-40 лет назад для обычного человека были непостижимы. Возможности современных смартфонов, компьютеров, такие технологии, как интеллектуальные сети, виртуальная и дополненная реальность являются лишь каплей в море технологических достижений, появившихся в результате глобальной информатизации всех сфер жизни человека.

Дополненная реальность – одно из новейших достижений науки и техники. Эта технология получила широкое распространение и применение в таких сферах деятельности человека, как архитектура, строительство, маркетинг, медицина, образование, компьютерные игры и даже военное дело.

Рынок дополненной реальности на данный момент проходит этап формирования. Эксперты по-разному оценивают темпы его развития, но даже самые осторожные прогнозы предполагают рост с двузначным CAGR. По этим же оценкам, к 2023 г. предполагается, что он увеличится минимум до 65 млрд долл., причем следует учитывать то, что в отличии от нынешнего времени, в котором наиболее популярны потребительские товары, в будущем на первый план может выйти сегмент промышленности и услуг.



Рис. 1.1 – Мировой рынок AR

Аналитики отмечают следующие условия, которые способствуют быстрому развитию рынка дополненной реальности: широкое распространение и высокий уровень развития мобильной связи, совершенствование технологий смартфонов и, прежде всего, их вычислительной мощности и емкости аккумуляторов, а также появление большого количества потребителей, побуждающего разработчиков к разработке и выпуску нового оборудования и программ.

Эксперты говорят, что отечественный рынок систем дополненной реальности отстает от мирового на пару лет. К такому выводу они пришли из-за того, что некоторые уже реализованные проекты на западе, в России являются лишь пилотными. Однако в целом рынок имеет стабильный и уверенный рост: с 2016 по 2018 год общий объем продаж в отрасли вырос почти в 5 раз, а количество компаний, так или иначе вовлеченных в эту деятельность, увеличилось с 60 до 200 с численностью штата 3-20 человек. Крупные компании из смежных сфер пока особо не интересуются этим рынком, хотя серьезные заказчики уже есть. Например, Сбербанк, Росатом, нескольких крупных музеев и парк ВДНХ. Но пока эти проекты представляют из себя лишь PR-компанию, цель которой – привлечение интереса к технологии и компаниям, ее использующим.

Среди основных тенденций развития российского рынка можно выделить следующие:

- российские компании сосредоточились на разработке специализированного ПО, рынок аппаратных средств рынок пока полностью является от импортным.
- согласно опросам, инвесторов на данный момент больше всего интересуют такие направления, как игры, образование, медицина и строительство;
- преобладающее число экспертов утверждают, что основной целью разработчиков станет создание приложений для смартфонов;
- по ожиданиям аналитиков, отечественные предприятия в ближайшие 1-1,5 года увеличат спрос на бизнес-решения дополненной реальности;
- интеграция AR-систем в современные смартфоны применяется в торговле и маркетинге, причем как в онлайн, так и в офлайн-ритейле. В ближайшие годы такая интеграция может стать стандартом этой отрасли.

Аналитики предсказывают рынку систем дополненной реальности активное развитие. Начиная с 2021 г. рынок ждет некоторое насыщение и постепенное снижение темпов роста до 40–50% в год. Динамика роста экономики страны будет определяться перспективами реализации AR систем в таких отраслях, как здравоохранение, образование и промышленность (рис. 1.2).



Рис. 1.2 – Прогноз рынка AR

1.2 Анализ развития технологии

Родоначальником виртуальной реальности принимают Мортон Хейлига. Он проводил исследования в 1950-х и 1960-х годах. В августе 1962 года Хейлинг запатентовал стимулятор Sensorama, сам изобретатель называл его «театр погружения» [6].

«В настоящее время происходит увеличение спроса на методы обучения и тренировки людей с возможностью исключения рисков и опасностей реальных ситуаций», говорилось в патенте. Также в документе приложено описание виртуальной технологии, где визуальные образы дополняются движением воздуха и вибрацией.

Следующее упоминание технологии появилось в 1968 году. Это было изобретение Айвана Сазерленда, являвшегося адъюнкт-профессором Гарварда. С данным детищем ему помогал студент Боб Спраулл. Изобретение называли «Дамоклов меч». У «Меча» была своя особенность, он подключался не к камере, а к компьютеру. «Дамоклов меч» стал первой системой дополненной реальности, изготовленной на основе головного дисплея. Из-за размера и массы очки приходилось крепить к потолку, в них происходила трансляция

картинки с компьютера. Это изобретение дало Сазерленду звание «отца графики».

1974 год стал следующим этапом в истории развития технологии. В этом году компьютерный специалист Майрон Крюгер представил миру лабораторию искусственной реальности Videoplace. Она представляла из себя несколько связанных по сети комнат, в каждой из которых находился большой экран с расположенным позади него видеопроектором. Когда человек заходил в комнату, он видел на экране своё изображение в виде примитивного силуэта, а также подобные силуэты людей в остальных комнатах. У всех «теней» можно было менять цвет или размер, а также присоединять к ним различные визуальные объекты.

Первое носимое AR-устройство EyeTap было создано в 1980 году профессором Торонтского университета Стива Манна. EyeTap накладывало изображение с текстом поверх реальной картинки. Само устройство включало в себя компьютер, находящийся в рюкзаке и очки с камерой, которые были к нему подключены.

В 1982 году было представлено устройство с интересным названием «Шлем Дарта Вейдера». Системы Super Cockpit или VCASS (Visually Coupled Airborne Systems Simulator) представил ученый и изобретатель Томас Фернесс. Фернесс работал над визуальными дисплеями и инструментами в кабинах с 1960-х годов. А разработкой виртуальных интерфейсов для управления полётом занялся к концу 70-х.

Наконец мы добрались до создания самого термина «дополненная реальность». Он появился в 1990-е годы. Его автором стал Том Коделл, а благодаря австралийке Джули Мартин, виртуальная реальность была соединена с реальным телевидением.

В 1997 году было опубликовано исследование, автором которого был Рональд Т. Азум. В данном изыскании были продемонстрированы способы применения дополненной реальности в различных сферах: медицина, производство, наука, промышленность и развлечения.

В начале 2000-х Хироказу Като написал библиотеку программного обеспечения ARToolKit. В ней он объединил виртуальную графику и реальную жизнь. Показал работу системы распознания. Благодаря этой системе стала возможной операция по наложению компьютерной графики на изображение с видеокамеры.

Сейчас дополненная реальность стала обыденностью. Ее используют во время просмотра матчей по телевизору, игр на мобильных консолях или при пользовании смартфоном. С каждым днем сфера применения технологии расширяется. На сегодняшний день она уже используется в маркетинге, рекламе, ритейле, автомобилестроении, полиграфии и др.

1.3 Классификация систем дополненной реальности

Классифицировать системы дополненной реальности можно согласно органам чувств и восприятия человека. Данная система является промежуточным пунктом, своеобразным интерпретатором, между человеком и окружающим его миром. Это означает, что AR должна восприниматься человеком через его органы чувств. Зная это, мы можем выделить следующие типы систем дополненной реальности [5]:

1. Визуальные. Затрагивает зрительный орган человека. Задача таких систем – создать изображение, которое может быть воспринято и использовано человеком. Это наиболее популярный и используемый вид систем, так как зрение для большинства людей является основным органом восприятия, благодаря изображению человек гораздо лучше осознает окружающий его мир. Для нас оно является более информативным и понятным.
2. Аудио. Системы данного типа затрагивают слуховые органы чувств. Основной сферой использования таких систем является навигация. Например, когда машина подсказывает дорогу голосом, и не приходится отвлекаться от дороги на экран навигатора. Стереоскопический эффект также используется в аудио системах AR. Это позволяет человеку придерживаться нужного направления, ориентируясь лишь по источнику

звука. Данные системы применяются, например, при поиске потерянных вещей. Если вы потеряли свой iPhone где-то дома, то можете воспользоваться специальной возможностью поиска телефона на часах Apple Watch, которая заставляет iPhone издавать звуки, тем самым по звуку можно найти телефон. Также примером является система Hear & There.

3. **Аудиовизуальные.** Данные системы представляют собой комбинацию двух предыдущих типов, однако аудиоинформация в них носит вспомогательный характер.

Так как системы дополненной реальности опираются на органы чувств человека, они должны как-то получать информацию об окружающей среде. Далее, основываясь на полученной информации, создаются виртуальные объекты. Системы AR могут получать все необходимое благодаря сенсорам – устройствам, фиксирующим различные сигналы окружающей среды: световые, звуковые и электромагнитные колебания, ускорение и т.д. Классифицировать сенсоры, в моем понимании, нужно не по типам регистрируемых физических сигналов и величин, а в первую очередь по их назначению. Такой принцип классификации объясняется тем, что некоторые сигналы могут быть похожи по своей природе, но при этом нести различную информацию. Таким образом, выделим следующие типы сенсоров:

1. **Геопозиционные.** Данные системы строятся на основе сигналов систем позиционирования GPS или ГЛОНАСС. Они включают в себя приемники таких сигналов, компас и акселерометр для ориентирования относительно вертикали и азимута.
2. **Оптические.** Эти системы работают с изображением. Изображения в основном получены с камер. Камеры могут быть частью системы или быть отдельными от нее.

Классификацию систем можно провести и по виду взаимодействия с пользователем. Существуют системы, в которых пользователь играет пассивную роль. То есть человек, который получает услугу, может лишь наблюдать за реакцией системы на изменение окружающей среды. Но есть технологии с

более расширенной ролью пользователя, они требуют его активного вмешательства. В такой системе человек имеет возможность управлять как работой самой системы с целью достижения результатов, так и изменять виртуальные объекты. Опираясь на это, я выделил следующие типы систем:

1. Автономные. Такие системы не требуют вмешательства пользователя для своей работы. Основной целью автономных системы является предоставление информации об объектах. Например, они занимаются анализом объектов, находящиеся в окружающей среде в видимой области человека. Такие системы нашли применение в медицине. Gait Aid – система, которая была создана для передачи мозгу дополнительной информации, координирующую человека, через использование виртуальных объектов. Она нашла свое применение в борьбе с нарушениями опорно-двигательного аппарата у людей.
2. Интерактивные. Данные системы работают непосредственно с пользователем. Для работы таких систем, необходимо наличие устройства ввода информации. Примером устройства ввода могут послужить обыкновенная клавиатура, сенсорный экран, планшет или специальный манипулятор. Специфика самой системы определяет устройство ввода. Для выполнения простых действий с виртуальным объектом не нужно придумывать велосипед, можно использовать простое указывающего устройства. Но если нашей целью является имитация каких-либо реальных процессов, если наша задача включает в себя сложные манипуляций с объектами, то нам необходимо использовать специальные манипуляторы с необходимыми степенями свободы. Примером могут служить устройства PHANTOM.

Существуют разные степени интерактивности. Рассмотрим системы с активным изменением виртуальной среды пользователем. К системам с данной степенью интерактивности относятся симуляторы каких-либо реальных действий. Они используются, когда работа с реальными объектами слишком дорогостояща, сложна или просто невозможна. Примером могут послужить

медицинские тренажеры, которые дают возможность начинающим хирургам вырабатывать необходимые навыки.

Не всегда есть потребность изменять виртуальную среду под пользователя. Вместо этого у пользователя есть право выбора, с какими виртуальными объектами работать. Он также может манипулировать ими, но лишь на уровне отображения, не оказывая никакого влияния на уровень структуры, другими словами, пользователь сможет делать, например, аффинные преобразования типа поворота, перемещения и т.п. Эта группа включает в себя различные архитектурные системы. Такие системы дают возможность смоделировать строительство новых зданий, определить целесообразность архитектурных решений в рамках уже существующей обстановки, использовать навигационные и геоинформационные системы.

Еще одним из критериев для типизации систем дополненной реальности является мобильность. По данному признаку можно выделить следующие виды систем:

1. Стационарные. Такие системы нацелены на работу в фиксированной локации. Основной особенностью данной системы является то, что при их перемещении возможна частичная или полная приостановка функционирования. Примером такой системы может послужить симулятор хирургического стола. Исходя из того, что его основная задача состоит в погружении человека в условия, наиболее похожие на реальные, то подобную систему необходимо сделать стационарной.
2. Мобильные. Основное различие заключается в том, что их можно легко перемещать. Это и лежит в основе выполняемой ими функции. Например, навигационная система. Мобильность – ее основное преимущество, так как она должна перемещаться и предоставлять услугу независимо от места расположения, не создавая дополнительных расходов на перемещение.

1.4 Основы и принципы построения технологии

Реализация дополненной реальности происходит по двум основным

методам: распознавание образов и распознавание маркеров. Чтобы настроить распознавание образов, необходимо добавить фотографии объекта с описанием его основных характеристик. Данный метод получил широкое применение в приложениях с добавлением косметических эффектов и масок на лицо человека, например Snapchat или Instagram. Со вторым вариантом построения все немного сложнее. Для начала необходимо разобраться, что понимается под маркером. Маркер – объект, который расположен в видимой зоне и используется в качестве своеобразного «якоря» для виртуальных объектов. Чтобы система могла отследить маркер, необходимо создать метку, благодаря которой будет распознаваться положение объекта. Через маркеры получают информацию об окружающей среде и положении того или иного объекта, благодаря чему проецируют все виртуальные объекты с наибольшим уровнем точности и реалистичности. Нельзя не упомянуть технологию SLAM (Simulation Localization and Mapping), которая основана на методе одновременной локализации и построения карты. Что это значит? В данной технологии картинка раскладывается на геометрические объекты и линии, а затем система выделяет ключевые точки и запоминает их. Такой способ реализации дополненной реальности дает возможность лучшего ориентирования в пространстве.

Еще одним принципом построения AR является использование координат местоположения пользователя. Он основан на использовании устройств по определению физического расположения объекта, например GPS-приемника, гироскопа и т.д. Достаточно прост в понимании и реализации.

Также в число легко реализуемых алгоритмов распознавания объектов для построения дополненной реальности входит генетический алгоритм. Генетические алгоритмы – это эвристические алгоритмы поиска. Они используются с целью автоматизации и моделирования процессов на основании подбора случайных решений. Эти алгоритмы основываются на обучении. Главной отличительной чертой генетических алгоритмов является постоянная эволюция, чем-то схожая с биологической. Соответственно, качество работы данных алгоритмов напрямую зависит от количества данных, которые он обработал во

время обучения. Само обучение представляет собой сопоставление двух изображений: корректного, с искомым объектом, и не корректного, без искомого объекта.

Теперь можно рассмотреть более сложный, но в то же время качественный метод, называется он Feature detection. Данный метод заключается в определении частей изображения и выделении на нем ключевых особенностей. В основном процесс определения маркеров на изображении осуществляется благодаря сравнению ключевых точек похожих изображений. Ключевая точка – это отличительная черта того или иного изображения. Для того чтобы найти и сравнить главные отличительные черты используют детектор, дескриптор и матчер. Разберем подробнее, что это за составляющие и какую роль выполняют. Детектор отвечает за поиск ключевых точек, дескриптор необходим для их описания, а матчер совершает заключительное и самое важное действие – находит соответствия между найденными точками.

Мы разобрали методы распознавания объектов для построения виртуальной реальности, но как их использовать не понятно. Для этого существуют готовые библиотеки, включающие в себя вышеперечисленные методы. Например, библиотека OpenCV, которая содержит алгоритмы поиска маркера на видео с дальнейшим отражением виртуального объекта. Еще был упущен важный момент, а именно построение 3D пространства. Для этого понадобятся две матрицы: внутренняя и внешняя [2]. Далее на основании полученного маркера с помощью методов OpenGL рисуется виртуальный объект.

Внутренняя матрица (рис. 1.3) (матрица проекции) представляет собой параметры используемой камеры: фокального расстояния по двум осям (f_x, f_y) и координат центра фокуса (c_x, c_y).

$$\begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Рис. 1.3 – Внутренняя матрица

Внешняя матрица (рис. 1.4) (матрица модели) – содержит параметры преобразований модели. Речь идет о растяжении, повороте и переносе. Ее роль заключается в задании положения объекта в пространстве.

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix}$$

Рис. 1.4 – Внешняя матрица

Диагональные элементы отвечают за растяжение модели. Остальные элементы r – за поворот объекта в пространстве. Элементы t отвечают за перенос. Вычисление её производится путём определения четырёх пар точек объекта и соответствующего его положения в кадре. Точки положения в кадре – это вершины четырехугольника, описывающего (ограничивающего) объект в кадре. Получить данные точки можно, если подействовать на крайние точки шаблона гомографией. Сконструированные матрицы затем используются для вычисления вектора поворота и переноса с последующим занесением в матрицу модели.

Из-за огромного количества технологически продвинутых смартфонов стоит обратить внимание на влияние крупнейших компаний на технологию дополненной реальности. Например, Google или Apple. Разработки этих IT гигантов в данном направлении дают возможность сделать технологию доступной для массового потребителя, убирая необходимость наличия дорогостоящего оборудования для разработки и пользования AR. На данный момент Apple уже представила среду разработки ARKit 2 с возможностью создания и распознавания объектов и изображений. Также ARKit 2 позволяет привязывать созданные объекты к определенной локации и поддерживает интеграцию виртуальных объектов в реальную среду. Google также не отстает от конкурентов. Они разработали свою среду – ARCore, в которой разработчику дают возможность использовать камеру телефона. Данная среда поддерживает использование камеры телефона, отслеживание устройства в пространстве, что позволяет

привязывать объекты к определенной точке вне зависимости от перемещения смартфона. Также она дает возможность распознавания горизонтальных поверхностей без меток, умеет оценивать освещение и подстраивать его в зависимости от объекта и окружения. Благодаря этим возможностям AR объекты получаются наиболее проработанными и подходящими под ту или иную среду.

1.5 Виды трекинга

Построение дополненной реальности основывается на осуществлении процесса отслеживания определенного объекта в условиях окружающей среды, иначе этот процесс еще называют трекинг [1].

Я выделил следующие виды трекинга:

1. Акустический
2. Радиочастотный
3. Магнитный
4. Оптический
5. Инерциальный
6. Гибридный

Реализация акустического, радиочастотного и магнитного трекинга требует оборудования специального назначения, чтобы отслеживать волны на ультразвуковых частотах, радиочастоты и интенсивности магнитного поля. Такие виды трекинга не везде и не всегда подойдут в силу сложности реализации и некоторых своих особенностей. Так, например, скорость звука сильно зависит от факторов внешней среды, методы, основанные на радиочастотах, не могут похвастаться достаточной точностью, а магнитных методов камнем преткновения являются помехи от других электронных устройств.

Инерциальный вид трекинга используют для обнаружения координат местонахождения пользователя. Для этого пользуются таким специальным оборудованием, как гироскоп, GPS-приемник, акселерометр. Должен заметить, что все это сейчас есть в современном смартфоне. Примером использования данного метода является привычный нам всем навигатор. Данное устройство в режиме реального времени определяет местонахождение

пользователя и прокладывает маршрут до нужной точки, а путь указывают стрелки, которые строятся прямо на дороге, но есть небольшой минус – точность. В маленьких пространствах, например, в офисе или квартире из-за погрешности в 2-5 метров для GPS/Glonass данное устройство не будет удовлетворять требованиям точности.

Оптические методы используют для определения местоположения объекта с помощью камер и с использованием различных алгоритмов компьютерного зрения. В этом виде трекинга два варианта работы камеры. Первый вариант включает себя процесс, когда камера определяет положение объекта по характерным точкам в статическом положении. Второй вариант реализует случай, когда камера будет отслеживать статичные точки, находясь при этом мобильной, то есть передвигаясь вместе с пользователем.

Из-за всех вышеперечисленных недостатков не рекомендуется использовать какой-то один метод. Обычно, чтобы избежать проблем с теми или иными методами используют так называемый гибридный метод. Он примечателен тем, что объединяет в себе несколько методов, нивелируя недостатки каждого.

1.6 Проблемы дополненной реальности

У каждого типа AR-систем есть свой набор проблем. Например, в аудио-системах главной проблемой является отслеживание головы, так как именно от ее положения зависит то, как верно интегрировать звуковые эффекты. Существует несколько подходов к определению положения головы:

- 1) относительно фиксированной платформы;
- 2) относительно вращающейся Земли;
- 3) относительно произвольной подвижной платформы.

Для каждого из вышеперечисленных случаев вводятся системы координат и описываются выражения для определения этих координат. Независимо от того, какую систему координат мы используем, необходимо фиксировать датчики на голове человека, по показаниям которых будут рассчитываться координаты.

В случае визуальных систем основная проблема – это распознавание образов на изображениях. Это необходимо для построения виртуальных объектов в условиях постоянно изменяющейся окружающей среды. Человек мыслит образами, с которыми он сопоставляет видимые объекты. То же самое необходимо реализовать в системах дополненной реальности. Но пока что подобная идентификация любых объектов еще не была реализована в AR-системах. Дело в том, что одна конкретная система, имеющая определенное назначение, способна распознать только свойственную этому назначению группу объектов. Процесс идентификации имеет такие этапы:

- 1) построение контура (формы) объекта;
- 2) построение одномерной функции из двумерной формы объекта;
- 3) сравнение полученной функции с эталоном для ее идентификации

Но такому подходу свойственна проблема классификации объектов для задания эталонов системе. В качестве примера можно рассмотреть классификацию такого объекта, как дом. К этой категории может быть отнесен и небольшой одноэтажный склад, и небоскреб, но при этом эталоны этих двух зданий будут значительно отличаться.

С разработкой мобильных систем также связаны определенные проблемы. Существует две цели при разработке: стремление к уменьшению габаритов устройства и внедрение в это устройство вычислительной мощности, необходимой для поддержания работы системы в режиме реального времени. Но дело в том, что данные тенденции при создании мобильных систем оказывают противоположное влияние друг на друга, то есть для реализации высокой производительности устройства приходится жертвовать его компактностью и наоборот. По этой причине в мобильных устройствах используются менее затратные с точки зрения ресурсов алгоритмы.

Также существуют проблемы, присущие всем системам дополненной реальности, они связаны с построением виртуальных объектов:

- 1) организация хранилища виртуальных объектов и средств доступа к нему;

- 2) реализация виртуальных объектов высокого качества;
- 3) сочетание виртуальных объектов с окружающим миром.

Система дополненной реальности работает с большим числом виртуальных объектов, которые используются в зависимости от конкретной ситуации. Для корректной работы с таким количеством объектов необходимо реализовать систему хранения этих объектов с возможностью быстрого к ним доступа. Объект может быть сохранен в любом виде, подходящем для дальнейшего использования, будь то функция, описание метода построения, список полигонов, изображения, звуковой файл.

Еще одной проблемой является низкий уровень реалистичности объектов. В зависимости от назначения системы может страдать качество виртуальных объектов. В идеале они должны быть такими, чтобы человек не смог отличить их от реальных, но на сегодняшний день реализация подобных виртуальных объектов невозможна в силу отсутствия необходимой техники и недостаточного уровня развития устройств.

Вне зависимости от реалистичности виртуального объекта необходимо интегрировать его в существующую реальность. Например, чтобы добавить графический объект нужно подобрать правильную перспективу, масштаб, яркость; для реализации звуковых объектов мы подбираем громкость, синхронность с окружающими нас звуками и эффектами. Кроме того, нужно наложить объект на реальное окружение так, чтобы он не выпадал из общей картины. Стоит сказать, что основная сложность данного процесса состоит в постоянном изменении реального мира, вернее в его отслеживании, поэтому необходимо с особой точностью анализировать сцену, да еще и в режиме реального времени. При этом еще стоит учитывать размеры сцены и количество объектов на ней, так как она может быть небольшая и содержать парочку изменяющихся объектов лишь относительно пользователя, а может включать в себя несколько десятков объектов, изменяющихся не только относительно пользователя, но и друг друга.

Системы высокой производительности являются ключом к решению

вышеперечисленных проблем. Но необходимо выделить основные минусы данных систем. К сожалению, они не мобильны и доступны далеко не каждому, а это значит, что обычный потребитель не сможет использовать их напрямую. Но высокопроизводительные системы могут помочь в реализации вычислительного сервиса, основными задачами которого является:

1. распознавание объектов на изображениях;
2. поиск определенных виртуальных объектов в хранилище и корректировка соответствующих параметров;
3. объединение виртуальных объектов с окружением;
4. изменение представления объекта с целью уменьшения используемых ресурсов при его воспроизведении на определенном устройстве.

В случае подобной эксплуатации систем высокой производительности мобильные устройства будут выполнять функции определения окружения и отображения виртуальной реальности для пользователя. Тогда реализация AR будет проходить согласно нижеперечисленным этапам:

1. Распознавание объекта и его контуров с помощью мобильного устройства.
2. Отправка полученной информации об объекте с устройства на сервер для обработки.
3. Обработка сервером полученных данных, определение объектов, построение виртуальных объектов и идентификация реальных объектов.
4. Отправка результатов на устройство.
5. Воспроизведение AR.

1.7 Применение дополненной реальности.

В последние годы дополненная реальность широко используется в рекламе и маркетинге. В данных сферах ее главная роль заключается в привлечении клиентов, что влечет за собой увеличение уровня продаж.

Крупные автомобильные компании не стали исключением, они используют приложения дополненной реальности для запуска своих новых продуктов. Например, Volvo разработала технологию «рентгеновского зрения» для

исследования автомобиля изнутри. Концерн Volkswagen также не отстает и в Гонконге с помощью игры, основанной на дополненной реальности, представили свою новую модель. Audi снабдил свою новую модель электромобиля лобовым стеклом с AR-монитором (рис. 1.5) [4].



Рис. 1.5 – AR-технологии на лобовом стекле автомобиля

Такие гиганты, как IKEA и ASOS также не отстают от новых тенденций. Они используют приложения дополненной реальности, чтобы дать своим клиентам возможность рассмотреть свои продукты без физического взаимодействия с самим предметом. Также стоит упомянуть приложение DULUX, которое позволяет через любое устройство, будь то смартфон или планшет, подобрать своей квартире новый ремонт: изменить цвет ваших стен, добавить детали интерьера и увидеть, как это будет смотреться в реальности. Польский производитель мебели Tylko решил интегрировать AR-технологии в свое приложение (рис. 1.6). Применение дополненной реальности дало покупателю возможность сконструировать свою будущую эксклюзивную полку, подставку под телевизор или шкаф онлайн, используя лишь камеру на своем гаджете. Это существенно экономит время и деньги заказчику и производителю.

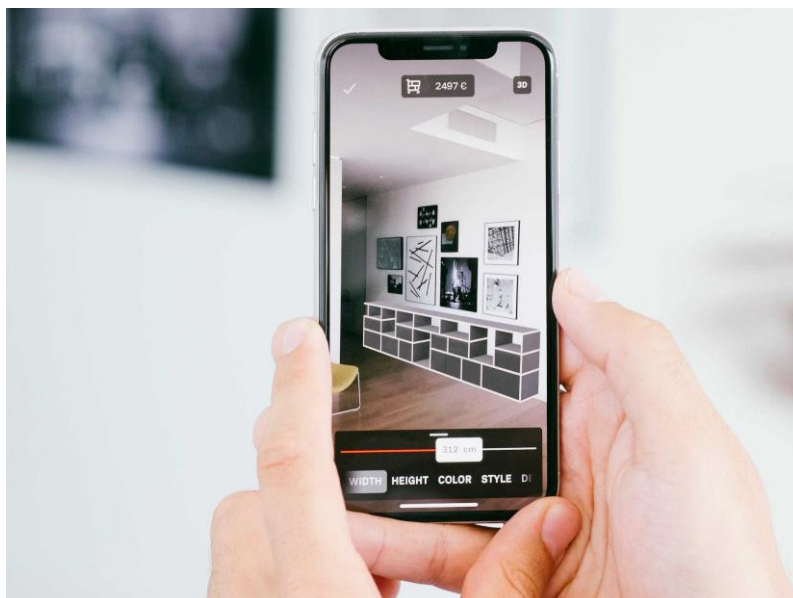


Рис. 1.6 – Приложение Tylko

Пример использования дополненной реальности можно найти и в сфере развлечений. Например, американская компания Pepsi сделали из обычной остановки уличного транспорта интерактивную панель (рис. 1.7). В этой конструкции была размещена камера, которая транслировала обратную сторону остановки, благодаря этому создавался эффект прозрачности. В определенный момент на экране панели отображались необычные события: падение метеорита, огромные монстры, инопланетные космические корабли. Такой эксперимент поразил людей, чем очень поднял популярность компании. Coca-Cola также решила не отставать от конкурента и создали рекламу, основанную на технологии дополненной реальности. Реклама рассказывала о компании «Арктический дом», созданной совместно Coca-Cola и Всемирным фондом дикой природы. Компания включала в себя интерактив с дополненной реальностью в Музее науки в Лондоне. Кейс предоставлял возможность посетителям музея поиграть с белыми медведями и побывать в естественной среде обитания животных.



Рис. 1.7 – AR реклама Pepsi

Должен заметить, что технологии дополненной реальности внедрены уже в 62 сферы повседневной жизни. Но в таких серьезных сферах, как военная промышленность, медицина, образование разработки приложений дополненной реальности идут медленнее, ведь в этих областях требуются более качественные и продуманные устройства.

Военные разных стран уже тестируют шлемы и очки виртуальной реальности (рис. 1.8). Функционал данных устройств включает в себя возможность видеть свои геоданные, то есть практически выполняют задачу навигатора, информирование о расположении войск, организация передачи данных в штаб или другим родам войск. Microsoft заявили о десятилетнем контракте с армией США на поставку 120 000 пар гарнитур дополненной реальности на основе технологии HoloLens. Речь идет о первом в мире массовом использовании AR-очков.

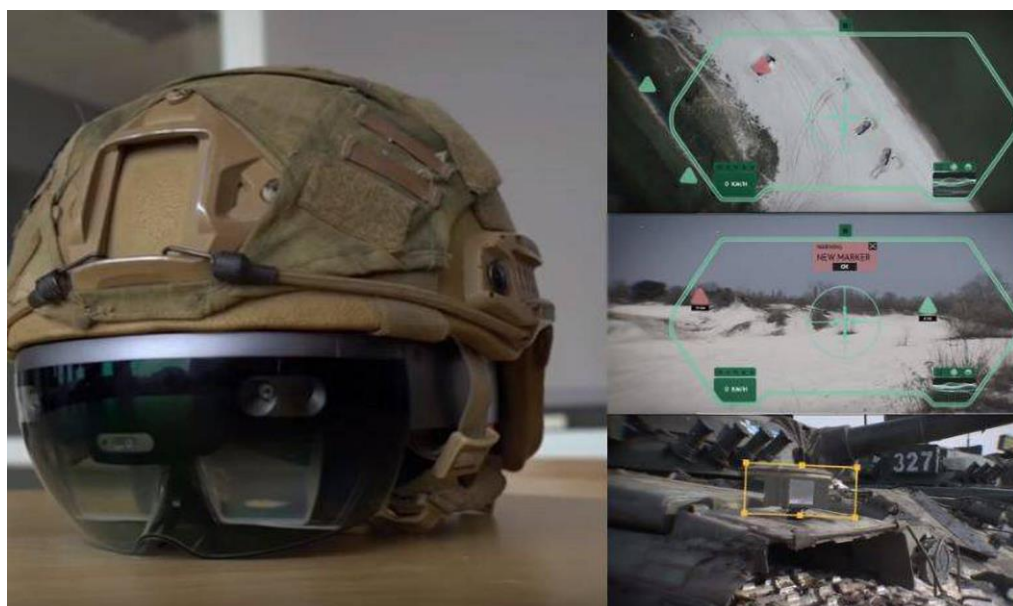


Рис. 1.8 – AR-очки для армии

В медицине приложения дополненной реальности играют также огромную роль, особенно во время обучения. Хирурги проводят операции в очках Google Glass, тренируясь на виртуальных моделях, погружаясь в условия, наиболее приближенные к реальным. Также эти очки дают возможность вести видеоконференции с коллегами и запрашивать с помощью голоса результаты различных анализов прямо во время операции (рис. 1.9) [3].



Рис. 1.9 – AR в медицине

Существует много научных статей на тему интеграции дополненной реальности в процесс школьного обучения. Это не случайно, ведь завоевать внимание детей очень сложно, а интерактивные кейсы помогут детям не только

не отвлекаться на уроках, но и лучше усвоить предмет. Например, с помощью AR можно смоделировать любой опыт по физике или химии вне зависимости от масштабов и требуемых ресурсов. В библиотечном деле технология AR делает процесс чтения еще интереснее. Согласитесь, ведь интересно было бы увидеть то или иное историческое событие своими глазами, а не просто прочитать о нем (рис 1.10).

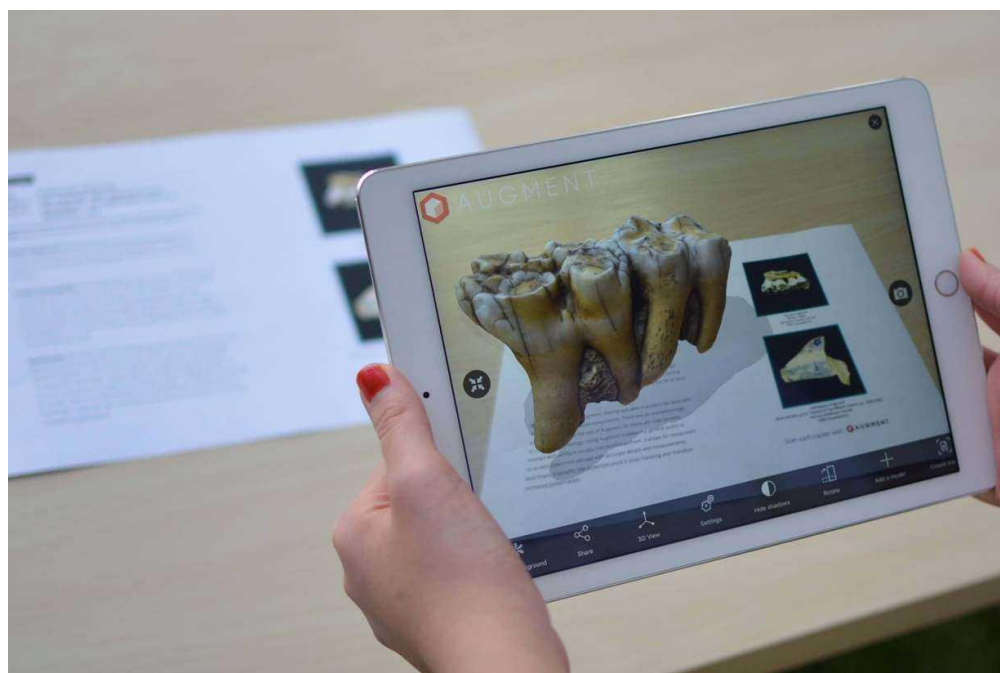


Рис. 1.10 – AR в образовании

Дополненная реальность также применяется и в строительный бизнесе. Продукты VisualLive (рис 1.11) позволяют объединить различные части строительного проекта при помощи AR-очков от Microsoft, увидеть, где различные инженерные системы здания будут располагаться по окончании строительства и как они будут выглядеть. Это позволяет инженерам и рабочим разных специальностей взаимодействовать на строительной площадке и избегать ошибок, устранение которых значительно повышает стоимость проекта.

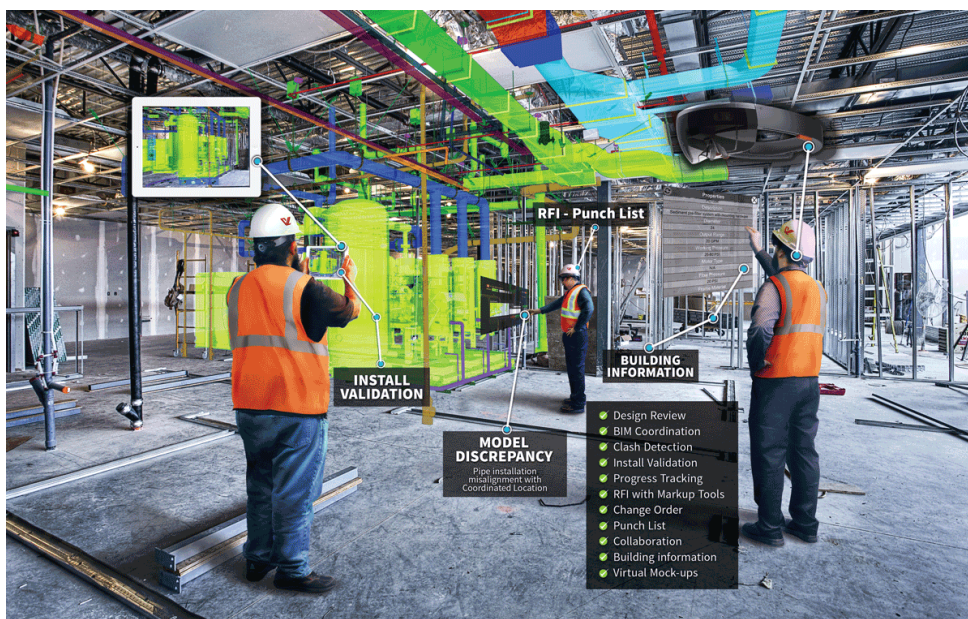


Рис. 1.11 – Технологии VisualLive

1.8 ВЫВОД

В рамках данной главы мы разобрали основы технологии дополненной реальности. Проанализировали ее возможности и сферы применения.

Как и любая технология, AR имеет свои проблемы и недостатки. Одной из основных трудностей является то, что для корректной работы технологии нужны высокопроизводительные системы с виртуальными хранилищами, необходимыми для обеспечения высокого качества виртуальных объектов и их правильной интеграции в окружающую среду. Для развития этой технологии подобные системы необходимо делать более мобильными и менее энергозатратными

Дополненная реальность уже применяется во многих сферах деятельности человека. Интеграция дополненной реальности в автомобилестроение делает процесс управления автомобилем проще и безопаснее. Клиентам онлайн магазинов AR дает возможность совершать покупки и даже придумывать индивидуальные дизайны квартир, не выходя из дома. У строителей появилась возможность объединить различные части проекта при помощи AR-очков и увидеть, где различные инженерные системы здания будут располагаться по окончании строительства и как они будут выглядеть. Хирургам данная технология упрощает процесс проведения операции, давая подсказки и выводя

всю необходимую информацию в поле зрения доктора, тем самым позволяя не отвлекаться на своих коллег или экраны, отображающие состояние пациента. Будущим же докторам дополненная реальность дает возможность обучаться своей профессии в условиях, наиболее приближенным к реальным.

Конечно, потенциал технологии дополненной реальности раскрыт далеко не полностью, нам еще есть куда стремиться, и я считаю, что это разработки носимых устройств, управление которыми будет осуществляться голосом, глазами или же напрямую через мозг. Да, пока это напоминает фантастический фильм или игру, но ведь когда-то и компьютер был размером с целую комнату и казался не таким уж и нужным обычному человеку, а сейчас он помещается в кармане брюк и является неотъемлемой частью повседневной жизни. На сегодняшний день основным направлением развития технологии является внедрение ее в военную индустрию, медицину и образование.

Глава 2. Умные устойчивые города

2.1 «Умный город»

Активно развиваясь, город увеличивает свою экономическую и демографическую роль. Уже сейчас в городах проживает около пятидесяти четырех процентов всего населения земли, а в ведущих в экономическом отношении странах данный процент намного выше, например, в России процент городского населения равен 74. Согласно прогнозам ученых, к 2050 году доля городского населения на земле составит более семидесяти процентов. Управление функционированием современного мегаполиса, необходимость грамотного планирования всех сторон городской жизни: экономики, транспортной сети, коммунальных услуг, здравоохранения, образования, экологической и общественной безопасности становится сверхсложной задачей для городских властей. В этот период на помощь человеческому интеллекту приходят технологии будущего: способы цифровой обработки всех видов городской информации, позволяющие принимать эффективные решения по оптимизации среды обитания человека, по-новому оценивать и улучшать процессы управления городскими потоками и быстро реагировать на сложные задачи управления городской жизнью и направлять их в нужное русло.

По всему миру актуальность многочисленных проблем городов привела к поиску умных способов их структуризации и поиску их решений. Соответственно такие города все чаще получают метку «умных». Одним из способов концептуализации понятия умный город является его модель как устойчивого и пригодного для жизни города.

Создавая условия для развития современных городов как интеллектуальных центров, обеспечивающих приоритет информационных и нематериальных параметров городского развития над традиционными материальными элементами, все большее количество городов переходит к концепции развития «умный город».

Понятие «умного города» можно трактовать по-разному [9, 10, 11, 13,

14]. С точки зрения науки «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. Если опираться на хозяйственный взгляд, то «умный город» можно назвать продвинутым и высокотехнологичным городом, который объединяет людей, информацию и элементы городской инфраструктуры. Он имеет простую систему управления и обслуживания городского хозяйства и использует новые технологии в целях устойчивого формирования зеленого города (совершенствования защиты окружающей среды), создания конкурентной и инновационной торговли и повышения качества жизни. Информационно-технологический аспект представляет нам «умный город» как административную единицу поселения людей (район, город, регион или небольшая страна), для которой применяется целостный подход к использованию информационных технологий, работающих в реальном масштабе времени для обеспечения ее (административной единицы) устойчивого экономического развития.

Если проанализировать все вышеперечисленные определения, то можно сказать, что «умный город» – это концепция интеграции информационных и коммуникационных технологий для управления городскими службами и системами: транспортом, системой водоснабжения и управления отходами, правоохранительными органами и больницами. Фактически «умный город» замыкает в единый контур управления все процессы и сервисы, предоставляемые населенным пунктом. При этом информация, необходимая для выполнения процессов и предоставления сервисов, приходит точно в срок, а поэтому является актуальной для принятия решений. Это позволяет повысить как качество предоставляемых услуг, так и степень удовлетворенности жителей населенного пункта от всех сфер жизни в нем.

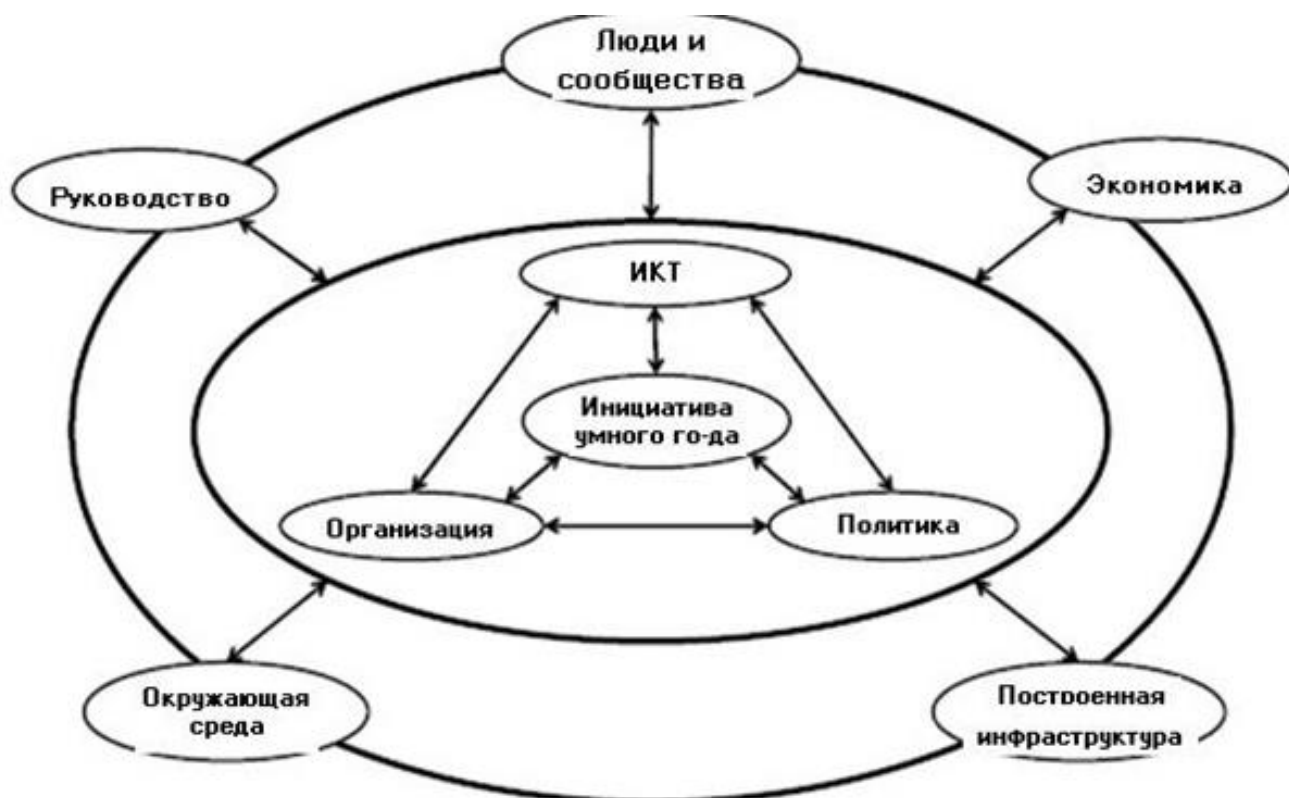


Рис. 2.1 – Интегральная модель умного города

«Умные» мегаполисы в экономической и социальной областях исследуют объекты инфраструктуры, например, автомобильных дорог и аэропортов, для наилучшего разделения средств и обеспечения безопасности, увеличивают количество предоставляемых населению услуг.

Концепция внедрения «умных» информационных технологий построена на обмене сведениями между объектами городской инфраструктуры, населением, а также различными отделами и службами городской администрации. Пример такой взаимосвязи можно увидеть на рисунке 2.2. Это и является главным отличием «умного города» от обычного. В обычном городе услуги на основе информационных и коммуникационных технологий не могут так же гибко реагировать на изменения экономических, культурных и социальных условий, как услуги в «умном». Анализ и использование информации, которой делятся городские жители, благодаря автоматизированным системам, дает возможность мгновенно реагировать и исправлять недостатки инфраструктур города.

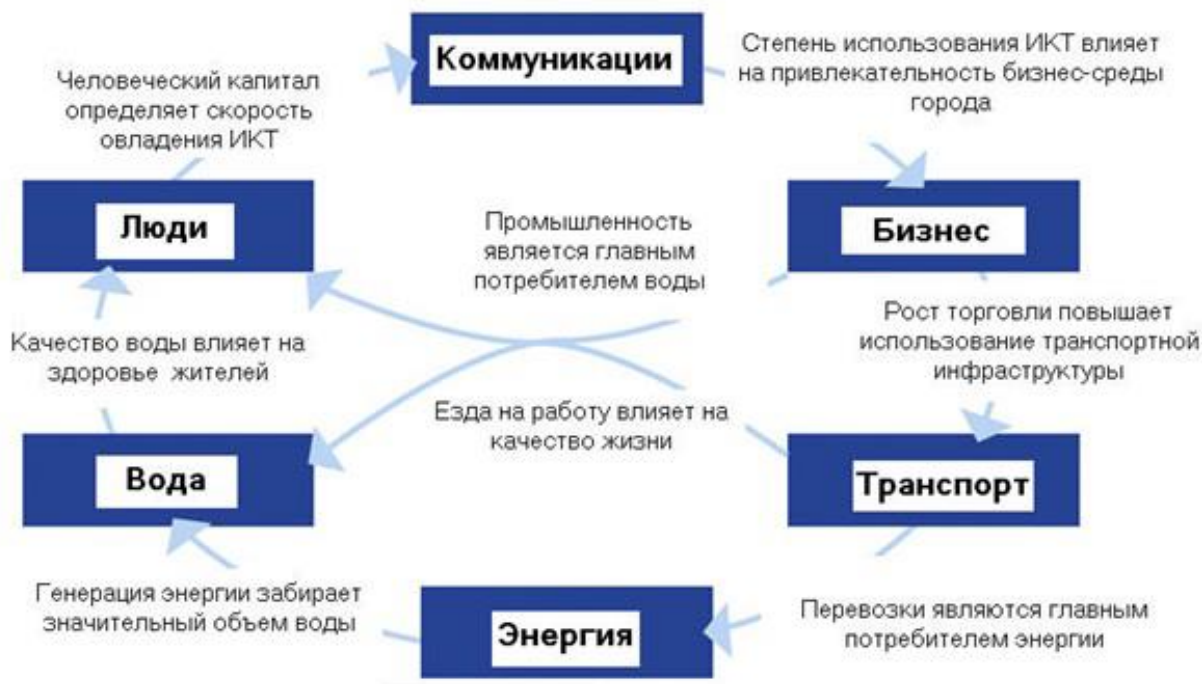


Рис. 2.2 – Пример взаимосвязи между ключевыми системами города

Создание единой информационной среды «умного» города является необходимым требованием дальнейшего улучшения безопасной и интеллектуальной инфраструктуры городской среды. Основным компонентом «умного» города является автоматизированная система, базирующаяся на исследовании большого количества данных из различных источников информации, которая позволит производить многофакторный анализ, обработку данных в реальном времени и инициировать оперативное реагирование.

Существенной информацией для подобной системы могут быть данные с датчиков объектов муниципальной инфраструктуры, обращения жителей, актуальные сведения мониторинга сотрудниками городских служб и т. д. Датчики, установленные на объектах городской инфраструктуры, могут предоставлять такую информацию, как местоположение объекта, давление, температуру, видеосигнал, время фиксации события, уровень освещения и напряжение сети. Необходимо научиться в реальном времени получать полезные сведения из информационного потока и собирать эти сведения для дальнейшего анализа, с целью обеспечения нового качества оказания городских услуг.

Немаловажным элементом функционирования «умных» городов

считается стремительное внедрение современных технологий, а именно автоматизированных интеллектуальных систем управления различными сторонами жизни города, например: жилищно-коммунальное хозяйство, общественный транспорт, общественная безопасность, образование, здравоохранение, энергоснабжение, экологическая ситуация и другие. Внедрение и инновационное применение интеллектуальных систем «умного» города способствует увеличению своевременности управления, уменьшению управленческих издержек и повышению уровня и качества жизни населения.

В «умных» городах самое широкое распространение должны получить технологии искусственного интеллекта. ИИ может быть использован для повышения качества взаимодействия граждан с органами государственного управления. Регулирование транспортных потоков и предотвращение пробок также одно из актуальных направлений работы за счет анализа дорожной ситуации в городе с помощью данных, полученных с камер наблюдения и датчиков. Искусственный интеллект также будет полезен и в управлении недвижимостью, он сможет не только настраивать все бытовые устройства согласно предпочтениям пользователя, но и снизит энергопотребление в доме за счет оптимизации работы домашних систем. Эти технологии могут помочь даже в выявлении рака на ранней стадии и назначении лечения пациентам.

Исходя из наших задач и потребностей можно составить общий алгоритм разработки концепции умного города:

- формулирование параметров, соответствующих возможному и желаемому качеству жизни населения;
- верификация выявленных параметров путем анализа и научной интерпретации результатов исследования общественного мнения;
- уточнение параметров и их желательных и возможных значений с учетом уровня развития экономики города;
- формулирование системы критериев и показателей, отражающих возможный уровень достижения качества умного города (при этом само это понятие нуждается в уточнении);

- разработка нормативной базы, программ и планов движения к сформулированным целям;
- определение способов, технологий и инструментов, в т.ч. социальных, экономических, компьютерных, используемых для достижения поставленных целей.

Таким образом, «умный город» с его важнейшими составляющими: инновационной экономикой, городской инфраструктурой, интегрированным управлением и «умными жителями», прежде всего, ориентирован на улучшение качества жизни граждан с помощью современных технологий. А это, в свою очередь, дает возможность гарантировать наличие защищенности городской среды. «Умный город» более подготовлен к решению вопросов, чем обычный при простом «операционном» отношении со своими гражданами.

О реализации концепции «умного города» заявлено 350 городами мира, и к наиболее известным самым «умным» городам планеты относятся: город-государство Сингапур, город Иньчуань, столица провинции Нинся в Китае, город Масдар (ОАЭ), японский город Фудзисава, город Милтон-Кинс (Великобритания), Куритиба (Бразилия) и др. В России лидерами в развитии интеллектуальных систем «умный город» стали города Москва, Казань, Санкт-Петербург, Екатеринбург и др.

2.2 Системы и элементы «Умного устойчивого города» и KPI

Словосочетание «Умный устойчивый город» введено Международным союзом электросвязи (МСЭ) в рекомендации ITU-T Y.4900 [12, 16]. В качестве определения в данной рекомендации предложена следующая формулировка: «инновационный город, который использует информационные и коммуникационные технологии, а также другие средства для улучшения качества жизни, эффективности производства товаров и услуг (включая их конкурентоспособность), обеспечивая при этом удовлетворение потребностей нынешнего и будущих поколений с учетом экономических, социальных, экологических и культурных аспектов».

Для полноценного построения УУГ необходимо провести серьезные

междисциплинарные исследования. Ниже преимущественно рассматриваются аспекты, касающиеся задач, возникающих перед информационными и коммуникационными технологиями (далее — ИКТ), но они учитывают известные и прогнозируемые требования всех других компонентов УУГ. Тем не менее, предлагаемые в следующих разделах статьи предложения по ряду позиций придется адаптировать по мере формирования и эволюции целостного взгляда на принципы создания и развития УУГ.

Предложенный МСЭ термин «Умный устойчивый город», по всей видимости, выбран как объединяющее определение для двух словосочетаний, иногда рассматриваемых отдельно:

- умный город;
- безопасный город.

Устойчивость, как и безопасность, не бывает стопроцентной. Для УУГ в материалах МСЭ У.4900 вводится совокупность ключевых показателей эффективности — КРІ (key performance indicator). Каждому аспекту устойчивости присущ свой набор КРІ. Чаще всего КРІ задается при помощи точечных значений или интервальных оценок. Каждый КРІ может быть выражен в виде зависимости. Для примера такой зависимости можем рассмотреть функцию одного аргумента (рис. 2.3). На данном примере мы видим, что существует два основных типа возможных решений, которые играют существенную роль в определении устойчивости. Предполагается, что влияющий параметр может меняться в диапазоне от x_{min} до x_{max} . Необходимо, чтобы результат таких изменений находился в приемлемом диапазоне—от u_{min} до u_{max} .

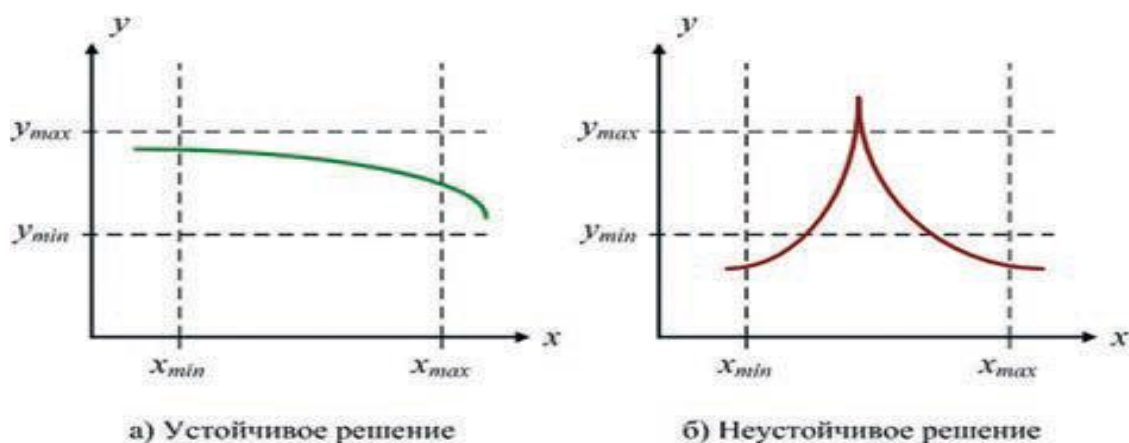


Рис. 2.3 – Пример определения устойчивости

Существуют следующие группы ключевых показателей эффективности, указанные в рекомендации Y.4900:

- Информационные и телекоммуникационные технологии
- Производительность
- Экологическая устойчивость
- Качество жизни
- Физическая инфраструктура
- Справедливость и социальная интеграция

В частности, в группе инфокоммуникационных технологий существует 4 вида KPI:

- Сеть и доступ
- Поддерживаемые услуги и информационные платформы
- Информационная безопасность и конфиденциальность
- Электромагнитное поле

Одним из важных понятий для УУГ считается качество жизни—QoL (quality of life). Этот термин уместно отнести к классу «self-defining», то есть к самоопределяющимся понятиям. Формально желательный уровень качества жизни можно рассматривать как соответствие всех функций, определяемых совокупностью заданных KPI, варианту «Устойчивое решение».

Перечень KPI еще будет дорабатываться и конкретизироваться для сферы ИКТ, но уже существует набор показателей для пакетных сетей:

- *IPTD*—IP packet transfer delay (задержка переноса IP-пакетов между интерфейсами пользователь–сеть);
- *IPDV*—IP packet delay variation (вариация задержки IP-пакетов между интерфейсами пользователь–сеть);
- *IPLR*—IP packet loss ratio (доля потерянных IP- пакетов между интерфейсами пользователь–сеть);
- *IPER*—IP packet error ratio (доля искаженных IP- пакетов между интерфейсами пользователь–сеть).

Рассмотрим табл. 1, которая содержит показатели QoS для инфокоммуникационных услуг разного вида.

Таблица 2.1

Класс QoS	<i>IPTD</i> , мс	<i>IPDV</i> , мс	<i>IPLR</i>	<i>IPER</i>
I	1,0	0,5	10^{-5}	10^{-6}
II	10,0	5,0	10^{-4}	10^{-5}
III	100,0	50,0	10^{-3}	10^{-4}

K	1000,0	-	10^{-3}	10^{-4}

Нормы для классов I и II основаны на требованиях «Тактильного Интернета», который большей частью использует технологии туманных и капельных вычислений. Нормы для класса III совпадают с метриками, принятыми в рекомендации ITU-T Y.1541 [14] для нулевого класса обслуживания в сети связи общего пользования. Класс под номером «K» аналогичен пятому классу в рекомендации ITU-T Y.1541.

Выбор класса для инфокоммуникационных услуг, предоставляемых в УУГ, может быть сделан только в результате анализа тех требований, которые присущи всем его системам и элементам. Следует отметить, что выбор класса обслуживания в значительной мере определяется техническим заданием на каждую систему в целом и ее конкретные элементы.

Одна из наиболее удачных моделей, включающая системы и элементы УУГ, приведена в Приложении 27 (Supplement 27) к рекомендациям МСЭ

серии У. В этом Приложении предложена мета-архитектура УУГ в виде пяти-уровневой структуры. Она воспроизведена на рис. 2.4.

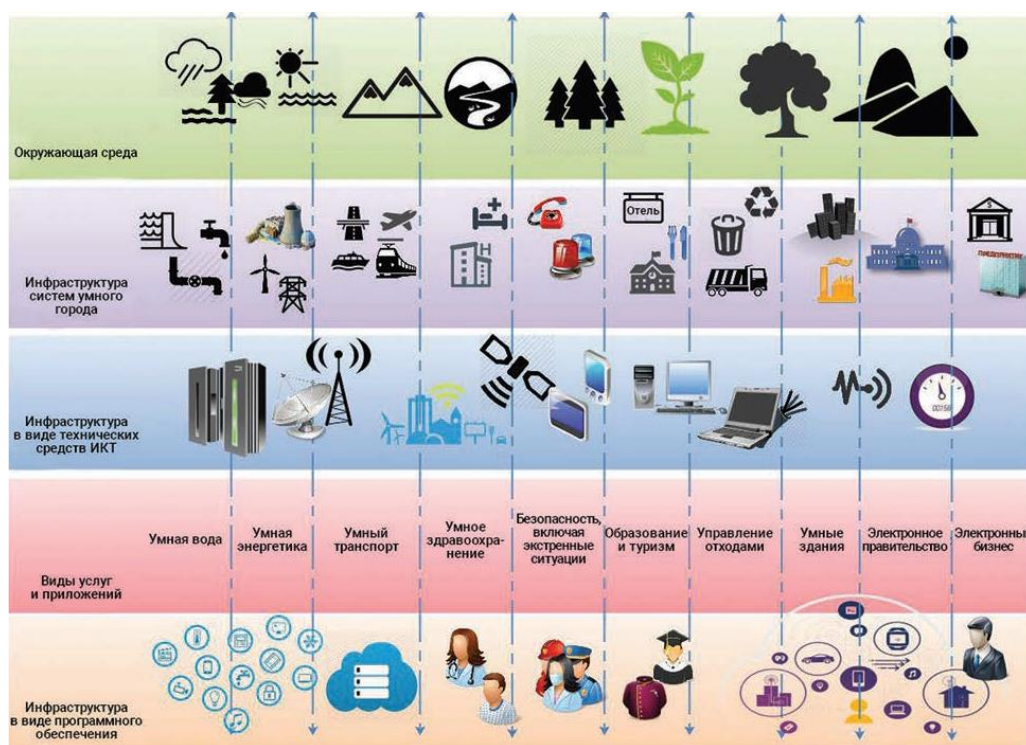


Рис. 2.4 – Пятиуровневая модель мета-архитектуры УУГ

Название «мета-архитектура» использовано для того, чтобы подчеркнуть следующий факт: необходима дальнейшая детализация предложенной модели. Эта детализация должна быть направлена на конкретизацию тех систем, которые расположены на всех пяти уровнях мета-архитектуры УУГ.

Речь идет о выделении элементов, которые определяют основные функциональные свойства каждой системы. Кроме того, важны и связи между элементами. При этом, с точки зрения задач, стоящих перед ИКТ, ряд систем УУГ может не детализироваться, если их анализ как «черного ящика» позволяет получить всю необходимую информацию.

Совокупность технических средств ИКТ считается своего рода нервной системой УУГ. Технические средства ИКТ обеспечивают взаимодействие между различными компонентами УУГ. Совокупность аппаратно-программных средств ИКТ и линейно-кабельных сооружений можно рассматривать как платформу, при помощи которой осуществляется обмен информацией между компонентами УУГ. Платформа выполняет также и часть функций по

обработке информации. Такой подход позволяет представить укрупненную модель УУГ в виде набора систем, состоящих из ряда элементов. Предлагаемая модель показана на рис. 2.5.

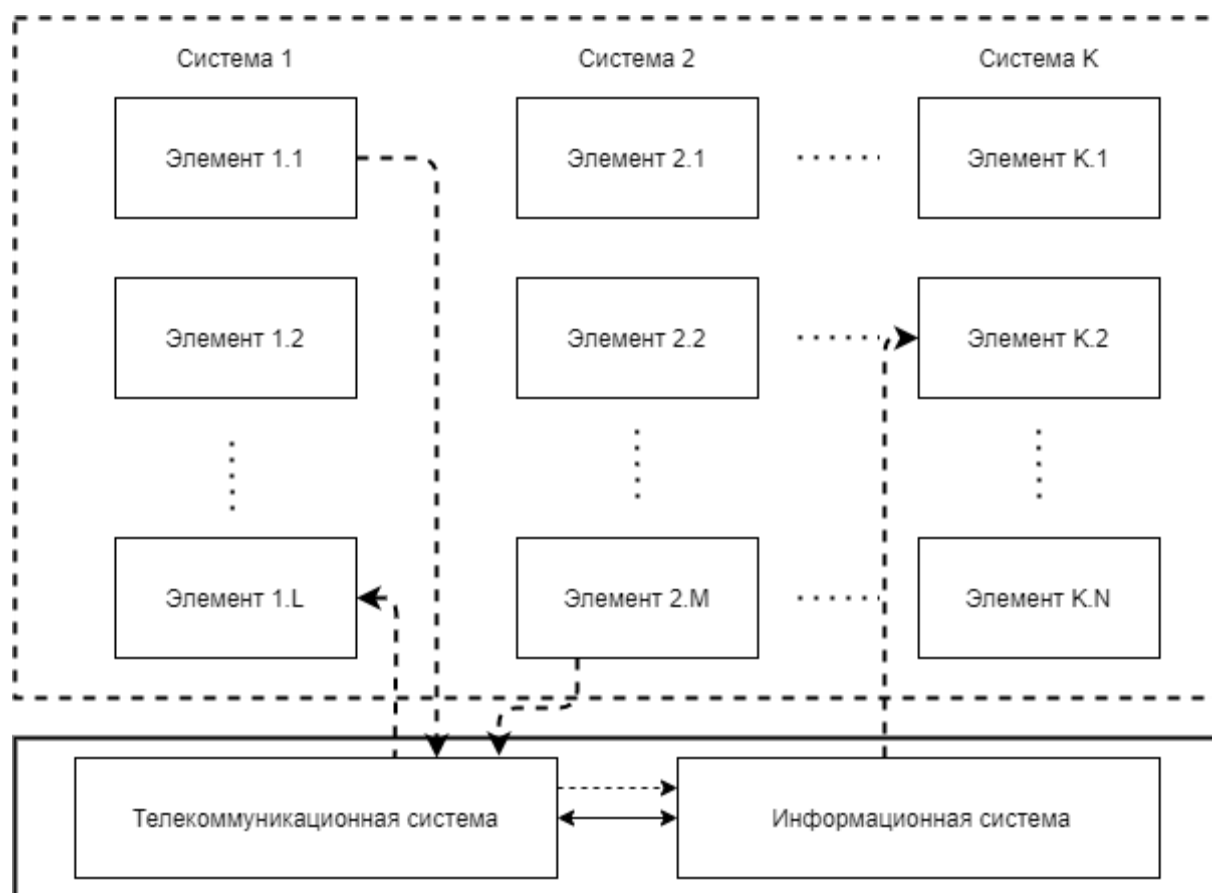


Рис. 2.5 – Укрупненная модель

Предполагается, что в составе технических средств, формирующих УУГ, можно выделить К крупных самостоятельных систем, каждая из которых состоит из набора элементов. Их численность обозначена латинскими буквами L, M и N. Платформа ИКТ, в свою очередь, состоит из двух крупных систем: телекоммуникационной и информационной. Системы в целом и их отдельные элементы будут использовать функциональные возможности телекоммуникационной системы для обмена информацией и получения обработанных данных. Причем на разных этапах жизненного цикла УУГ сочетания используемых функциональных возможностей телекоммуникационных и информационных ресурсов для каждой системы могут меняться в широких пределах.

Пример задействования только телекоммуникационных ресурсов показан для взаимодействия элементов с номерами 1.1 и 1.L; обработка

информации в подобных случаях осуществляется вычислительными ресурсами системы 1. Взаимодействие элементов с номерами 2.М и К.2 подразумевает использование и ресурсов информационной системы, что означает обмен обработанными данными. При этом не исключено использование и вычислительных ресурсов систем 2 и К.

Эти обстоятельства отражают принципы связи двух существующих систем в составе УУГ, изображенных на рис. 2.6. Эта иллюстрация включает элементы, часть которых не соответствует стандартам УУГ. По этой причине необходимо использовать согласующие устройства, названные ниже адаптерами (А). Их обозначения снабжены нижними индексами, которые определяют либо вид согласования («Т»—телекоммуникационные средства, «И» — информационные процессы), либо номера элементов разных систем, взаимодействующих друг с другом. Выбранная модель предполагает, что обе системы содержат собственные платформы ИКТ, построенные по корпоративным стандартам. По этой причине необходимо обеспечить их взаимодействие с платформой ИКТ, построенной в полном соответствии со стандартами УУГ.

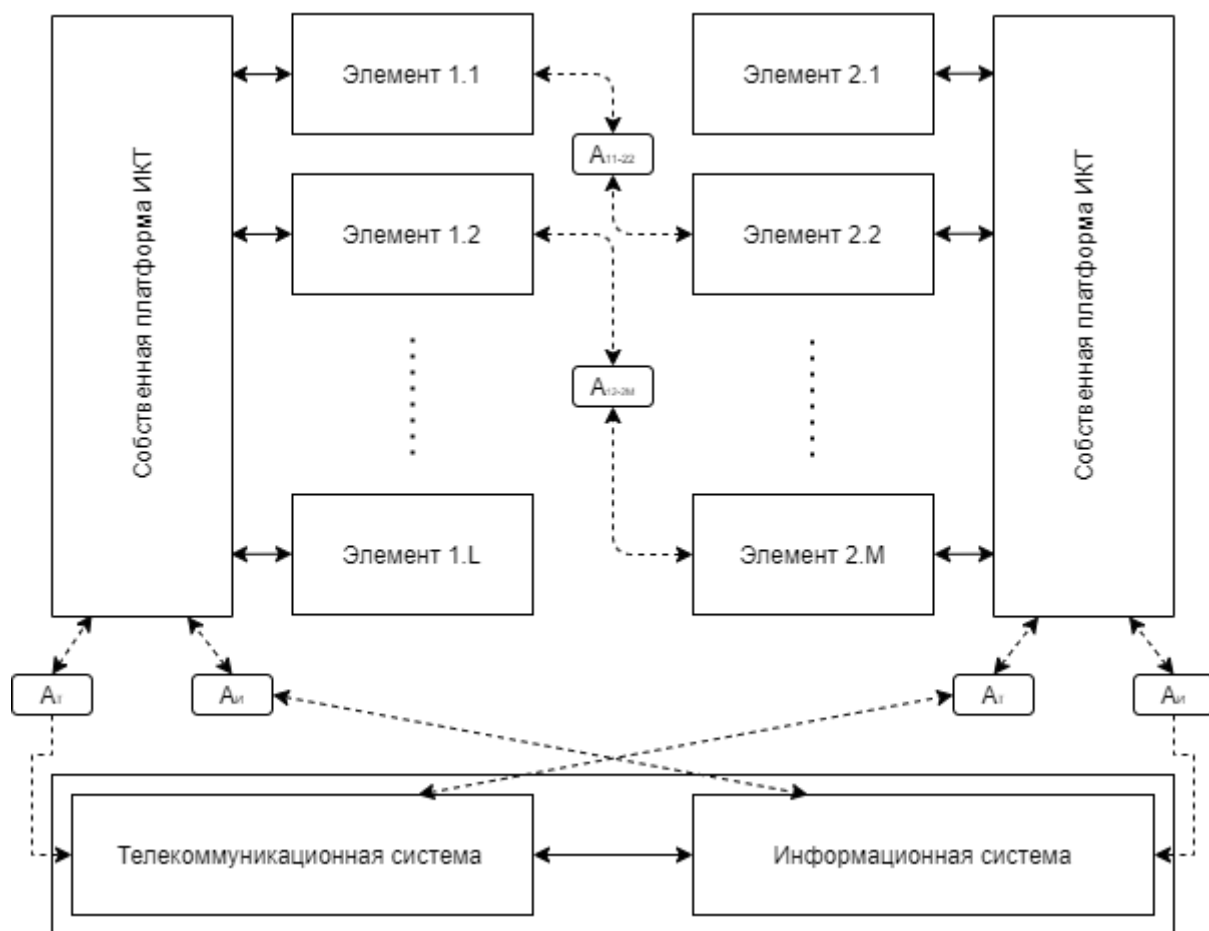


Рис. 2.6 – Принципы взаимодействия двух систем в УУГ

Технические требования ко всем типам адаптеров могут быть составлены только после изучения тех принципов, на которых они созданы, и анализа прогнозов развития каждой системы и ее основных элементов. По всей видимости, адаптеры АТ и АИ будут использоваться всегда. Количество видов адаптеров класса ААВ-СD должно быть минимальным, но ряд подобных согласующих устройств может оказаться оптимальным средством решения некоторых задач в УУГ.

Телекоммуникационную систему в УУГ не следует рассматривать как совокупность специально создаваемых технических средств. Ее можно определить как часть ресурсов телекоммуникационной системы, построенной и развиваемой с учетом, в том числе, требований УУГ. При этом для поддержки функций УУГ могут быть задействованы практически все известные средства:

- фиксированная связь;
- мобильная связь;

- спутниковая связь;
- беспилотные летательные аппараты;
- высотные платформы;
- системы сенсорной связи;
- другие решения.

Информационную систему в УУГ также не следует рассматривать как совокупность специально создаваемых вычислительных средств. Среди информационных технологий в первую очередь найдут применение:

- Data Mining [8] — получение новых знаний в результате анализа доступных данных;
- Big Data [9] — анализ больших объемов данных;
- Neural Network [10] — нейронная сеть.

В дальнейшем ожидается интенсивное развитие новых информационных технологий, основанных на идеях искусственного интеллекта. С точки зрения размещения средств обработки информации, в УУГ найдут применение концепции облачных (Cloud Computing), туманных (Fog Computing) и капельных (Dew Computing) вычислений.

2.3 Сетевые технологии

В этом разделе мы исследуем различные сетевые и коммуникационные требования различных приложений умного города, а также протоколы, которые могут использоваться для подключения компонентов, используемых для поддержки таких приложений.

Приложения с коммуникацией на короткие расстояния, такие как интеллектуальные здания и интеллектуальные сети водоснабжения, могут использовать протоколы из класса персональных сетей (PAN), такие как IEEE 802.15.4 (Zigbee) и 801.15.1 (Bluetooth). Эти протоколы обычно характеризуются меньшей пропускной способностью, низким энергопотреблением и малым радиусом действия. Приложения, требующие больших расстояний, такие как интеллектуальная транспортировка, производство и управление, используют протоколы, относящиеся к классу локальной сети (LAN), например IEEE

802.11 (WiFi). Приложения, требующие широкополосной связи, такие как беспилотные летательные аппараты и интеллектуальные сети, могут использовать протоколы, относящиеся к классу глобальной сети (WAN), например IEEE 802.16 (WiMAX), сотовую связь и спутник. Все эти протоколы поддерживают асинхронные и синхронные подключения к данным. Первый может использоваться с приложениями умного города с трафиком с максимальными усилиями, который может допускать задержку, а второй может использоваться с приложениями, которые генерируют трафик, требующий более строгих требований к качеству обслуживания (QoS), таких как большая пропускная способность и ограниченная задержка. Такие приложения предполагают обмен данными в реальном времени и мультимедиа. Кроме того, в этих протоколах есть службы надежности и безопасности. Однако большинство функций безопасности требуют дополнительной обработки и могут вызвать дополнительную задержку и потребление энергии. Следовательно, эти соображения следует принять во внимание перед включением таких функций.

LoRa и LoRaWAN – это не сотовые протоколы беспроводной связи LPWAN [8]. LoRa – это уровень радиосвязи, обеспечивающий связь на большие расстояния. LoRaWAN – это протокол связи и системная архитектура для сетей IoT. Стек технологий LoRa / LoRaWAN – лучший выбор для подключенных городов из-за большого диапазона сигнала и минимальных требований к мощности. Теоретическое покрытие LoRa составляет 15 км для пригородов и 5 км для городских районов. Эти коммуникационные протоколы позволяют решить проблемы, связанные с развертыванием Интернета вещей в коммерческих и промышленных условиях. Эти протоколы LPWAN являются энергоэффективными и предлагают сравнительно недорогой способ реализовать основу IoT программных решений для умного города. Неудивительно, что LoRaWAN является одним из наиболее широко используемых протоколов LPWAN, с 600 известными вариантами использования и 97 миллионами устройств, подключенных к сетям в 100 странах (и их количество продолжает расти).

Облачные вычисления - важный компонент любого умного города, поскольку они могут обеспечить масштабируемую вычислительную мощность и хранилище данных для различных приложений умного города [7, 21]. Облачные вычисления обладают мощными возможностями обработки, большим масштабируемым хранилищем данных и передовыми программными сервисами, которые можно использовать для создания различных сервисов поддержки для предоставления различных приложений умного города. Облачные вычисления могут использоваться в качестве основной платформы контроля и управления, используемой для выполнения приложений умного города. Различные датчики и исполнительные механизмы приложений умного города могут быть подключены к городским службам облачных вычислений для сбора, обработки, хранения данных датчиков и выполнения задач управления для различных приложений умного города. Поскольку данные, собранные в умном городе, также могут стать большими данными, поскольку огромные объемы данных собираются по всему городу. Облачные вычисления могут предоставить необходимые мощные платформы для хранения и обработки этих больших данных для улучшения операций и планирования.

Связь между городскими датчиками и исполнительными механизмами и облачные вычисления могут включать в себя различные требования к связи для бесперебойной поддержки приложений умного города. Эти требования должны поддерживаться сетевыми архитектурами, развернутыми в умном городе. Интеллектуальные приложения полагаются на интеграцию между датчиками и исполнительными механизмами с одной стороны и облаком с другой и не могут работать хорошо, если нет хорошей сети, которая предоставляет хорошие услуги связи, соединяющие обе стороны. Другая проблема, которая возникает при использовании облачных вычислений для умного города, заключается в том, что облачные сервисы предлагаются либо в централизованном месте, либо на нескольких распределенных платформах в разных местах. Подход распределенных облачных вычислений может обеспечить лучшее качество и надежность поддержки для различных облачных приложений.

Однако обычно существует потребность в обеспечении хороших каналов связи между распределенными средствами облачных вычислений, доступными в разных местах. Еще одна проблема, возникающая при использовании облака, - надежность и производительность сетей, соединяющих все компоненты с обеих сторон. В сочетании с Интернетом возникают проблемы с задержками, потерянными пакетами и нестабильными соединениями. Для учета этих проблем необходимо тщательное планирование и управление сетевыми ресурсами и моделями связи в дополнение к дизайну и архитектуре приложения умного города. Тем не менее, есть некоторые неизбежные аспекты, такие как задержки передачи.

Хотя облачные вычисления могут предоставить множество передовых и полезных услуг для приложений умного города, они не могут обеспечить хорошие условия для распределенных приложений, которым требуются услуги в реальном времени, мобильность, низкая задержка, потоковая передача данных, синхронизация, координация и услуги поддержки взаимодействия. В основном это связано с задержками передачи, вызванными большими расстояниями, которые необходимо преодолеть между цензорами и устройствами умного города и облачными платформами. Кроме того, облачным вычислениям сложно управлять большим количеством разнородных датчиков, исполнительных механизмов и других устройств, распределенных на большой площади, и работать с ними. Недавно были введены туманные вычисления, чтобы предложить более локализованные услуги с малой задержкой и мобильностью. Туманные вычисления позволяют перенести некоторые функции из облака ближе к устройствам. Этот подход направлен на включение различных приложений IoT через распределенные узлы тумана, которые предоставляют локализованные услуги для поддержки этих приложений IoT. В умном городе туманные вычисления могут дополнять облачные вычисления для поддержки приложений умного города. В то время как облачные вычисления могут предоставлять мощные и масштабируемые услуги для приложений умного города, туманные вычисления могут предоставлять более локализованные, быстрые,

мобильные услуги и услуги потоковой передачи данных для приложений умного города. Кроме того, интеграция Интернета вещей, туманных вычислений и облачных вычислений может предоставить мощную платформу для поддержки различных приложений умного города. На рисунке 2.7 показано иерархическое представление, в котором устройства IoT используют топологию с несколькими переключениями для доступа к шлюзу, соединяющемуся с сервером тумана. Эта интегрированная платформа нуждается в хорошей сетевой и коммуникационной поддержке для эффективного взаимодействия между всеми этими компонентами. Это также включает в себя хорошую поддержку сетевой безопасности, чтобы избежать проблем с уязвимостью при интеграции и поддержке приложений умного города.

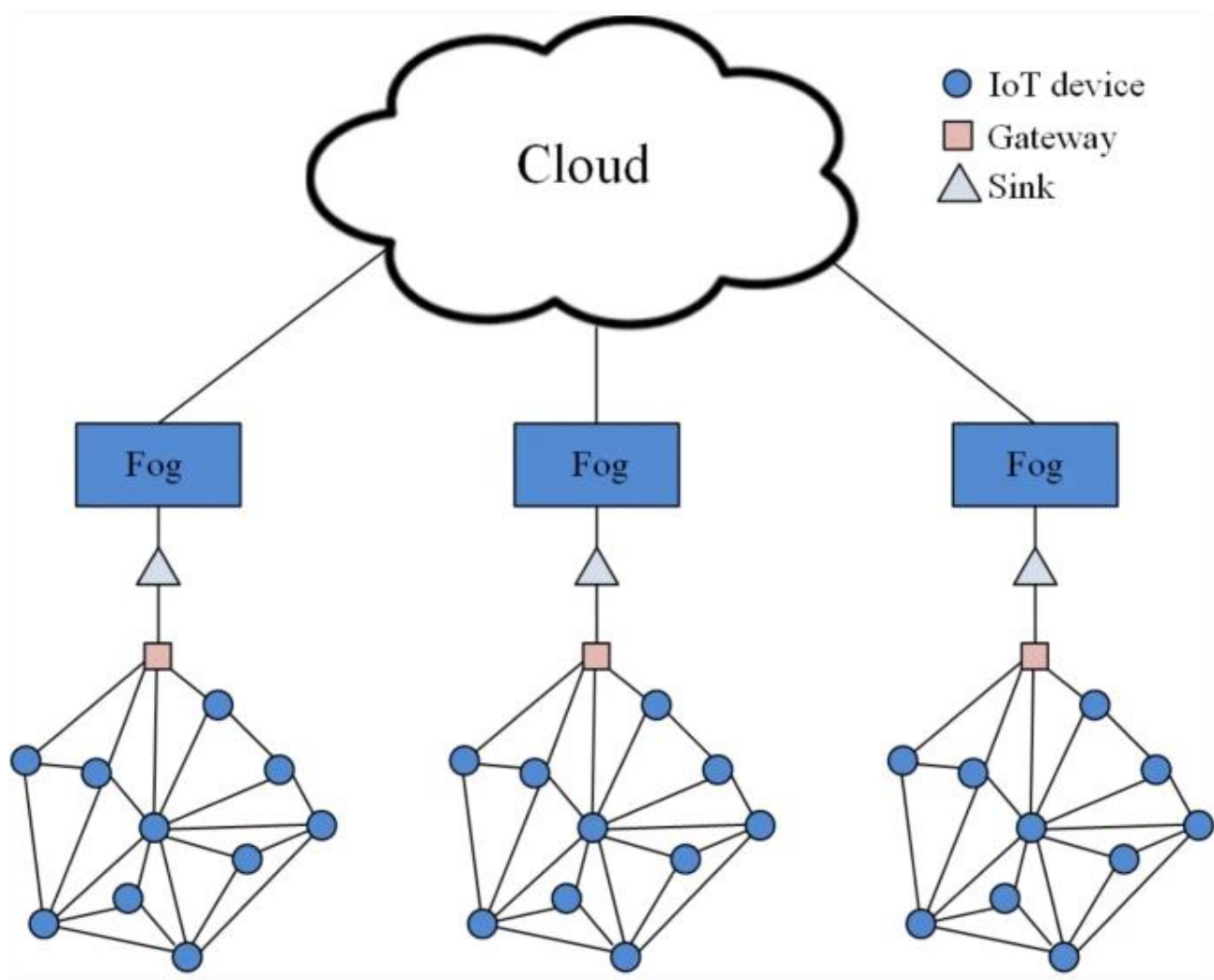


Рис. 2.7 – Иерархия облачных и туманных вычислений

2.4 Стандарты

Давайте сначала определимся, что же такое стандарты и для чего они необходимы. Для многих людей стандарты играют роль своеобразных ограничителей, которые устанавливают правила и не позволяют каких-либо вольностей или отклонений. Но это не так. Стандарты – это то, что в английском языке называется “best practices” – лучшие практики. Они описывают наилучший путь достижения цели, говорят, как решить ту или иную задачу наилучшим способом, опираясь на реальный опыт предыдущих испытаний. Естественно, с учетом какой-то выбранной метрики для получения наилучшего результата. Зачастую имеют экономическое отражение, именно поэтому экономика в основном выступает основной метрикой.

Необходимо отметить, что стандартизация в области «Умных городов» является ключевым моментом [15]. Введение стандартов даёт возможность использования взаимозаменяемых отдельных компонентов различных производителей. Для использования метрик, без которых не будет возможности фиксировать прогресс в реализациях умных городов и сопоставлять их развитие, также необходимы стандарты. И, несомненно, стандартизация имеет прямое общее экономическое влияние.

Теперь давайте рассмотрим отечественные и международные стандарты «умного города».

Должен сказать, развитие «умных городов» в России сейчас упирается в разработку соответствующих национальных стандартов. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) разработало методические рекомендации к проектам «умных городов». Данные рекомендации уже применяются в некоторых регионах страны в реализации определенных проектов. Также, в 2019 году Минстрой России выпустил базовые и дополнительные требования к умным городам. Эти требования были названы стандартом «Умного города». Но вся проблема заключается в том, что данный стандарт включает в себя лишь описание набора типовых обязательных и дополнительных решений. Другими словами, представляет собой список сервисов, рекомендуемых для внедрения. Также

министерство запустило в дополнение банк решений для «умных городов». Роль данного банка заключается в предоставлении ориентира при реализации проекта «Умный город». Данный стандарт содержит ссылки на описания уже реализованных и существующих проектов, также там указаны их локации, цели, задачи, основные параметры и результаты, достигнутые при их реализации.

Рассмотрим стандарт международной организации по стандартизации ISO. ISO 37120:2014 «Устойчивое развитие сообществ – индикаторы городских сервисов и качества жизни» был разработан в 2014 году, содержит в себе основные характеристики «умных устойчивых городов». Он применим в рамках любого города или иногда муниципального образования, независимо от размера, территории и финансового обеспечения.

Городские администрации могут его применять для:

- измерения динамики изменения качества городских услуг и качества жизни с течением времени
- упрощения сравнения городов по широкому ряду критериев;
- распространения лучших практик.

Стандарт ориентирован на обеспечение энергоэффективности, доступности основных ресурсов для жителей и экологической устойчивости. Приоритетным направлением документа является обеспечение «устойчивости» города, а не внедрение инфокоммуникационных технологий. Он предназначен не столько для городов с отстроенными процессами и отлаженной инфраструктурой, а, в большей степени, для городов с существенно отличающимся друг от друга различными уровнями развития. То есть этот стандарт нацелен на внедрение не в городах – лидерах в области применения новых технологий, а для обеспечения высокого уровня «устойчивости» менее развитых городов.

Британский институт стандартизации BSI создал набор стандартов, основной целью которого является определение направления развития и критериев «умного города». В этот набор входят следующие стандарты:

- PAS 180 – терминология «умных городов»;

- PAS 181 – основа для эффективной практики по разработке и реализации стратегий «умного города»;
- PAS 182 – концептуальная модель «умного города»;
- PD 8100 – обзор «умных городов»;
- PD8101 – руководство по планированию «умных городов»;

Разберем получше стандарты PAS 181, PD 8100 и PD 8101 (рис 2.8), так как они описывают критерии «умных городов» с точки зрения стратегического планирования. PAS 181 имеет статус национального стандарта. Он определяет основные принципы реализации проектов по созданию «умных городов», также он содержит рекомендации для администраций города. PD 8100 и PD 8101 созданы в качестве временного руководства.

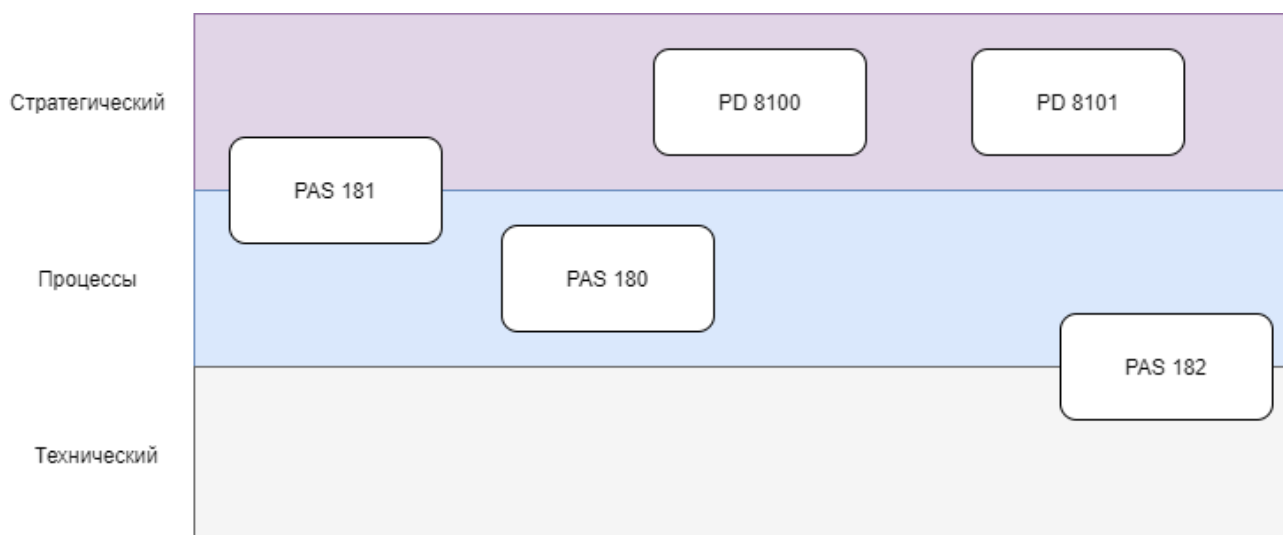


Рис. 2.8 – Уровни стандартизации BSI

В 2016 году в Индии была начата программа Smart Cities Mission. Данная программа нацелена на развитие ста «умных городов» Индии, и рассчитана она на 5 лет. Программа была создана для помощи городам в обеспечении достойного уровня жизни своих граждан, устойчивости окружающей среды и применении «умных» решениях. Для этой программы были созданы специальные критерии входа, согласно которым отбирали участников. Критерии включали в себя наличие основных элементов городской инфраструктуры.

Сотрудничество, состоявшее из секретариата Комитета по жилищному хозяйству и землепользованию ЕЭК ООН, Агентства по окружающей среде

Австрии (АОСА) и Международного союза электросвязи (МСЭ) установило показатели «умных устойчивых городов», которые были необходимы для реализации проекта «Объединенные умные города». В рамках этого проекта была нужна отправная точка для принятия конкретных решений и мер. Также на повестке стоял вопрос по организации более высокого уровня безопасности города, речь шла именно про его устойчивость к существующим и потенциальным угрозам. Была разработана определенная типология показателей:

- основные показатели – используются всеми городами;
- дополнительные показатели – ориентированы на узкое использование. Подразумевается, что данные показатели могут использоваться в зависимости от некоторых характеристик городов, например, экономического потенциала, роста численности населения, географического положения и т. д.

2.5 Риски и безопасность

Стандарты, реализации и концепции умных городов основаны на использовании цифровых и иных технологий, главной отличительной чертой которых является быстрое развитие. Также необходимо отметить, что нацелены они на экономические, социальные, экологические и другие положительные эффекты в последствии их использования в городах. Реализация таких инноваций позволяет не просто изменить уклад жизни горожан в лучшую сторону, но и делает это необыкновенно быстро. Правда за этими изменениями и их темпами кроется одно «но», за них приходится расплачиваться своей цифровой безопасностью. Давайте рассмотрим угрозы и опасности, которые нас могут ждать в случае внедрения данных технологий.

Одна из основных проблем – проблема «цифрового неравенства» [18, 19, 20]. Проблема неравенства всегда была одной из главных, но если раньше она заключалась в ограниченности круга лиц, который имел доступ к сети, и разном уровне компьютерной грамотности, то сейчас общество получило некое подобие «информационной классовой структуры». По мнению ученых, людей можно условно разделить на 3 класса:

- Генераторы данных – обычные пользователи, пользующиеся приложениями и агрегаторами данных;
- Интеграторы данных – владельцы серверов и приложений;
- Аналитики данных – люди, которые обрабатывают данные

Дело в том, что в современном мире муниципалитеты и их население занимают нишу генераторов «больших данных», но не выполняют функции агрегаторов или аналитиков. Чем же это плохо? При таком распределении ролей программы «умных городов» будут проходить в первую очередь с учетом коммерческих интересов владельцев данных и средств их аналитики, то есть местное управление и горожане уходят на второй план. Другими словами, коммерческие интересы корпораций будут превалировать над гражданскими. Р. Дж. Холланд высказывал подобные опасения еще в 2008 году, а В. Ниарос в своей таксономии «умных городов» даже использовал такой термин, как «корпоративный умный город» в качестве обозначения нового типа «умных городов».

Другая проблема заключается в том, что «умный город» как набор инструментов, объединяющих большие объемы различных данных, может играть роль строгого вертикального алгоритмического ограничителя от властей и коммерческих организаций, преследующих бизнес-интересы. Автор книги об умных городах Э. Таунсенд предупреждает, что «умный город» может стать машиной авторитарного контроля, что может привести к отказу правящей верхушки воспринимать желания большинства, а политика будет вестись под эгидой элитарных меньшинств.

Специалисты утверждают, что главными вопросами, поднимаемыми в муниципалитетах при реализации проектов «умного города», являются технические проблемы, а не задачи социального и политического развития, но ведь именно последние играют куда более важную роль в развитии города.

Также ряд авторов, описывающих концепцию «умного города» и вопросы ее стандартизации, часто упускают из вида исторический, социальный, культурный и политический опыт, благодаря которому существует и

продолжает развиваться городское сообщество.

Кроме того, существует множество других рисков, например:

- риск утечки данных, который заключается в краже денег, личных данных пользователей и коммерческой информации;
- риск технической неисправности. Включает в себя технические неполадки в работе устройств, которые могут привести к некорректной работе элементов «умного города», что может повлечет за собой появление проблем в работе городских служб;
- риск прекращения работы система из-за деятельности киберпреступников.

Во избежание вышеперечисленного некоторые города уже внедрили меры предосторожности, создали свою культуру кибербезопасности. Например, стали использовать сертифицированные биометрические системы, более развитую криптографию и улучшили политику в области цифровой конфиденциальности.

Начинать реализацию концепции «умного города» именно с обеспечения и составления бюджета кибербезопасности поможет избежать дополнительных расходов после ее установки и введения в эксплуатацию. Как и в случае с IoT в потребительских продуктах, для подключенных к городу систем также требуются протоколы безопасности.

Национальным институтом стандартов и технологий недавно была создана технология IoT, способная функционировать в масштабах города. Она способна решать вопросы кибербезопасности, интеграции и обмена данными. Ниже приведены примеры нескольких важных передовых практик для таких городов:

- Слишком часто с IoT основное внимание уделяется преимуществам, при этом мало внимания уделяется рискам. Создание политики в отношении конфиденциальности данных IoT и использования данных с самого начала может помочь предотвратить непреднамеренное неправильное использование. Надежная политика

может помочь сотрудникам и пользователям стать более безопасными.

- Управление идентификаторами имеет решающее значение для всех подключенных систем. Каждый подключенный элемент инфраструктуры может иметь разные правила или стандарты для предоставления доступа, некоторые из которых слабее других. Синхронизируя учетные данные доступа - таким образом устраняя слабые места - города могут помочь защитить личную информацию жителей.
- Каждое подключенное устройство начинает генерировать данные с момента его подключения и каждую секунду после этого. Прежде чем система заработает, менеджеры умного города должны четко понимать масштабы собираемых данных, а также то, как они будут использоваться. Таким образом, оно может быть лучше защищено и надлежащим образом зашифровано с самого начала.
- Очень немногие люди в любой организации должны знать все в данной системе. Протоколы и параметры доступа создают границы, при этом обеспечивая открытость и функциональность, необходимые для эффективности подключенной инфраструктуры. Протоколы обеспечивают полную ответственность, идентифицируя, кто использует информацию, обеспечивая их авторизацию и управляя этим доступом. Это также продвигает культуру кибербезопасности, устанавливая автоматические стандарты и ограничения.
- В настоящее время последствия для киберпреступлений ограничены и плохо определены. Санкции, штрафы должны быть обновлены, чтобы отразить последствия для нарушителей.
- Злоумышленники стараются, чтобы их действия в сети выглядели как можно более нормальными. Тем не менее, вход одного пользователя в разные системы с разными IP-адресами одновременно может быть подозрительным. Все журналы с серверов, сетевых

устройств, приложений и других центральных объектов должны анализироваться централизованно и соотноситься с результатами систем обнаружения вторжений.

- Каждый день злоумышленники пытаются найти еще неизвестные уязвимости в ИТ-подразделении организации. Непрерывное отслеживание этих проблем с внутренней (в рамках сети организации) и внешней точки зрения (из Интернета) является предпосылкой для обнаружения, отсутствующего или небезопасного шифрования.
- Злоумышленник рано или поздно передаст данные. Это станет очевидным благодаря комплексному мониторингу безопасности всех систем, трафика данных и доступа ко всем чувствительным системам и данным. Передача данных с внутренних на внешние IP-адреса, с которыми не существует деловых отношений, должна незамедлительно выполняться и должна анализироваться экспертами. Это требует применения систем обнаружения вторжений и других инструментов, а также поддержки экспертов, которые правильно настраивают эти системы, адаптируют их к текущим условиям и анализируют их результаты.

Как утверждает ABI Research, в 2024 году количество подключений к умным городам в глобальных сетях должно равняться примерно 1,3 миллиарда. По их оценкам, около 50% этих подключений будут LPWA-LTE и LPWA. Необходимо отметить, что хоть некоторые протоколы LPWA, например, NB-IoT, рассчитаны на решение по крайней мере некоторого количества проблем информационной безопасности, но основной их целью является все-таки снижение стоимости полосы пропускания, увеличение покрытия и снижение задержки, то есть они непригодны для борьбы с киберугрозами, возникающими в условиях умного города.

Для более результативной борьбы с кибератаками нужно использовать методы анализа, построенные на оценке поведения. Для реализации такого метода предотвращения атак необходимо реализовать систему раннего

предупреждения, которая, в свою очередь, будет построена системе поведенческого анализа, а для углубленного анализа должны использоваться системы, различающие нормальное и ненормальное поведение с помощью статистических модулей, рекурсивных методов и алгоритмов самообучения.

2.6 Проблемы и перспективы развития

Помимо отсутствия концепции «умного города», национальных стандартов, сейчас в России из-за политических, экономических и других особенностей страны существуют такие проблемы на пути к цифровизации, как [15, 17]:

- дефицит высококвалифицированных кадров в сфере цифровой трансформации;
- устаревшие нормативно-правовые акты в сферах обеспечения безопасности, ЖКХ, энергетике;
- несвязность взаимодействия ведомств, органов исполнительной власти, органов местного самоуправления, представителей разных отраслевых направлений, ответственных за организацию мероприятий, реализуемых в рамках проектов по цифровизации;
- отсутствие площадок для обмена лучшими практиками в области цифровизации;
- стоимость «умных» решений.

Существование таких проблем означает, что еще есть, над чем работать. Давайте разберем направления, которые наиболее перспективны для новых разработок в рамках «умных устойчивых городов». Я выделил 5 следующих направлений, которые, по моему мнению, приведут к получению преимуществ на определенных конкурентоспособных нишах:

- Комплекс технических средств для телекоммуникационной системы;
- Программное обеспечение для информационной системы;
- Согласующие устройства (адаптеры) для разных элементов по частным ТЗ;

- Интеграционные решения (проекты) класса «умный устойчивый город»;
- Системные исследования с учетом новых эволюционных процессов.

Первый пункт включает в себя разработку комплекса технических средств для телекоммуникационных систем с целью внедрения их в умные устойчивые города.

Второе направление содержит разработку программного обеспечения для информационной системы в умном городе.

Третий пункт описывает одно из наиболее привлекательных направлений, так как уже есть необходимый опыт по созданию и применению всех необходимых аппаратно-программных средств, также за счет актуальности разработок и применения адаптеров не создается ощущения больших рисков при финансовой поддержке данной ниши, что сможет привлечь больше потенциальных инвесторов.

Как и предыдущий пункт четвертая ниша имеет определенный фундамент, она основывается на опыте в разработке и использовании инновационных и интеграционных решений. Для повышения ценности подобных решений необходимо представлять их в проектной форме.

В последнем пункте речь идет об анализе перспективных аспектов эволюции концепции умного устойчивого города. Результатами этих исследований должны быть определены направления последующих разработок для развития проекта умного города.

2.7 Вывод

Подводя итоги, хотелось бы отметить, что в России растет интерес к «умным городам», но редко доходит до практической реализации данной концепции. На сегодняшний день Москва является самым современным городом с точки зрения реализации концепции умного города, переходя от пилотных проектов к комплексному развитию на основе более широкого набора данных.

Умные решения получили распространения не только в столице, но и за

ее пределами. Санкт-Петербург и Томск также смогли получить одобрение на реализацию умных систем сфере безопасности и менеджмента городских служб. Также пилотные проекты по развитию интеллектуальной энергетики появились в планах развития некоторых городов.

Каким образом можно стимулировать развитие умных городов в России? Для реализации концепции «умного города» необходимо выполнение определенных условий. Во-первых, необходимо иметь развитую инфраструктуру, в том числе IT-инфраструктуру с высокой степенью готовности принимать инновации, такие как технологии мониторинга, сбора, обработки и контроля данных; во-вторых, наличие единых стандартов, на основе которых будут разработаны системы управления и последнее, но не по значимости, наличие пользователей для тестирования и стимулирования развития системы.

Сейчас, к сожалению, существуют проблемы по всем этим направлениям и не только в России. Из-за слабого интереса многих государств к умным технологиям, высоких первоначальных затрат, отсутствия единых стандартов, опыта реализации и понимания перспектив и преимуществ концепция умного города не может развиваться в полной мере.

Чтобы преодолеть указанные препятствия, власти должны сформулировать долгосрочные цели и создать условия для их реализации. Развитие необходимой инфраструктуры может быть обеспечено с помощью различных моделей государственно-частного партнерства, а финансирование ключевых проектов может осуществляться за счет льготных бюджетных ресурсов.

Глава 3. Дополненная реальность в умных устойчивых городах

3.1 Анализ приложений дополненной реальности

В первой главе я изучил технологию дополненной реальности, разобрал основы и принципы ее построения, определили области и варианты применения, но так и не затронул вопрос использования AR в городском пространстве. Как технология дополненной реальности может помочь в реализации концепции умного устойчивого города?

Технология дополненной реальности и рынок для нее достаточно созрели, чтобы иметь возможность играть центральную роль в умных городах. Согласно отчёту ведущей аналитической компании в сфере AR и VR DigiCapital, сегодня технологии дополненной реальности используют в основном для игр, развлечений и маркетинга. Более нестандартное направление — вовлечение и анализ реакций жителей в процессе проектирования пространства. Ещё одно из развивающихся направлений – навигация.

В одном из самых популярных навигационных приложений – Google Maps уже можно использовать дополненную реальность, которая добавляет дополнительные цифровые слои в настоящий мир. Навигация с AR основана на геотегах и визуальных элементах пространства. Реализация данной технологии в картах от Google возможна благодаря алгоритму, который, опираясь на фотографии местности из Google Street View, анализирует и распознает окружающий мир, и затем, исходя из полученной информации, отображает элементы AR. Например, он понимает, где на экране должен быть индикатор маршрута для пользователя. Также Google Maps заботится о безопасности пользователя, напоминая ему отрывать взгляд от экрана телефона, чтобы в полной мере оценить ситуацию на дороге.

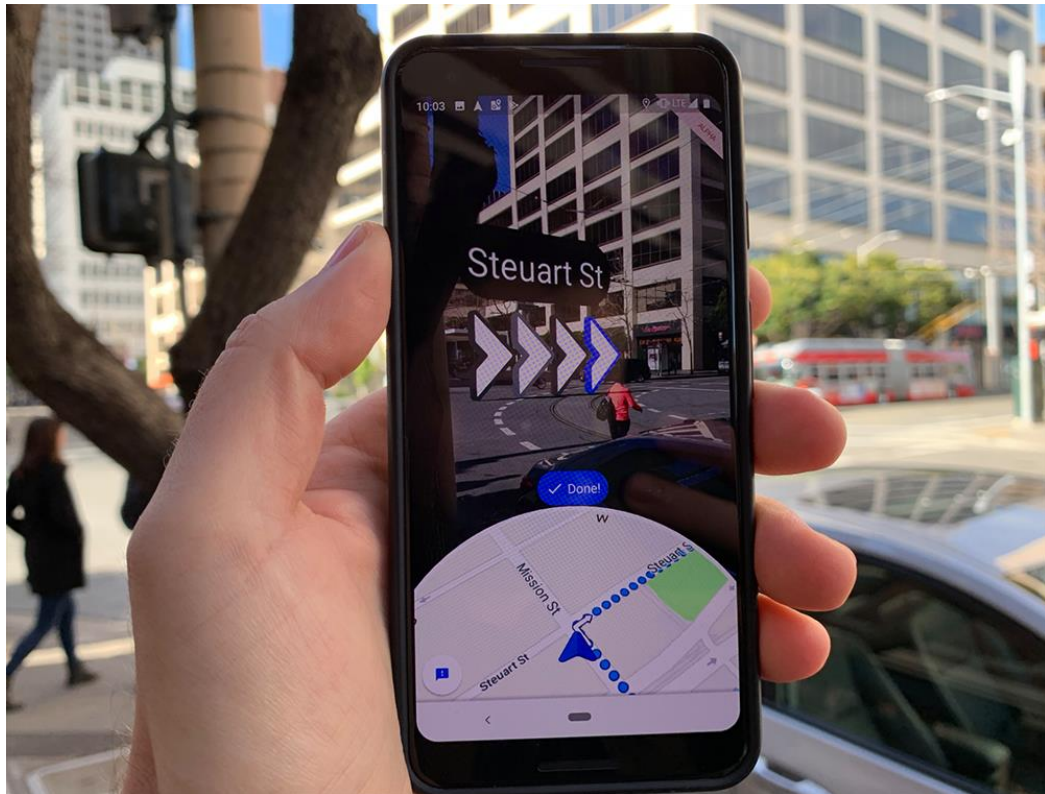


Рис. 3.1 – AR в Google Maps

Еще одно навигационное приложение – AR City от компании Virrag. Приложение поможет вам исследовать 300 городов по всему миру с помощью масштабируемой дополненной реальности. Приложение содержит информацию о достопримечательностях, улицах и ресторанах. Также AR City прокладывает маршрут, используя виртуальные указатели, проецируя маршрут на реальную поверхность. Новаторством этой навигации является инновационная система визуального позиционирования в городах (UVP), которая точнее GPS более чем в два раза. На данный момент это приложение в полной мере может показать свой функционал только в трех городах мира: Лондоне, Сан-Франциско и Маунтин-Вью, но это только начало, в дальнейшем приложение будет совершенствоваться.



Рис. 3.2 – AR City Flippar

Свой вклад в AR-навигацию внесла и компания Urbica. Они выпустили объемную карту Санкт-Петербурга в дополненной реальности. Пока что приложение только развивается, но там уже доступно семь 3D-моделей самых известных зданий Северной столицы. Приложение называется Areal, и работает оно достаточно просто: на плоской поверхности отображается карта города с метками, которые обозначают те самые семь самых популярных туристических мест, нажатием на них можно посмотреть 3D-модели зданий.



Рис. 3.3 – AReal

Технологии дополненной реальности используются даже в музейном пространстве. В Центральном музее железнодорожного транспорта можно увидеть AR-экспонаты с помощью приложения «Музей AR». Также в Петербурге не так давно открылся проект «Музей улиц AR», который дает возможность стать свидетелем тех или иных исторических событий, происшедших в Культурной столице. Это приложение создает реконструкции 17-20 веков на улицах Петербурга с помощью технологии дополненной реальности.



Рис. 3.4 – ЦМЖД

В Санкт-Петербурге разработали приложение для восстановления стрит арта, оно называется AR Hunter. Это приложение дает возможность увидеть Петербургские граффити, которые были закрасены коммунальщиками. Все работы отмечены на карте Питера. Работает оно следующим образом: человек находит на карте интересующую его работу, приходит к ней, находит метку (метки электросетей, таблички, вывески), к которой прикреплена AR-модель, с помощью камеры смартфона наслаждаться уличным творчеством.



Рис. 3.5 – AR Hunter

Социальные платформы также привносят свой вклад в развитие AR в рамках города. Instagram, Facebook, Snapchat, TikTok, WeChat содержат данные с тысячами фотографий популярных городских достопримечательностей по всему миру. Используя нейросеть, которая была обучена на этих фото, можно достаточно точно определять выбранные здания и объекты. Так и сделала компания Snapchat, которая смогла добавить слой дополненной реальности, рассказывающий историю какого-либо места или даже оживляющий здание.



Рис. 3.6 – Snapchat

Как я уже сказал, дополненную реальность можно использовать в качестве основы для социальной платформы, где граждане могут взаимодействовать друг с другом, обмениваться информацией и оставлять комментарии о реальных физических объектах, таких как рестораны, больницы и другие. Примером такой социальной сети может послужить приложение Markies. По заявлениям Emerge, приложение Markies предлагает пользователям оставить свой след в реальном мире, делая или загружая фотографии и размещая их в пространстве AR, перед достопримечательностями, зданиями или в любом другом месте, где они захотят. Пользователи могут исследовать изображения своих друзей и общедоступные изображения, исследуя реальный мир, дополняя реальность своим собственным и чужим взглядом на него.



Рис. 3.7 – Markies

С помощью инструмента AR-краудсорсинга, авторами которого является выпускник московского института Стрелка, в дополненной реальности можно увидеть объект в городском пространстве. На первоначальном этапе застройщик может составить примерный план расположения домов, детских площадок, магазинов, парков и так далее, а житель с помощью AR технологии в своем телефоне сможет не только увидеть, как это будет выглядеть, но и предложить свои правки, например добавить больше скамеек и урн в парк. Цель проекта состоит в том, чтобы застройщик или администрация города смогли наладить коммуникацию со своими жителями, автоматически получать и анализировать мнение своих горожан касательно того или иного строительного проекта.



Рис. 3.8 – AR-краудсорсинг

Недавно Кэролайн Беннетт из Департамента планирования и развития Бостона рассказала об использовании городами дополненной реальности для городского планирования на пользовательской конференции ESRI. Используя свою существующую лицензию с ESRI и инструментом ArcGIS Urban, отдел смог визуализировать результаты крупного строительного проекта в Бостон-Коммон и в ответ уменьшил начальную высоту здания. ArcGIS Urban дает возможность создавать, отслеживать и просматривать проекты развития города, дает возможность интегрировать информационное моделирование зданий наряду с другими типами 3D-информации на протяжении всего процесса реализации проекта. Такие функции позволяют иметь общее представление о руководящих принципах городского развития всем, кто работает над тем или иным городским проектом.

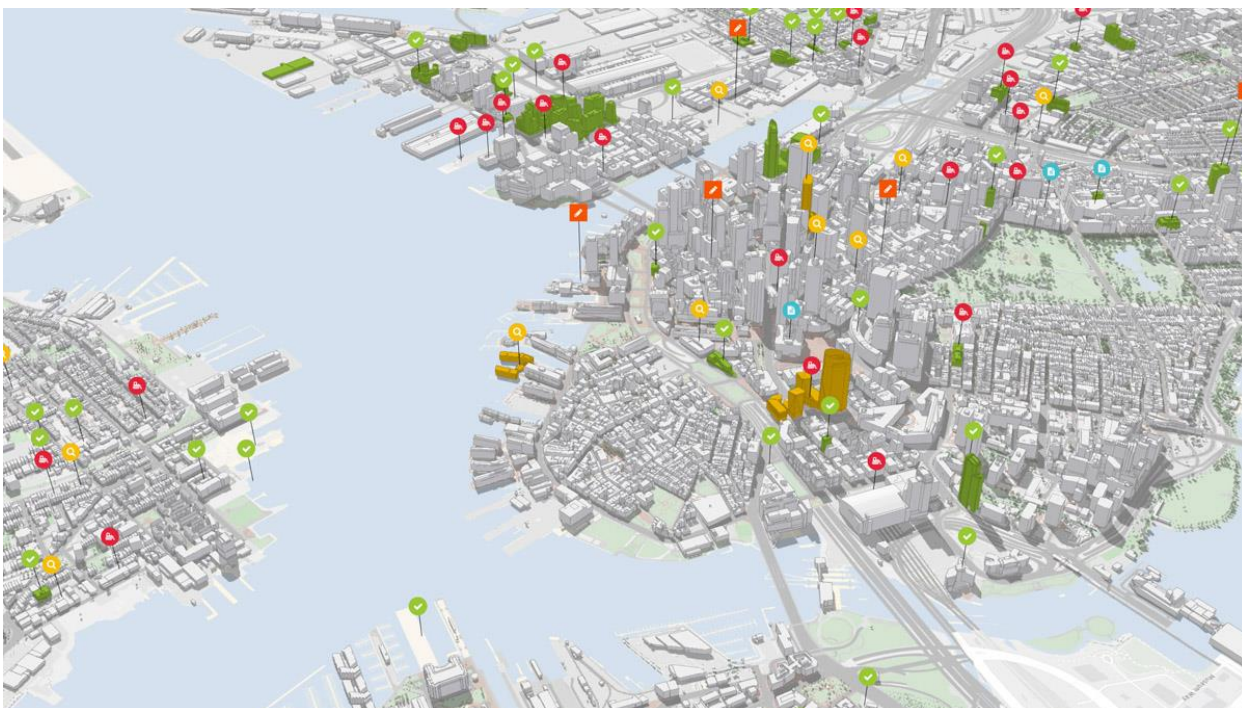


Рис. 3.9 – ArcGIS Urban

Еще одно приложение городского планирования с технологией дополненной реальности – AR Smart City. При помощи камеры своего смартфона вы можете спроецировать карту выдуманного города на любой плоскости, вы сможете наблюдать работу государственных служб: освещение города, транспорт, видеонаблюдение, организация общественных Wi-Fi сетей и т.п.

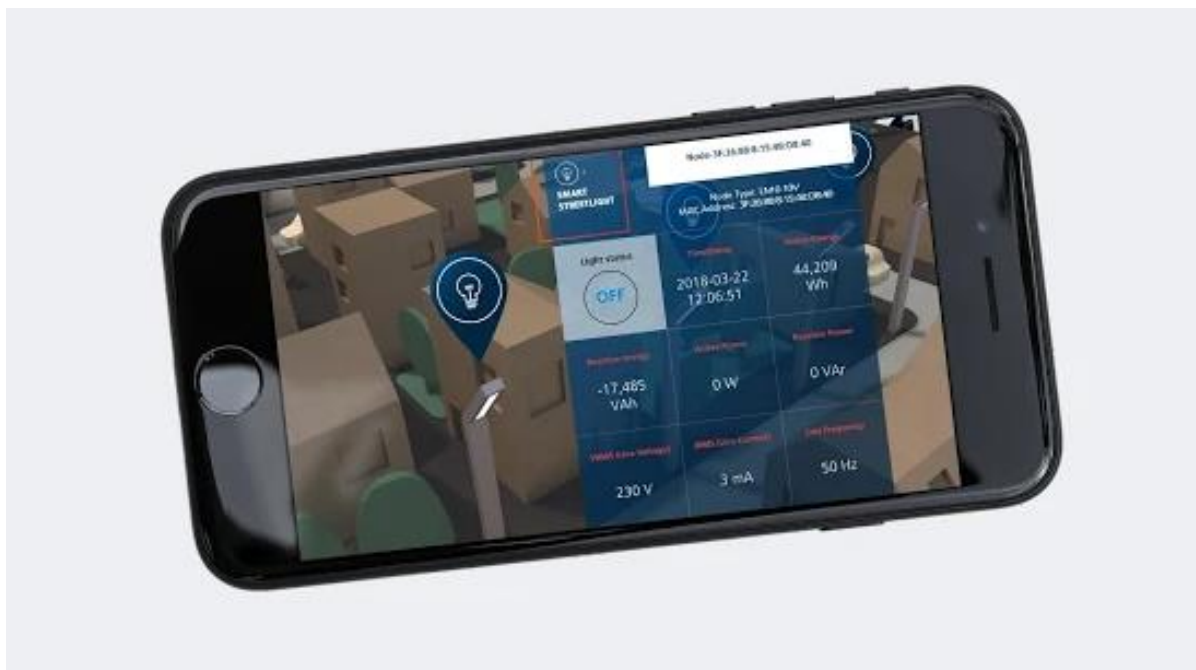


Рис. 3.10 – AR Smart City

Ниже приведена таблица с анализом технологий и областей применения выше рассмотренных приложений в рамках умного устойчивого города.

Ключевые системы УУГ	Система дополненной реальности	Способ идентификации и построения объектов	Сетевые технологии	Приложение	Особенности
Социальные коммуникации	Аудиовизуальная, интерактивная, мобильная	Визуальный. На основе маркера.	Облачные технологии. Протоколы LAN и MAN. Технологии доступа: LTE, Wi-Fi.	Snapchat, Markies	В разработке/не работает на территории РФ. Оконечные устройства: iOS/Android смартфоны.
Строительство	Визуальная, интерактивная, мобильная	Визуальный	Облачные технологии. Используются протоколы LAN, MAN и LPWAN. Технологии доступа: LTE, Wi-Fi, LoRaWAN.	Visual-Live	Только по QR-коду, модели создаются на ПК. Оконечные устройства: AR-очки (HoloLens), iOS (11)/ Android (7.0) смартфоны.
Управление	Визуальная, интерактивная, мобильная	Визуальный	На основе web, ГИС и облачных технологий. Используются протоколы LAN, MAN и LPWAN. Технологии доступа: LTE, Wi-Fi, LoRaWAN.	ArcGIS Urban	Пока что лишь интерактивное решение. Оконечное устройство: ПК. Работа происходит через web-браузеры, которые поддерживают WebGL и WebAssembly (Google Chrome или Mozilla Firefox).
Транспорт	Аудиовизуальная, интерактивная,	Геопозиционный и визуальный. На основе	Облачные технологии. Используются протоколы LAN и	Google Maps, AR City Blippar,	AR C.B. в разработке, полностью работает только в 3-ех городах мира.

	мобильная	координат местоположения и образов.	MAN. Технологии доступа: LTE, Wi-Fi.	Яндекс расписание	Оконечные устройства: iOS/ Android смартфоны.
ЖКХ	-	-	Облачные технологии. Используются протоколы LAN и LPWAN. Технологии доступа: интерфейс 485, Wi-Fi, LoRaWAN.	-	Различные автономные счетчики. Варианты применения: при ремонте и установке использовать AR-модели здания, стен, карты коммуникаций. Также один из вариантов – предоставления информации и графиков об использовании того или иного ресурса в формате AR по метке или QR-коду.

3.2 Вывод

Дополненная реальность – новая и быстро развивающаяся технология, которая пока еще не сильно распространена в городском пространстве. В этой главе я представил вашему вниманию некоторые самые интересные и перспективные приложения, основанные на AR для умных городов. Конечно, еще есть много интересных вариантов использования дополненной реальности в рамках городов, например:

- **Полиция.** Блюстители правопорядка с помощью систем AR могут получать информацию об окружающей среде и людях: планы зданий или квартир, всю информацию о тех, кто вызвал полицию или к кому;
- **Управление в чрезвычайных ситуациях.** Похожим образом дополненная реальность может помочь пожарным или спасателям. Спасатели

могли бы ориентироваться по интерактивной карте, которую составляли сами жители и указывали, где они находятся и что с ними случилось.

- **Образование.** Используя AR, учителя могут создать захватывающую среду обучения, позволяющую учащимся исследовать части земного шара, не выходя из класса. Узнавать историю благодаря интерактивным учебникам, своими глазами увидеть те или иные исторические моменты, физические опыты, которые трудно реализовать в условиях класса, и т.д.
- **Градостроительство.** Создавая AR модели новых строительных проектов (домов, торговых центров, парков), строители и администрация города могут увидеть, как тот или иной объект впишется в существующий ландшафт, а горожане в свою очередь смогут улучшать данные проекты, добавляя или убирая то, что считают нужным. Это позволит наладить коммуникации между администрацией и жителями города, даст возможность учитывать взгляды и желание каждого.

Благодаря использованию технологий дополненной реальности в рамках умных городов, творческие чиновники и поставщики теперь могут помочь преобразовать полевые работы, участие сообщества и ряд других областей. Однако, чтобы получить максимальную отдачу от этих инструментов, как города, так и продавцы должны привлекать работников и лидеров сообществ к разработке и внедрению этих технологий. Чтобы AR работала, она должна упростить жизнь пользователей и сделать их усилия более эффективными, а не просто стать еще одной яркой технологией с небольшой конкретной пользой.

Глава 4. Исследование технологий дополненной реальности для УУГ.

4.1 Введение

В этой главе будут протестированы несколько приложений дополненной реальности для умного города. Для этого будет использоваться смартфон Apple iPhone XR. Так как это достаточно новая технология, у нее существуют некоторые проблемы с грамотным использованием ресурсов устройства и сети, поэтому основными исследуемыми показателями будут нагрузка на сеть, процессор и оперативную память смартфона при использовании данной технологии. Еще я предлагаю добавить такие субъективные показатели, как информативность приложения, удобство использования, качество или реалистичность элементов дополненной реальности, в случае с навигацией – точность маршрута и расположения меток.

На данный момент существует не так много открытых и полностью готовых к использованию приложений дополненной реальности, особенно если их рассматривать в рамках пригодности для умного города. Я подобрал наиболее подходящие и по моему мнению перспективные приложения, которые может скачать и протестировать самостоятельно любой обычный житель Санкт-Петербурга.

Первое приложение, которое я хотел бы рассмотреть – одно из самых популярных навигационных приложений Google Maps. С помощью данного приложения можно погулять по улицам Петербурга, используя указатели дополненной реальности, протестировать скорость, точность и удобство использования такого способа ориентирования в городе.

Следующим на очереди будет приложение, раскрывающее двери в мир уличного искусства Северной столицы. С помощью AR Hunter можно посмотреть на утерянные или закрасненные коммунальщиками граффити. Приложение полностью построено на методе распознавания меток, о котором говорилось в первой главе, поэтому появится возможность увидеть все плюсы и минусы данного способа реализации AR. Так как приложение использует

облачные сервисы для хранения данных, будет измерена задержка и пропускная способность трафика.

4.2 Исследование приложений дополненной реальности

4.2.1 Исследование приложения Google Maps

Первым будет протестировано приложение Google Maps. В данном приложении построение дополненной реальности достигается с помощью метода использования координат местоположения пользователя и распознавания образов зданий и вывесок на улицах, о которых говорилось в первой главе.

Для тестирования режима AR в картах Google достаточно проложить любой маршрут, нажать «Улицы в AR-режиме» и навести камеру смартфона на окружающие здания, магазины и вывески для того, чтобы определить точнее ваше местоположение.

Первый раз я воспользовался этим приложением на местности, где было мало зданий, но карты все равно смогли определить на какой стороне улицы я нахожусь и грамотно расположить указатели, а вот в городе с большим количеством узких улочек и поворотов начались небольшие проблемы. Приложение либо думало, что я нахожусь на другой стороне улицы, либо при резком повороте ставила или направляла AR-указатель прямо в дом, иногда переносило указатели за пределы экрана в моменты, когда я находился на одном месте.

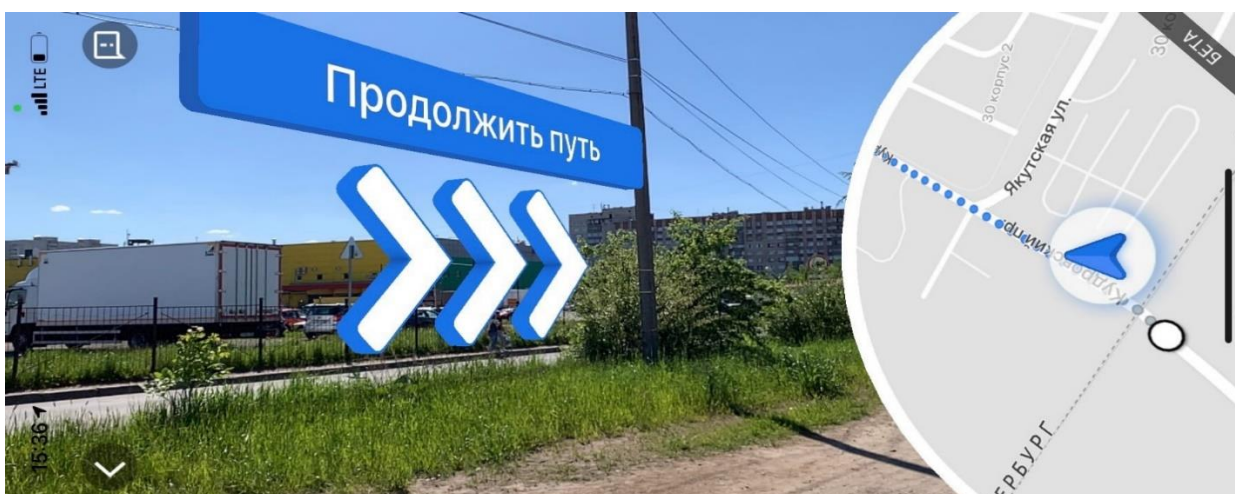


Рис. 4.1 – Корректная работа Google Maps AR

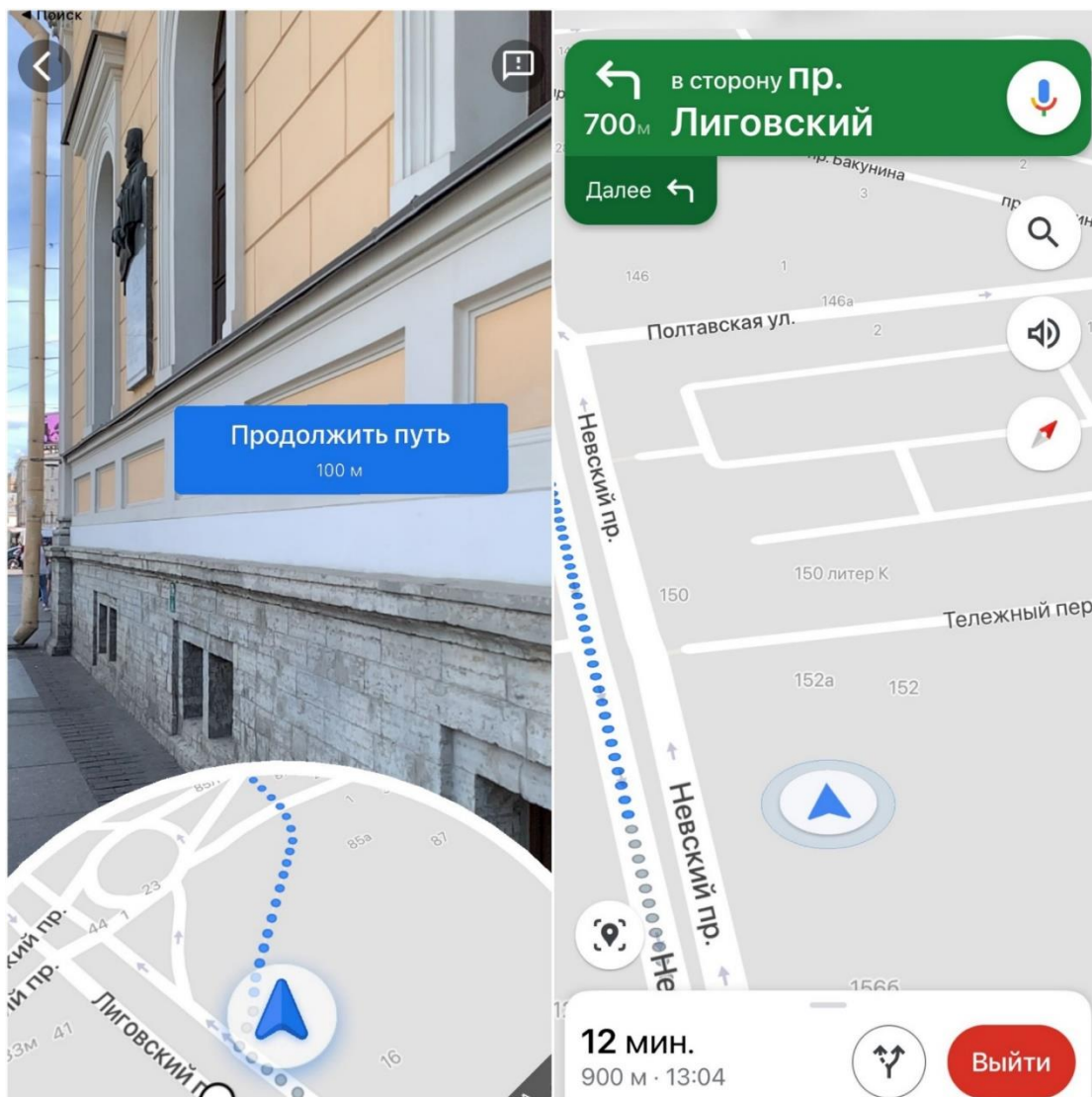


Рис. 4.2 – Некорректная работа Google Maps AR

Также должен отметить некоторые особенности: благодаря использованию акселерометра приложение само может переключаться между картой и AR-режимом; приложение не дает использовать AR-режим во время движения и выдает информационное сообщение, предупреждающее об этом, а если игнорировать это сообщение, то приложение самостоятельно выключит данный режим.

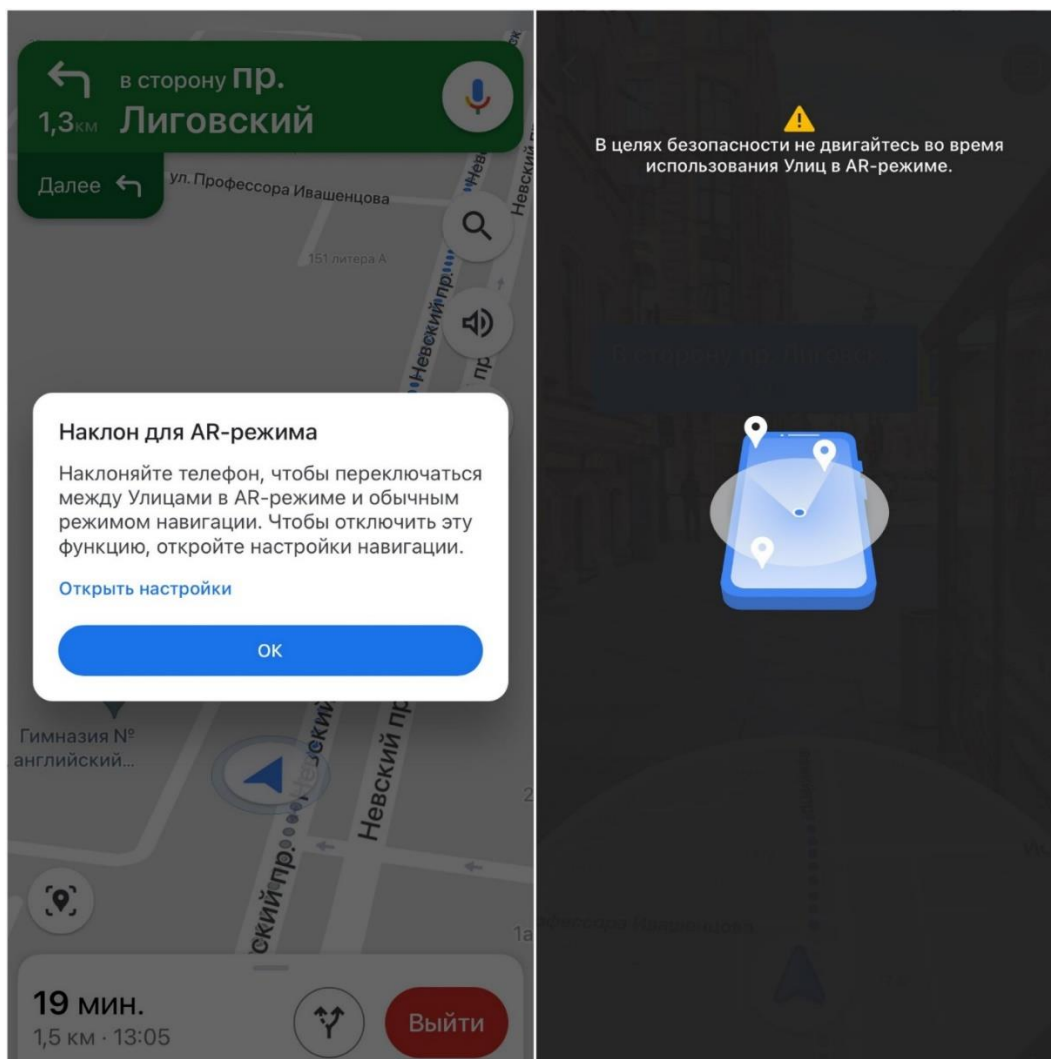


Рис. 4.3 – Особенности Google Maps AR

Как уже известно из первой главы, AR-приложения требуют использования большого количества ресурсов устройства. При помощи стороннего приложения я смог измерить нагрузку на сеть, оперативную память и процессор телефона при использовании Google Maps AR.

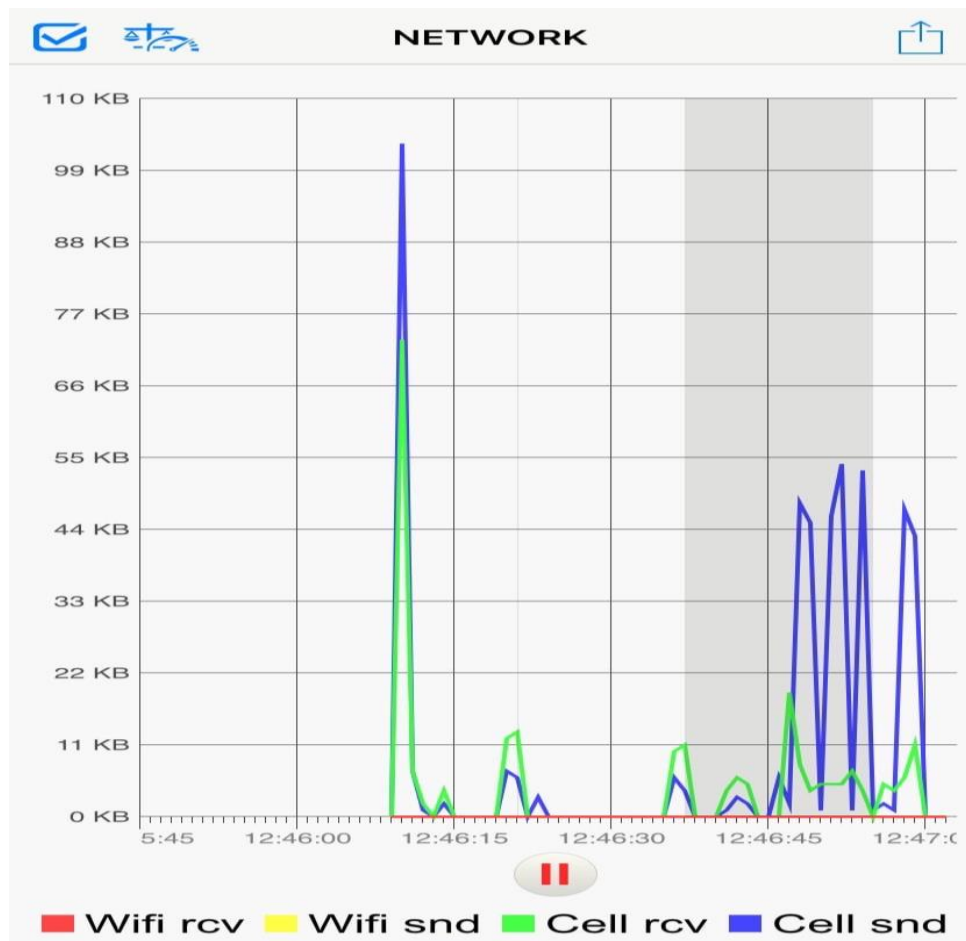


Рис. 4.4 – Нагрузка на сеть

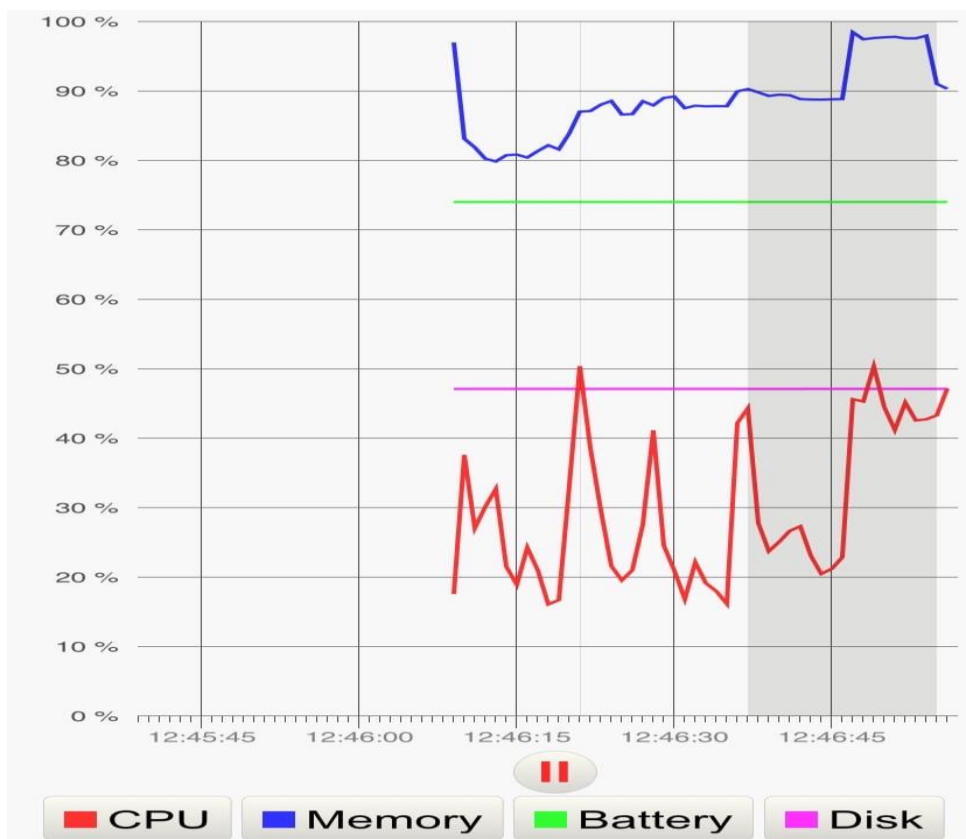


Рис. 4.5 – Нагрузка на процессор

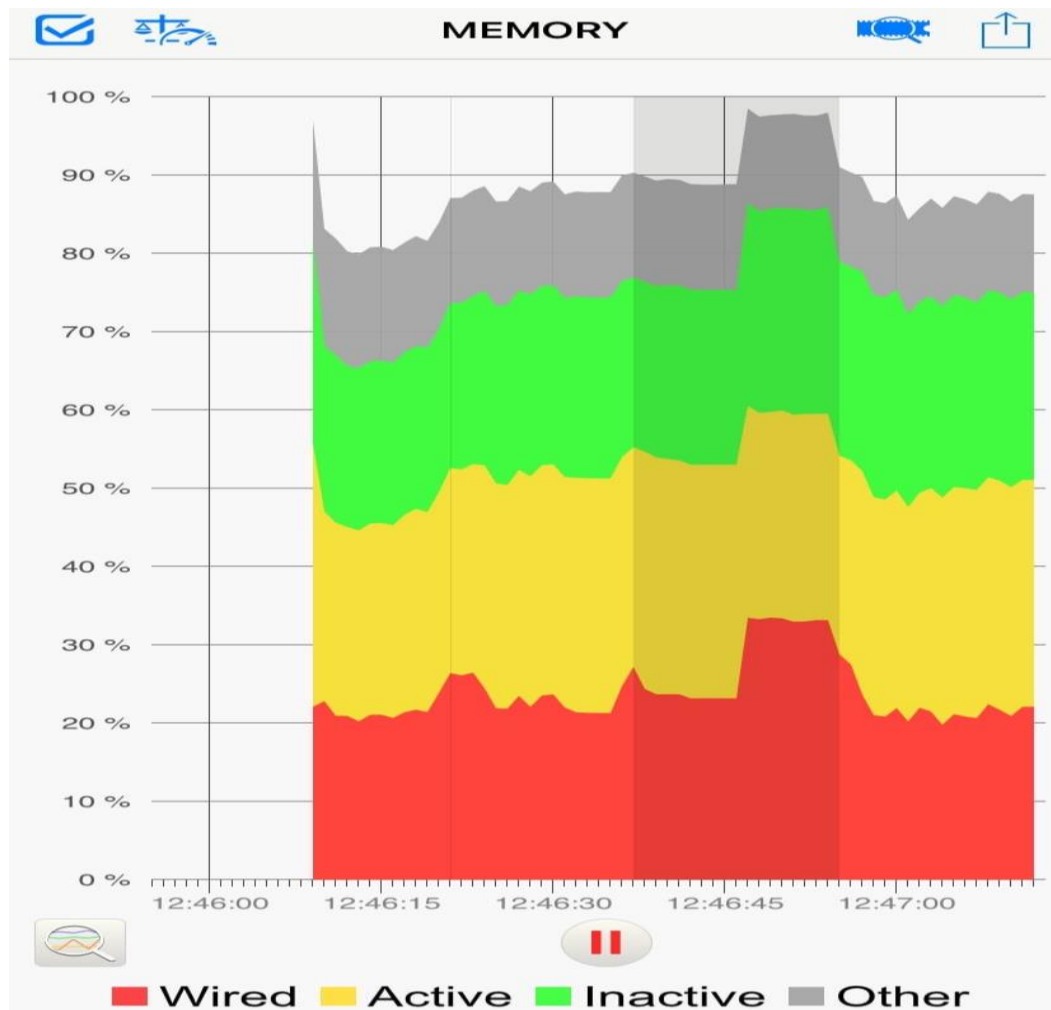


Рис. 4.6 – Нагрузка на оперативную память

На рисунках с 12:46:00 по 12:46:15 на телефоне использовалась социальная сеть «Вконтакте». С 12:46:45 началось использование Google Maps AR.

Как видно из графиков, нагрузка на сеть выросла незначительно, трафик на получение практически не изменился, а на отправку увеличился меньше, чем в 5 раз, но все равно остался меньше, чем при использовании социальной сети. Нагрузка на процессор в общем не изменилась. А вот с оперативной памятью картина несколько иная, приложение использовало заметно больше оперативной памяти (на 10 % больше, в итоге практически 100 %), чем при стандартном пользовании телефоном. Также во время использования приложения я смог измерить показатели пропускной способности и задержки с использованием 3G, LTE и Wi-Fi.

Таблица 4.1

	3G	LTE	Wi-Fi
Пропускная способность, мбит/с	0,5	0,4	0,5
Задержка, мс	40	40	52

Таким образом, можно сказать, что приложение достаточно удобно в использовании, применимо в повседневной жизни, потребляет не слишком много ресурсов по сравнению с повседневными задачами смартфона, слегка хромает точность отображения положения (<10 м), но это не критично, все AR-указатели информативны и хорошо интегрированы в реальное окружение.

4.2.2 Исследование приложения AR-Hunter

Теперь можно протестировать приложение AR-Hunter, о котором я также упоминал в 3 главе. Данное приложение имеет достаточно широкие функциональные возможности: восстановление утерянных граффити, спец-проекты «Знаки», «Метро» и даже экскурсия по Петербургу.

В AR-Hunter построение дополненной реальности происходит по методу распознавания маркеров, а все данные содержатся на облаке.

Для начала необходимо зайти в приложение, оно самостоятельно скачивает недостающие данные из облака. Далее нужно открыть встроенную в приложение карту и посмотреть расположение граффити, которые можно восстановить. Я выбрал три граффити, одно на площади Александра Невского, второе напротив ТРК Галерея и третье в Греческом сквере, во все эти места я добирался по AR Google Maps.

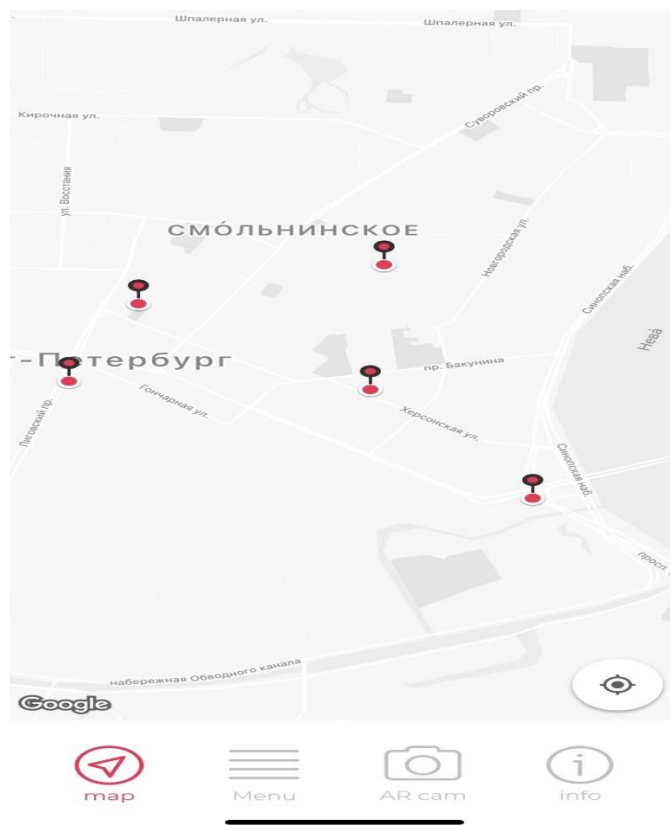


Рис. 4.7 – Карта AR-Hunter

Для того, чтобы восстановить граффити необходимо найти специальную метку, какую именно подскажет приложение. После этого нужно при помощи встроенной в приложение камеры навестись на эту метку и появится произведение уличного искусства. Из приложения можно узнать информацию об авторе, его социальную сеть и название работы.

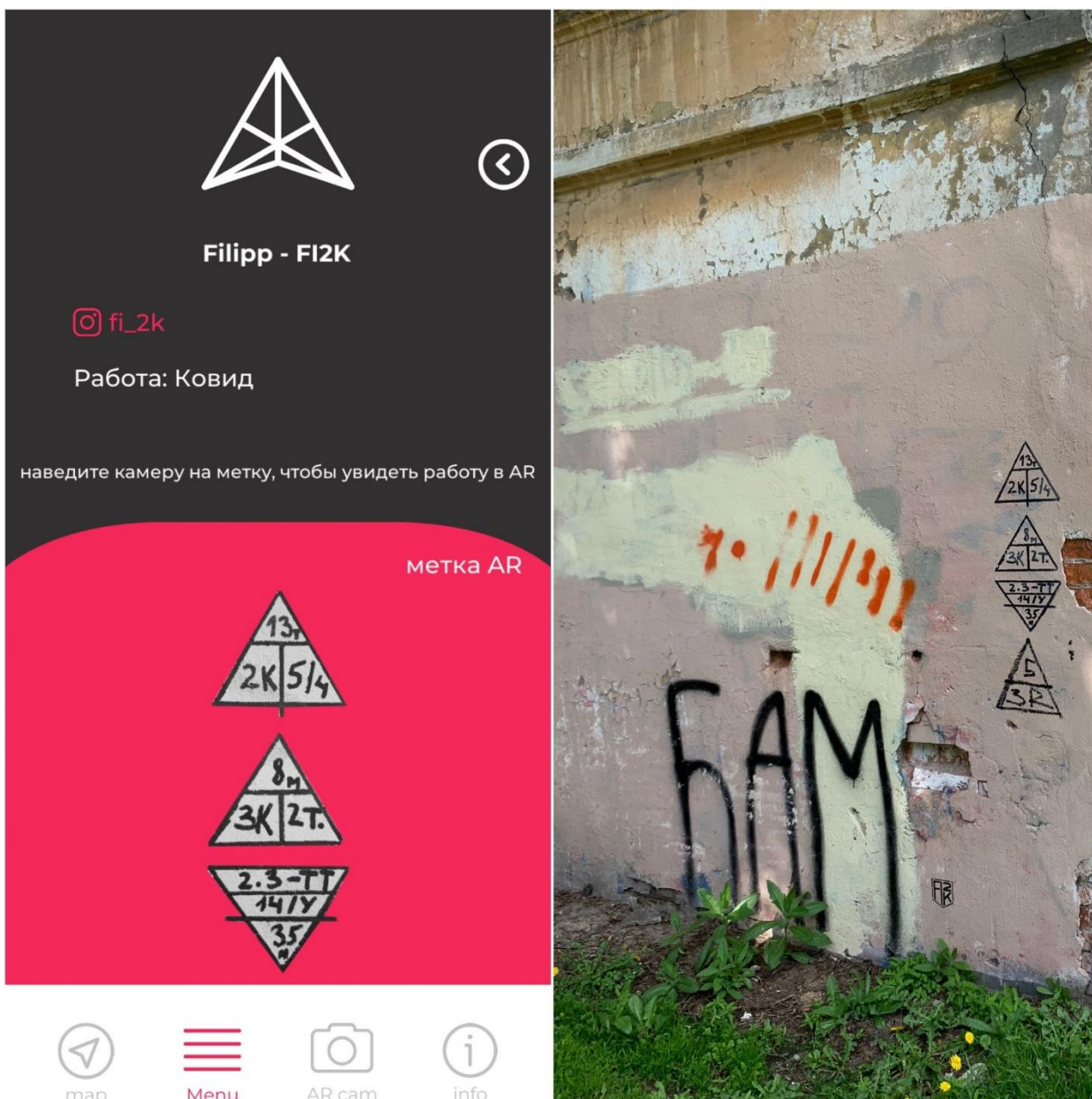


Рис. 4.8 – Информация об авторе и метка



Рис. 4.9 – Восстановленное граффити

Также я измерил нагрузку на сеть и смартфон во время пользования приложением. На рисунках время 12:38:00 – 12:38:30 – время восстановления граффити.

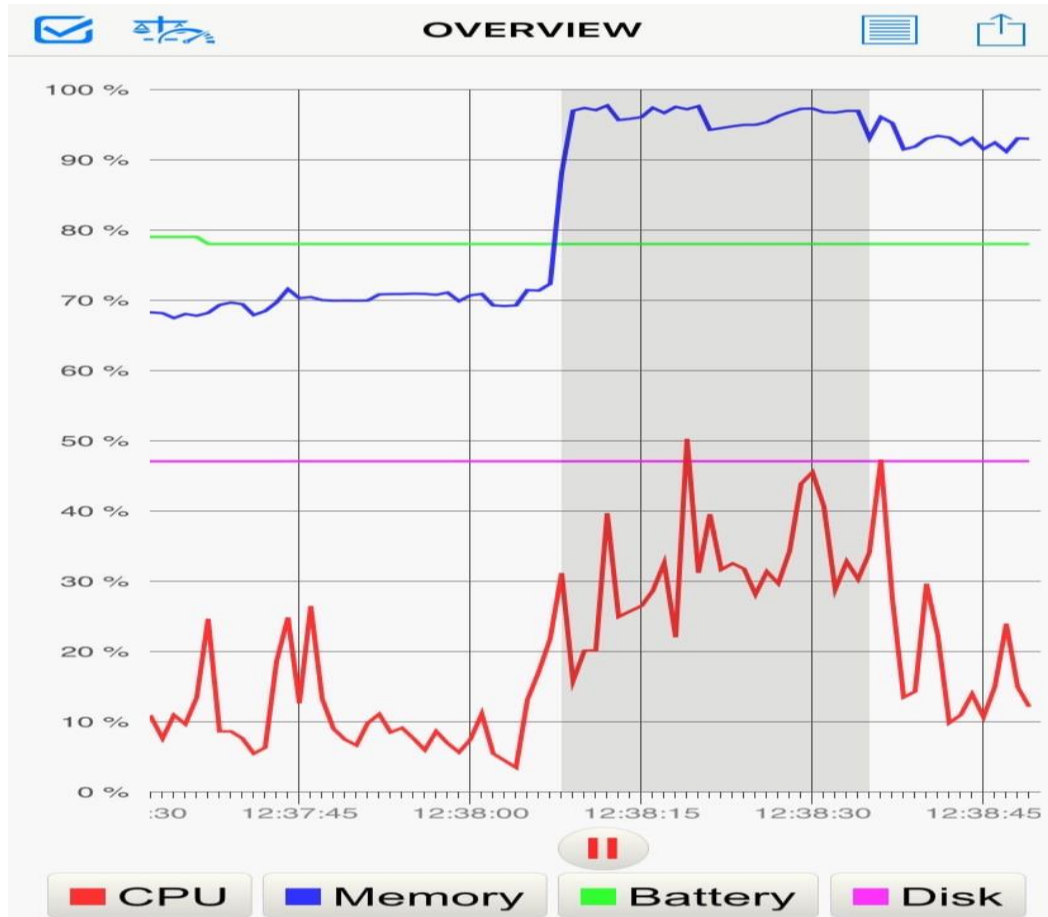


Рис. 4.10 – Нагрузка на процессор

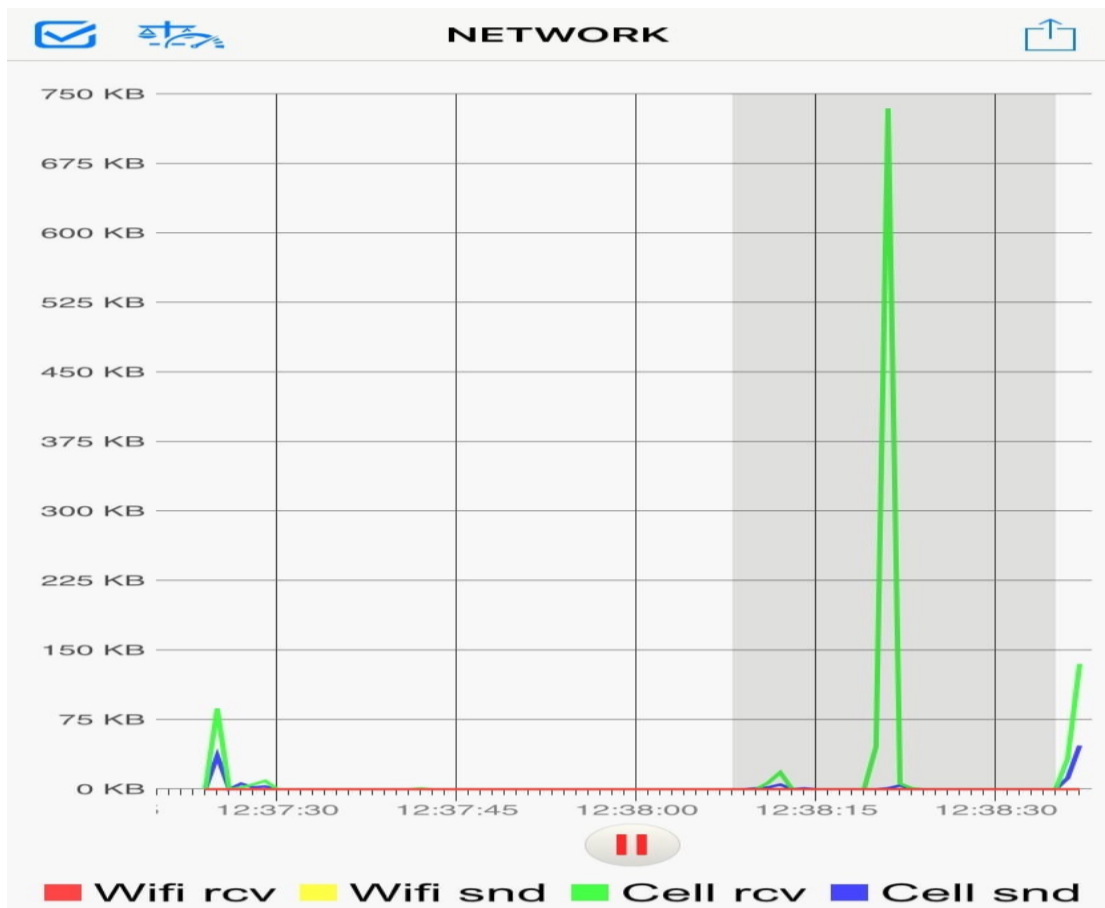


Рис. 4.11 – Нагрузка на сеть

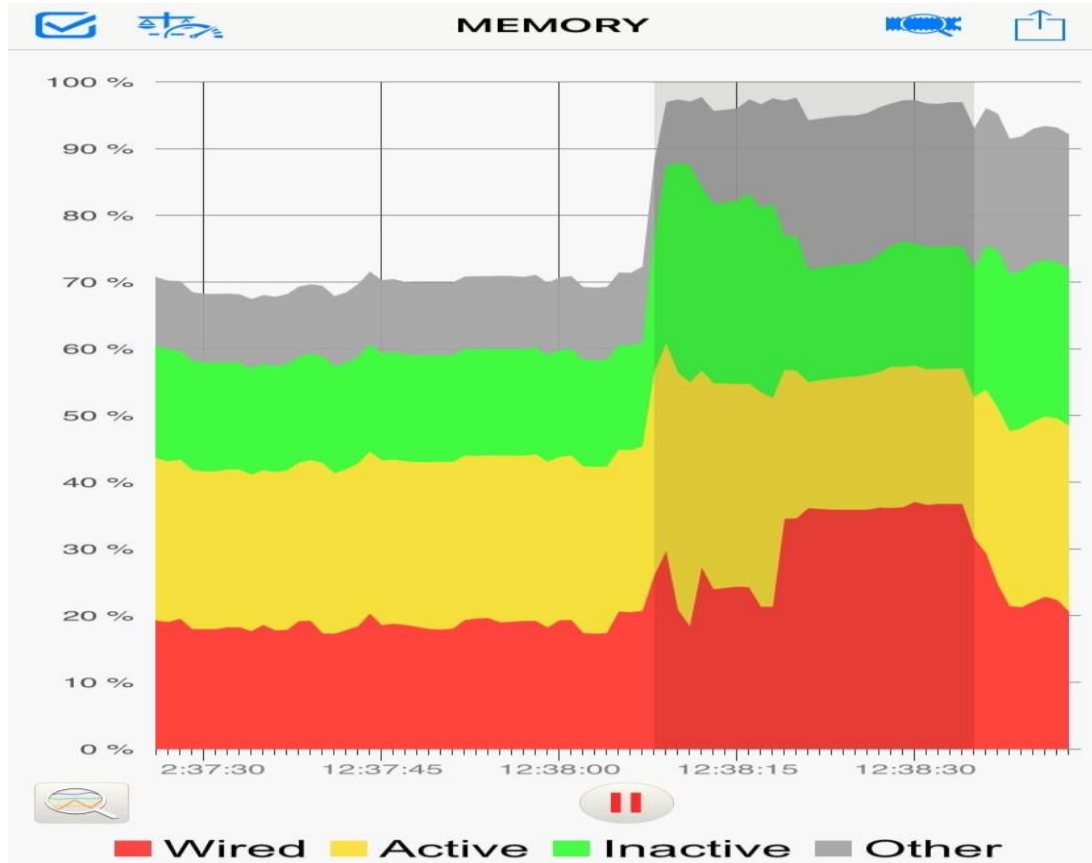


Рис. 4.12 Нагрузка на память

Исходя из графиков можно сделать вывод, что приложение серьезно нагружает оперативную память, ее использование возросло практически на 30% и стало около 100%. Также AR-Hunter нагрузил процессор практически в два раза сильнее, чем при обычном использовании смартфона, то есть до 50%. Кроме того, существенно возросла нагрузка на сеть, а именно трафик на принятие данных (около 750 KB).

При измерении на втором и третьем граффити показатели остались примерно такими же.

Также я протестировал спецпроект «Знаки». Данный проект заключается в интересном преобразовании дорожных знаков. Принцип работы тот же, что и с граффити. Нагрузка на сеть, память и процессор не отличалась от нагрузки при стандартном использовании смартфона.

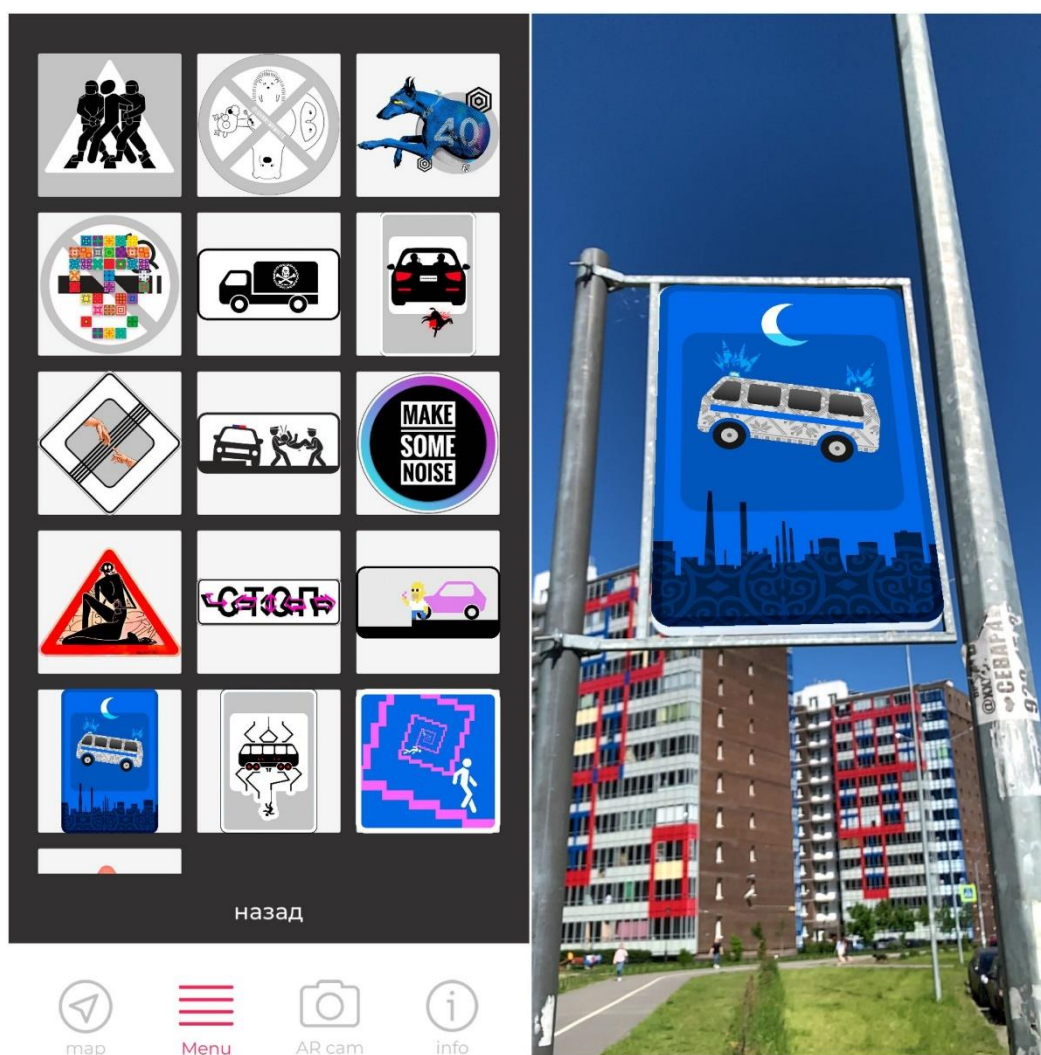


Рис. 4.13 – AR-Hunter спецпроект «Знаки»

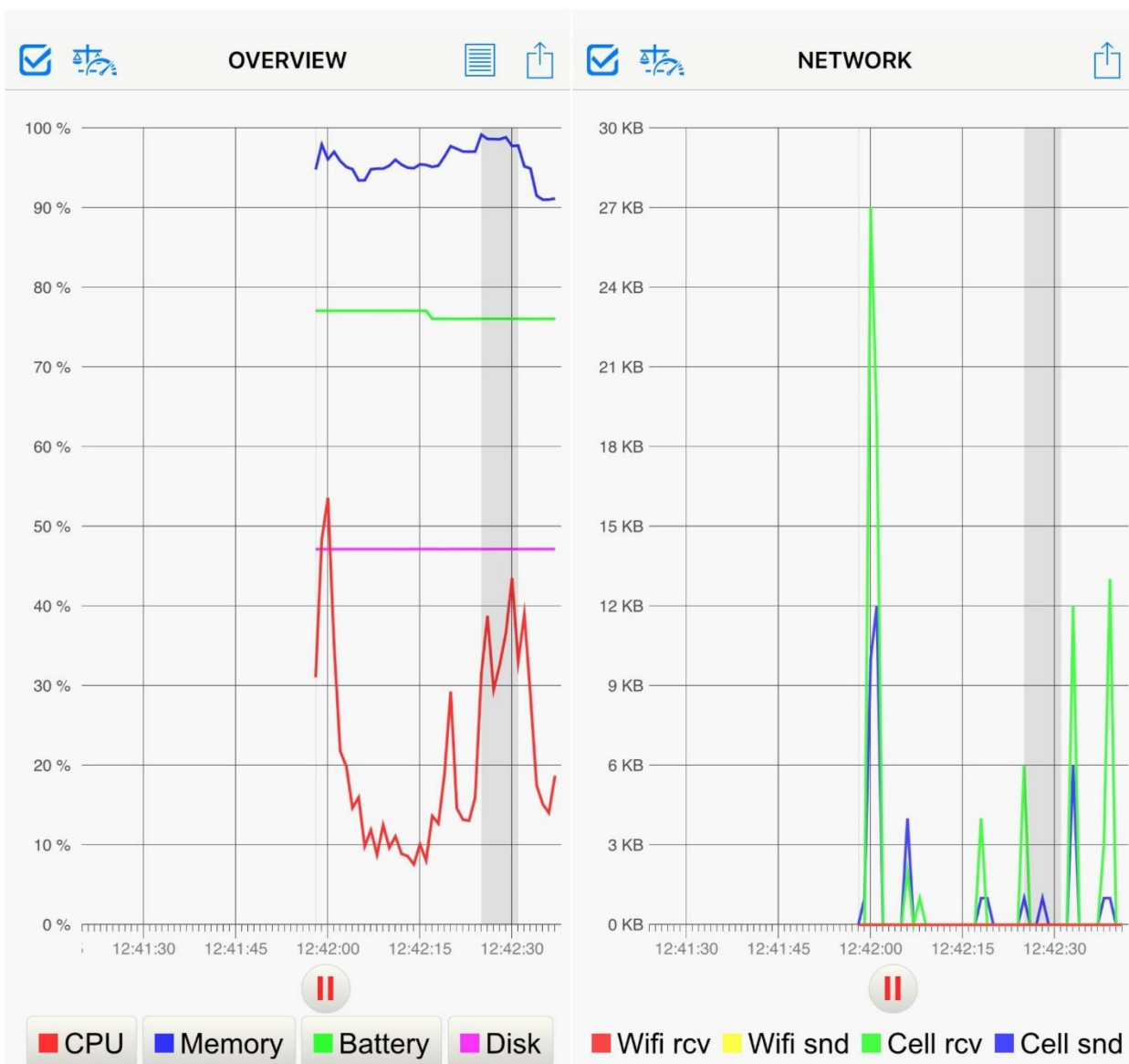


Рис. 4.14 – Нагрузка на процессор, память и сеть

Также во время использования приложения я смог измерить показатели пропускной способности и задержки с использованием 3G, LTE и Wi-Fi.

Таблица 4.2

	3G	LTE	Wi-Fi
Пропускная способность, мбит/с	15	6	20
Задержка, мс	17,5	20	40

Таким образом, можно сказать, что AR-Hunter показывает несколько иное направление использования виртуальной реальности. Задумка данного приложения состоит в предоставлении развлекательного контента, что также

не мало важно для жителя современного мегаполиса. Это большая находка для туристов и гостей города, ведь AR-Hunter может провести целую экскурсию по уличной живописи города, раскрыть иную сторону Северной столицы, что, мне кажется, будет безумно интересно даже постоянным жителям Питера. С точки зрения ресурсоемкости в приложении еще есть над чем работать, но разработчики постоянно развивают свое детище, наполняя его контентом и расширяя спектр возможностей. Но зато оно удобно и интуитивно понятно в использовании, содержит AR-модели высокого качества и уровня реализма. Также на мой взгляд одним из плюсов данного приложения является метод построения AR-моделей, а именно по метке, так как благодаря использованию такого способа расположение моделей становится наиболее точным, а сами модели выглядят более реалистичными и подходящими под реальное окружение.

4.3 Вывод

В данной главе были протестированы два приложения дополненной реальности для умного города. Для каждого из приложений было проведено исследование, включающее в себя измерение таких показателей, как нагрузка на сеть, процессор и оперативную память устройства. Также были выявлены основные преимущества и недостатки двух методов построения дополненной реальности.

Метод, основанный на определении геолокации хорош тем, что не требует меток и не привязан к определенному маркеру, то есть месту, но из-за этого страдает точность и качество интеграции AR моделей в реальное окружение.

В свою очередь, метод, основанный на распознавании маркеров, создает AR-модели более высокого качества и гораздо лучше справляется с их проецированием в реальном мире, но работает лишь на основе меток, то есть имеет привязанность к определенному месту.

Также исходя из проведенного исследования можно сказать, что AR-приложения все еще требовательны к устройством и достаточно ресурсоемки,

что является одной из главных проблем на пути к глобализации технологии дополненной реальности и полной ее интеграции в повседневную жизнь горожан.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы были выполнены следующие задачи:

- Проанализирована технология дополненной реальности.
- Рассмотрено применение технологии дополненной реальности в умных устойчивых городах.
- Протестированы приложения дополненной реальности для умных устойчивых городов.

Разобранные технологии и приложения дополненной реальности дали возможность определить полезность использования данной технологии в умном городском пространстве. На данный момент AR только развивается и набирает обороты, но уже сейчас можно сказать, что в скором времени дополненная реальность плотно сольется с нашей повседневной жизнью. В данной работе была проанализирована технология дополненной реальности и способы её применения в умных устойчивых городах, также были протестированы два AR-приложения, которые уже могут войти в повседневный обиход обычных жителей Санкт-Петербурга.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барышок Е. С. Сравнительный анализ технологий построения дополненной реальности / Барышок Е. С., Хорошева В. В., Тропченко А. А. // Международный научно-исследовательский журнал №05 (59). Часть 3. Май. – 2017. – С. 6-9.
2. Прокопов С. А. Основы и принципы работы технологии дополненной реальности / Прокопов С. А., Соколовский Н. А. // Решетневские чтения. – 2018. – С. 201-203.
3. Намиот Е. Д. Дополненная реальность в медицине / International Journal Of Open Information Technologies ISSN:2307-8106 vol. 7, no.11, 2019. – PP. 94-99.
4. Юлбарисова Д. Р. Дополненная реальность – текущее состояние и тенденции развития / Юлбарисова Д. Р., Максимов П. В. // Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – 2014. – С. 61-62.
5. Бойченко И. В. Дополненная реальность: состояние, проблемы и пути решения / Бойченко И. В., Лежанкин А. В. // Доклады ТУСУРа, № 1 (21), часть 2, июнь 2010. – С. 161-165.
6. Carmigniani J. Augmented Reality: An Overview / Julie Carmigniani, Borko Furht // Handbook of Augmented Reality. – 2011. – PP. 3-46.
7. Agarwal N. Role of Cloud Computing in Development of Smart City / Neetu Agarwal. // National Conference on Road Map for Smart Cities of Rajasthan. – 2017. – PP. 228-232.
8. Lavric A. LoRaWAN communication protocol: The new era of IoT / Alexandru Lavric, Adrian Ioan Petrarlu // 14th International Conference on Development and Application Systems. – 2018. – PP. 74-77.
9. Mohanty P. S. Everything You Wanted to Know About Smart Cities / Saraju P. Mohanty, Uma Choppali, Elias Koungianos // IEEE Consumer Electronics Magazine. – 2016.

10. Stubinger J. Understanding Smart City – A Data-Driven Literature Review / Johannes Stubinger, Lucas Scheider // Sustainability. – 2020, 12, 8460.
11. Пивкина Н. Ю. Умные города как новый стандарт качества жизни населения // Гуманитарные науки. Вестник финансового университета. – 2019. – №4.
12. Качанов С. А. Принципы реализации концепции «Умный устойчивый город» / Качанов С. А., Пинчук А. В., Соколов Н. А. // Civil Security Technology. – 2018. – №4.
13. Дрожжинов В. И. Умные города: модели, инструменты, рэнкинги и стандарты / Дрожжинов В. И., Куприяновский В. П., Намиот Д. Е., Синягов С. А., Харитонов А. А. // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – №3.
14. Максимов С. Н. «Умный город»: к вопросу о понятии и концепции / Экономические проблемы регионов и отраслевых комплексов. – 2017.
15. Макаренко К. В. «Умный город»: стандарты, проблемы, перспективы развития / Макаренко К. В., Логиновская В. О. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – №3. – С. 165-171.
16. Климович Н. И. Устойчивые «умные города»: от концепции до реализации / Климович Н. И., Климович П. И. // Девятая международная научно-практическая конференция. – 2020.
17. Ганин О. Б. «Умный город»: перспективы и тенденции развития / Ганин О. Б., Ганин И. О. // Ars Administrandi. – 2014. Соловье
18. Одинцов А. В. Основные риски реализации концепции «умного города» / Одинцов А. В. // Социодинамика. – 2019. - №10.
19. Панин Д. Н. Цифровая безопасность умных городов / Панин Д. Н., Железнова П. В., Лапаева О. С., Новикова Д. Д // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – №11. – С. 31-33.
20. Соколов И. А. Цифровая безопасность умных городов / Соколов И. А., Куприяновский В. П., Аленков В. В., Покусаев О. Н., Ярцев Д. И.,

- Акимов А. В., Намиот Д. Е., Куприяновская Ю. В. // International Journal of Information Technologies ISSN. – 2018. – №1. – С. 104-118.
21. Соловьев В. Н. Облачные технологии «умных городов» / Соловьев В. Н., Прокофьев А. В., Чесов Р. Г., Хламов М. А. // Инновации и инвестиции. – 2018. – №5.
22. Проектирование умного города. Приложение ArcGIS Urban [Электронный ресурс]. – <https://www.esri.com>
23. Приложение AR Smart City [Электронный ресурс]. – <https://www.pdxeng.ch/smart-city/ar-smart-city-experience/>
24. Как делать карты в дополненной реальности. Приложение AReal [Электронный ресурс]. – <https://medium.com/@urbica/>
25. Приложение AR Hunter [Электронный ресурс]. – <http://arhunter.org/>