

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

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

На правах рукописи

**ЗАХАРОВ МАКСИМ ВАЛЕРЬЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ УСЛУГИ  
МОЛЕКУЛЯРНОГО АНАЛИЗА НА БАЗЕ СЕТИ СВЯЗИ ОБЩЕГО  
ПОЛЬЗОВАНИЯ**

Специальность 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, доцент  
Киричек Руслан Валентинович

Санкт-Петербург — 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ И ЭЛЕКТРОННОГО ЗДОРОВЬЯ. ПОСТАНОВКИ ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ .....	13
1.1 Интернет вещей и его приложения .....	13
1.2 Электронное здоровье и мобильное электронное здоровье .....	14
1.3 Увеличение спроса на услуги e-Health и m-Health.....	17
1.4 Обзор существующих устройств, реализующих предоставление услуги молекулярного анализа .....	22
1.4.1 Устройство Nima.....	23
1.4.2 Устройство Food Sniffer .....	24
1.4.3 Микроспектрометр SCiO .....	25
1.4.4 Микроспектрометр Link Square.....	28
1.4.5 Микроспектрометр TellSpec .....	30
1.4.6 Прочее .....	33
1.5 Совмещение устройства анализа и терминала пользователя .....	34
1.6 Мобильное приложение терминала пользователя.....	36
1.6.1 Описание мобильного приложения .....	36
1.6.2 Примеры апплетов.....	38
1.7 Сравнение рассмотренных решений .....	42
1.8 О создании провайдера услуг e-Health / m-Health .....	45
1.8.1 Особенности предоставления услуг .....	45
1.8.2 Провайдер услуг e-Health / m-Health .....	48
Выводы по главе.....	50
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДА И ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕВОГО ТРАФИКА, ГЕНЕРИРУЕМОГО В ПРОЦЕССЕ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ УСЛУГИ МОЛЕКУЛЯРНОГО АНАЛИЗА.....	51

2.1 Разработка метода оценки характеристик сетевого трафика .....	51
2.1.1 Модельные сети и особенности их применения.....	51
2.1.2 Структура модельной сети.....	53
2.1.3 Перехват сетевого трафика .....	58
2.2 Оценка характеристик сетевого трафика .....	60
2.2.1 Основные характеристики сетевого трафика .....	60
2.2.2 Алгоритм исследования характеристик трафика .....	62
2.2.3 Локальная и удаленная обработка данных.....	63
2.2.4 Выбор апплетов для изучения .....	65
2.2.5 Исследование характеристик сетевого трафика.....	65
2.2.6 Коэффициент Хёрста и его оценка .....	75
2.3 Описание используемых сетевых протоколов.....	77
2.4 Описание сценариев обмена сообщениями.....	78
2.4.1 Сценарий с локальной обработкой данных .....	78
2.4.2 Сценарий с удаленной обработкой данных .....	79
Выводы по главе.....	81
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ УСЛУГ МОЛЕКУЛЯРНОГО АНАЛИЗА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМ СЕТИ СВЯЗИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ .....	82
3.1 Особенности реализации услуги .....	82
3.2 Разработка модели СМО .....	83
3.3 Модель «On-Off» источника.....	84
3.4 Разработка модели источника агрегированного трафика.....	86
3.5 Выбор ПО для моделирования .....	87
3.6 Моделирование агрегированного потока сетевого трафика .....	89
3.7 Предлагаемый алгоритм.....	91
3.8 Проверка предложенного алгоритма .....	94
Выводы по главе.....	98

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ НА ОСНОВЕ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ УСЛУГИ МОЛЕКУЛЯРНОГО АНАЛИЗА .....	99
4.1 Граничные вычисления и мобильные граничные вычисления .....	99
4.2 Применение МЕС для предоставления услуги m-Health .....	103
4.3 Метод построения сети для предоставления услуги .....	105
4.4 Сценарий обмена сообщениями с применением МЕС .....	109
Выводы по главе .....	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	111
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....	113
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	115
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВ МОБИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ЗДОРОВЬЯ (М-HEALTH) НА БАЗЕ МОДЕЛЬНОЙ СЕТИ .....	140
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ДОКУМЕНТЫ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ВНЕДРЕНИЕ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ .....	147

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследований.** В настоящее время такие хорошо известные базовые телекоммуникационные услуги, как передача голоса, видеоизображения или передача данных, стали для рядового пользователя обыденными. Качество предоставления этих услуг достигло известных естественных пределов, которые обусловлены порогами восприятия человеческих органов чувств.

При этом подавляющее большинство граждан развитых и развивающихся стран в настоящий момент уже имеют доступ к телекоммуникационным услугам (за исключением труднодоступных или малонаселенных регионов мира), что снижает рентабельность дальнейшего экстенсивного расширения сетей связи для предоставления услуг большему количеству абонентов.

Это приводит к тому, что между операторами постоянно идет борьба за абонентов, уже охваченных предоставлением телекоммуникационных услуг. Операторы вынуждены снижать абонентскую плату, предлагать более гибкую систему тарификации, проводить различного рода маркетинговые акции для привлечения новых и удержания собственных абонентов, что в итоге приводит к снижению конечной прибыли.

Поэтому одним из наиболее перспективных путей развития и серьезным аргументом в борьбе за абонентов в настоящий момент может стать разработка и внедрение новых перспективных телекоммуникационных услуг, таких как услуги дополненной и виртуальной реальности, услуги сетей связи с ультрамалыми задержками, тактильный интернет и т.д.

Так, одними из наиболее востребованных телекоммуникационных услуг в ближайшем будущем могут стать услуги электронного здоровья (e-Health) и мобильного электронного здоровья (m-Health). Интерес к этим услугам среди широких масс населения как развитых, так и развивающихся стран постоянно растет. Это связано, с одной стороны, с коренными изменениями в области

здравоохранения, которые предполагают для повышения качества и эффективности предоставления медицинских услуг повсеместное внедрение информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), активное применение носимой медицинской электроники, цифровой формат хранения и обмена медицинской информацией и использование мобильных приложений в повседневной медицинской практике. А с другой стороны – со сформировавшимся в развитых и развивающихся странах запросом граждан на повышение продолжительности и качества жизни, а также желанием получать доступ к необходимым медицинским услугам в режиме реального времени. Не следует также забывать и о глобальных вызовах, которые встали перед мировой системой здравоохранения в конце второго десятилетия XXI века.

В связи с этим возникает целый ряд научно-технических задач, решение которых лежит на стыке телекоммуникационных технологий, вычислительной техники и медицины. С точки зрения телекоммуникаций, в данный круг задач попадают: обеспечение интеграции современных ИКТ в систему общественного здравоохранения, техническое сопровождение внедрения и предоставления медицинских сервисов, выполнение требований по качеству обслуживания, разработка и внедрение новых сетевых архитектур для предоставления услуг e-Health и m-Health широким слоям населения.

Особый интерес вызывают услуги m-Health, связанные с проведением дистанционных медицинских тестов или обследований. Эти услуги базируются как на использовании стандартных датчиков, которые входят в состав широко распространенных цифровых коммуникационных устройств (смартфонов, планшетов, умных часов и т.д.), так и на использовании различных специализированных персональных носимых медицинских электронных устройств, возможности которых значительно выше.

Одной из таких услуг m-Health является услуга молекулярного анализа различных веществ с применением инфракрасных микроспектрометров. Миниатюризация подобных устройств, а также снижение их стоимости в

настоящий момент позволяют создавать персональные портативные решения m-Health, которые способны проводить молекулярный анализ продуктов питания или лекарственных средств практически в режиме реального времени с использованием ресурсов сети связи общего пользования (ССОП). Во время работы такие устройства взаимодействуют с терминалом пользователя для обеспечения управления и отображения результатов в удобном для пользователя виде, а также используют терминал как шлюз доступа в ССОП для передачи данных, полученных в результате анализа, на удаленные облачные сервера для последующей обработки.

В контексте предоставления данной услуги в настоящий момент особый интерес вызывают задачи изучения характеристик генерируемого сетевого трафика, разработка моделей и методов предоставления таких услуг с использованием ресурсов ССОП, определение типовой архитектуры сети для предоставления подобного рода услуг, а также повышение качества предоставления таких услуг за счет использования граничных и облачных вычислений.

**Степень разработанности темы.** В последнее время появляется довольно большое количество научных работ как российских, так и зарубежных авторов, посвященных исследованию электронного здоровья и мобильного электронного здоровья. В подобных работах часто рассматриваются прототипы устройств или систем m-Health, организация взаимодействия с медицинскими службами, вопросы информационной безопасности m-Health. Кроме того, следует отметить, что значительное внимание уделяется исследованию характеристик сетевого трафика, разработке моделей и методов предоставления новых сервисов и услуг, созданию новых сетевых архитектур.

Среди работ отечественных и зарубежных авторов можно отметить работы А. Е. Кучерявого, А. И. Парамонова, Р. В. Киричка, Е. А. Кучерявого, К. Е. Самуйлова, С. Н. Степанова, А. В. Рослякова, О. И. Шелухина, С. В. Поршнева, Р. Я. Пирмагомедова, I. F. Akyildiz, A. J. Das, J. H. Lee, S. Adibi и

многих других. Их работы позволили обосновать необходимость разработки новых телекоммуникационных услуг (в т.ч. услуг m-Health) в рамках концепции Интернета вещей, а также концепции построения сетей 2030, оценить возможности существующих сетей связи и сетевых архитектур по предоставлению новых типов услуг с соблюдением рекомендованных параметров качества обслуживания. Благодаря научной деятельности этих и многих других исследователей, в настоящее время удалось существенно продвинуться в изучении свойств сетевого трафика, разработать модели и методы предоставления новых перспективных услуг на основе существующей инфраструктуры ССОП.

**Объект исследования** — сети Интернета вещей и услуги мобильного электронного здоровья.

**Предмет исследования** — модели и методы предоставления услуги молекулярного анализа на базе сети связи общего пользования.

**Цель работы и задачи исследования** — повышение эффективности использования ресурсов сети и качества предоставления услуги молекулярного анализа.

Для достижения поставленной цели в работе последовательно решаются следующие задачи:

1. Анализ тенденций развития Интернета вещей, электронного здоровья и мобильного электронного здоровья;
2. Анализ решений, применяемых при предоставлении услуг мобильного электронного здоровья;
3. Разработка модельной сети для перехвата и оценки характеристик сетевого трафика, генерируемого при предоставлении услуги молекулярного анализа;
4. Оценка характеристик перехваченного сетевого трафика;
5. Разработка модели агрегированного потока сетевого трафика от нескольких устройств m-Health;



6. Разработка модели и метода предоставления услуги молекулярного анализа с использованием микроспектрометров;
7. Разработка метода построения сети с применением граничных вычислений для предоставления услуги молекулярного анализа.

**Научная новизна.** Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

1. Найденные характеристики сетевого трафика, генерируемого подключенными к ССОП портативными микроспектрометрами, позволяют использовать модель СМО (М/G/1) для расчета параметров СМО, что в свою очередь позволяет повысить точность оценки времени обслуживания на 12% по сравнению с моделью М/M/1.
2. Предложена новая модель и метод предоставления услуги, базирующейся на использовании портативных микроспектрометров для предоставления пользователю дополнительных возможностей по получению информации о качестве продуктов питания и медикаментов. Разработанный в рамках модели алгоритм в среднем позволяет сократить время предоставления услуги на 13% и объем передаваемых данных на 23% по сравнению с существующими.
3. Разработан метод построения сети связи на основе граничных вычислений, отличающийся от известных тем, что граничные вычисления используются при предоставлении услуги молекулярного анализа.

**Теоретическая и практическая значимость исследования:**

*Теоретическая значимость* работы состоит в получении неизвестных ранее характеристик сетевого трафика для новой услуги молекулярного анализа, что расширяет знания в области теории телетрафика и теории массового обслуживания. В результате выполнения работы расширен модельно-методический аппарат для организации услуг связи, а также модельно-методический аппарат граничных вычислений.

*Практическая значимость* работы состоит в том, что полученные характеристики сетевого трафика могут быть использованы для планирования и проектирования сетей при внедрении услуги молекулярного анализа. Разработанные новая модель и метод позволяют повысить эффективность использования ресурсов сети и качество предоставления услуги молекулярного анализа. Разработанный метод построения сети с применением граничных вычислений позволяет сократить сетевую задержку передачи данных и повысить качество обслуживания при предоставлении услуги молекулярного анализа.

Результаты работы внедрены в ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ» при разработке «Рекомендаций по моделям трафика для планирования сетей связи пятого и последующих поколений (в части предоставления mHealth услуги молекулярного анализа)», а также при чтении лекций и проведении практических занятий по курсу «Современные проблемы науки в области инфокоммуникаций», «Введение в наносети» в СПб ГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.

**Методология и методы исследования.** Проводимые исследования базируются на теории массового обслуживания, математической статистике, методах моделирования и натурных экспериментах на базе разработанной модельной сети. Имитационное моделирование агрегированного потока сетевого трафика, а также метода предоставления услуги молекулярного анализа выполнено с использованием ПО AnyLogic, проверка алгоритма выбора точки расположения граничного вычислителя на графе сети – с использованием ПО Mathcad.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Модель агрегированного потока сетевого трафика, генерируемого микроспектрометрами при предоставлении услуги молекулярного анализа, использование которой позволяет повысить точность оценки времени обслуживания на 12%.

2. Модель и метод предоставления услуги молекулярного анализа, которые позволяют сократить время передачи данных при предоставлении услуги в среднем на 13%.
3. Метод построения сети с применением граничных вычислений для предоставления услуги молекулярного анализа, который позволяет сократить время передачи данных при предоставлении услуги на величину до 40%.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность полученных автором научных и практических результатов подтверждается обоснованным выбором предмета и объекта исследований, исходных данных при постановке частных задач исследования, принятых допущений и ограничений, а также соответствием результатов натурных экспериментов и моделирования, проведенных лично автором, согласованностью с данными, полученными другими авторами и апробацией результатов на международных и всероссийских научно-технических конференциях.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на 19-й международной научной конференции «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN 2016)» (Москва, 2016); XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019 (Москва, 2019); 22-й Международной конференции по передовым телекоммуникационным технологиям: Глобальная повестка дня в области цифровой безопасности для защиты общества (22nd International Conference on Advanced Communications Technology: Digital Security Global Agenda for Safe Society) (ICACT 2020) (Пхёнчхан, Республика Корея); IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2020)» (Санкт-Петербург, 2020); 75-я конференция Санкт-Петербургского отделения Общероссийской общественной организации «Российское научно-

техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова (СПб НТОРЭС)» (Санкт-Петербург, 2020).

Исследование по теме диссертационной работы выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта № 19-37-90140 «Аспиранты».

**Публикации по теме диссертации.** По теме работы опубликовано 10 научных работ, из них: 3 в рецензируемых научных изданиях (перечень ВАК), 2 в изданиях, индексируемых в международных базах данных SCOPUS и WoS, 5 в других изданиях и материалах конференций.

**Соответствие специальности.** Работа соответствует пунктам 2, 12, 13, 14 паспорта специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

**Личный вклад автора.** Результаты теоретических и экспериментальных исследований получены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит основная роль при постановке и решении задач, а также обобщении полученных результатов.

# **ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ И ЭЛЕКТРОННОГО ЗДОРОВЬЯ. ПОСТАНОВКИ ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

## **1.1 Интернет вещей и его приложения**

Бурное развитие и распространение цифровой вычислительной техники и телекоммуникаций на рубеже XX-XXI веков, а также их взаимная синергия, привели к возникновению значительного числа новых научно-технических концепций и технологий [1, 2, 3]. Одной из наиболее значимых для отечественной и мировой науки стала концепция всепроникающих сенсорных сетей (Ubiquitous Sensor Networks, USN) [4], а также последовавшая за ней концепция Интернета вещей (Internet of Things, IoT) [5].

В рамках последней впервые были описаны особенности построения принципиально нового типа сетей связи – сетей (связи) Интернета вещей [6], а также соответствующие сетевые архитектуры [7] и протоколы передачи данных [8, 9]. Главной отличительной особенностью таких сетей является то, что для Интернета вещей основными источниками и получателями сетевого трафика выступают не столько обычные пользователи, сколько разнообразные цифровые вычислительные устройства, физические предметы или обычные вещи, снабженные разнообразными датчиками, сенсорами или актуаторами<sup>1</sup>, а также обладающие интерфейсами для подключения к сети Интернет [10, 11].

В настоящее время Интернетом вещей охвачен огромный спектр областей человеческой деятельности, начиная от промышленности и сельского хозяйства, заканчивая сферой услуг и здравоохранением. При этом одна деталь практически всегда остается неизменной для любой области применения Интернета вещей: потоки информации, поступающие от подключенных к сети связи объектов,

---

<sup>1</sup> Актуатор – механизм или устройство, которыми могут при необходимости снабжаться Интернет вещи для выполнения каких-либо манипуляций с объектами окружающего мира.

позволяют повысить качество предоставления существующих услуг, организовать новые сервисы, снизить накладные расходы, решить проблемы безопасности, продлить срок службы отдельных изделий или целых технических систем.

Своим появлением и стремительным развитием Интернет вещей не только существенно изменил представление о месте телекоммуникаций в современной науке и технике, но и заложил основу для множества других перспективных приложений. Это самоорганизующиеся сети автотранспорта и дорожной инфраструктуры (Vehicular Ad Hoc Networks, VANET) [12], промышленный Интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT) [13], умный и безопасный город [14, 15] и многое другое [16, 17].

Появление и стремительное распространение Интернета вещей сообщило новый импульс развития существовавшим ранее направлениям развития науки и техники. Одним из таких направлений является телемедицина и электронное здоровье (e-Health) [18, 19].

## **1.2 Электронное здоровье и мобильное электронное здоровье**

Сегодня насчитывается множество различных определений для такого сложного и комплексного понятия как e-Health [20]. Часто говорят, что e-Health представляет собой единое информационное пространство для решения широкого спектра задач охраны здоровья населения, призванное обеспечить беспрепятственный обмен медицинскими данными, а также взаимодействие между врачами и пациентами на основе ИКТ-технологий [21].

Можно также сказать, что электронная медицина – это комплекс ИКТ и технических средств для организации предоставления услуг по обмену информацией в интересах всех участников процесса оказания услуг в сфере здравоохранения [22].

После появления и распространения сетей Интернета вещей появилось и такое понятие, как Интернет медицинских вещей (Internet of Medical

Things, IoMT) [23, 24]. Этим термином определяют автономные медицинские устройства, которые способны самостоятельно обмениваться данными по сетям связи без участия человека для реализации различных услуг здравоохранения.

Вероятно, наиболее правильное решение – воспринимать e-Health как текущий уровень интеграции телекоммуникационных технологий и вычислительной техники в медицинскую практику.

Началом такой интеграции можно считать первые опыты по передаче медицинской статистической информации по телеграфу и телефону [25]. В настоящий же момент времени e-Health представляет собой одну из наиболее высокотехнологичных, востребованных, и оттого быстро развивающихся областей человеческого знания [26]. Электронное здоровье включает в себя передачу медицинских данных по сети Интернет, предоставление консультативных или справочных услуг населению в электронном виде, дистанционную диагностику состояния здоровья пациентов, удаленное управление медицинскими роботами и зондами и многое другое [27, 28, 29].

В связи с тем, что в последние десятилетия для коммуникации абонентами повсеместно стали использоваться портативные компьютеры: планшеты, смартфоны и другая персональная носимая электронная вычислительная техника, в рамках e-Health появилось такое понятие как мобильное электронное здравоохранение (m-Health) [30, 31]. В рамках этого направления изучаются вопросы предоставления медицинской помощи или решения задач общественного здравоохранения с использованием персональных мобильных электронных вычислительных устройств с учетом обеспечения мобильности абонентов и широкого применения для вычислений облачных технологий [32, 33, 34].

Сегодня технологии m-Health предоставляют множество различных услуг. Это доступ к web-сайтам общественных учреждений здравоохранения для записи на очный прием специалиста или же с целью получения консультаций в режиме реального времени, электронная медицинская карта (Electronic Health Record, EHR), мобильные приложения для соблюдения графика приема лекарственных

средств, контроля физической активности, соблюдения режима труда и отдыха в течение дня [35, 36, 37], и различные сервисы для сбора и анализа данных, поступающих от носимых пациентом датчиков или сенсоров [38, 39]. Обобщенная схема [40] предоставления услуг e-Health / m-Health представлена на рис. 1.

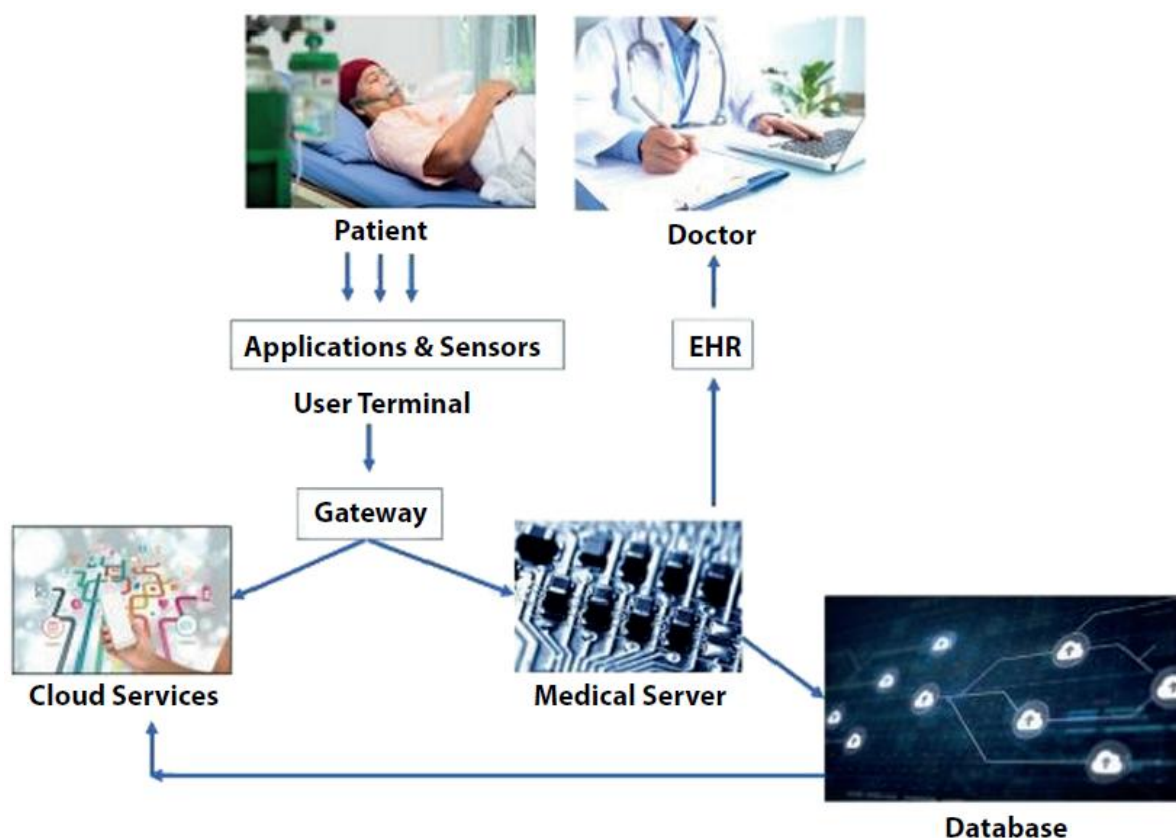


Рисунок 1 – Узлы и потоки данных в сети e-Health / m-Health

Следует отметить, что m-Health развивается очень быстрыми темпами, так как опирается на использование устройств и технологий, привычных и понятных для обычного пользователя. Это смартфоны, планшеты, умные часы/браслеты и доступ в сеть Интернет [41].

Одной из важных проблем в сфере предоставления услуг e-Health / m-Health является проблема обеспечения необходимого качества обслуживания (Quality of Service, QoS), от которого в значительной мере зависит качество восприятия пользователями подобных услуг (Quality of Experience, QoE), а значит – и их востребованность [42, 43]. Взаимосвязь между QoS и QoE показана на рис. 2.



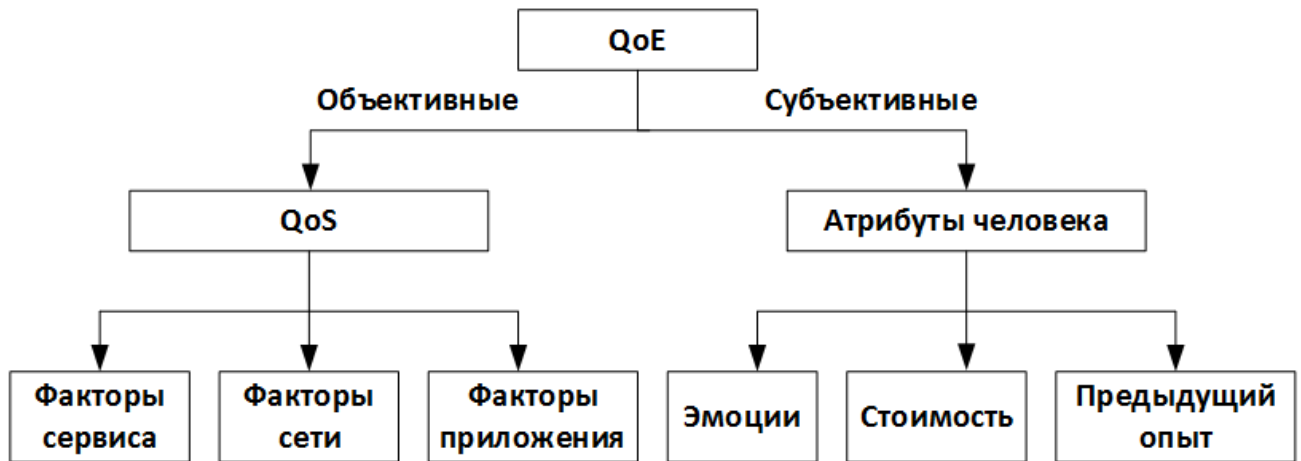


Рисунок 2 – Взаимосвязь QoS и QoE

Очень важно, что технологии m-Health позволяют сохранять пользователям мобильность и осуществлять мониторинг состояния здоровья в повседневной жизни без каких-либо существенных ограничений или необходимости постоянного нахождения в медицинском учреждении для получения соответствующих услуг.

### 1.3 Увеличение спроса на услуги e-Health и m-Health

В начале XXI века произошел переход от массового охвата пользователей несколькими суперпопулярными услугами (эра «Killer Application») к предоставлению новых специализированных телекоммуникационных приложений и сервисов (эра «Long Tail») [44, 45], которые рассчитаны на определенные узкие группы пользователей, что показано на рис. 3.

Причиной этого стало снижение доходов операторов связи от передачи одного бита информации при предоставлении базовых телекоммуникационных услуг [46]. Это, в свою очередь, произошло вследствие невозможности дальнейшего расширения абонентской базы, поскольку большинство абонентов развитых стран уже были охвачены предоставлением услуг связи, а также в связи с нарастающей конкуренцией между операторами связи, что, в свою очередь, приводит к снижению абонентской платы.

Решением для дальнейшего развития ИКТ стало, как сказано выше, создание множества новых целевых телекоммуникационных сервисов и услуг, таких как облачные вычисления, дополненная и виртуальная реальность, e-Health / m-Health и т.д.

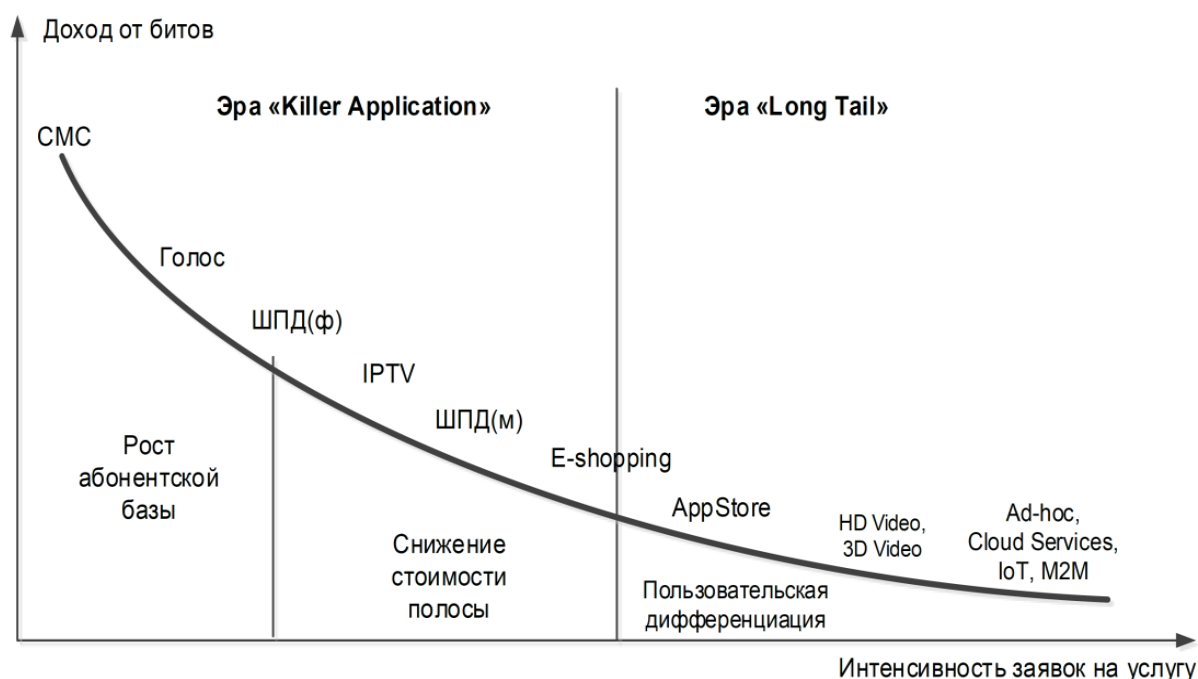


Рисунок 3 – Изменение парадигмы предоставления инфокоммуникационных услуг

В настоящее время особенно активно происходит увеличение спроса на услуги e-Health и m-Health [47]. С одной стороны, это связано с повсеместной цифровизацией и автоматизацией методов предоставления традиционных медицинских услуг, формирующимся в развитых и развивающихся странах запросом граждан на повышение продолжительности и качества жизни. С другой стороны, увеличение спроса на подобные услуги связано с повышением общей нагрузки на систему здравоохранения в связи с новыми вызовами, которые возникли перед человечеством в XXI веке [48, 49, 50].

По данным из открытых источников [51, 52], в период с 2016 по 2025 годы произойдет существенное увеличение объемов мирового рынка услуг m-Health, что показано на рис. 4.

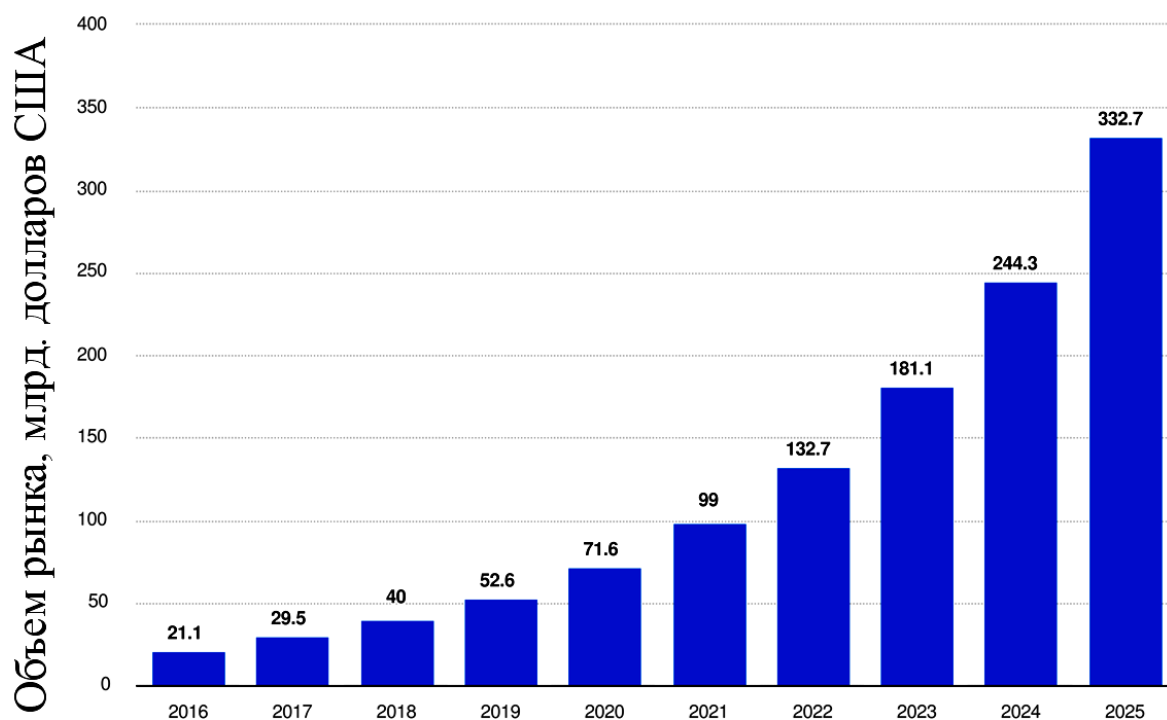


Рисунок 4 – Рост объемов рынка m-Health в период с 2016 по 2025 годы

При этом значительная часть услуг приходится именно на услуги m-Health. Оценка распределения мобильных приложений m-Health по типу предоставляемых услуг показана на рис. 5.

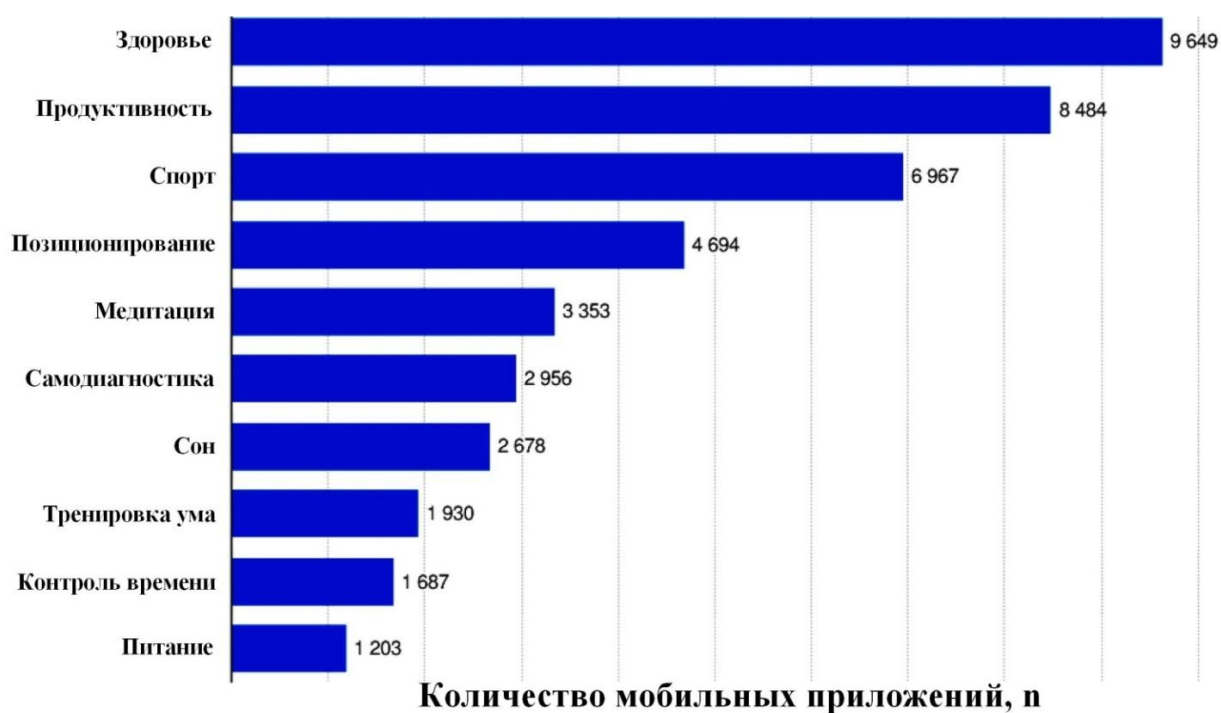


Рисунок 5 – Распределение мобильных приложений m-Health

Для предоставления пользователям разнообразных m-Health услуг могут быть использованы как коммуникационные возможности смартфона или планшета пользователя для доступа в сеть Интернет с целью получения необходимой информации или онлайн-консультации, так и встроенные датчики этого устройства. Например, акселерометр и гироскоп, которые сегодня входят в состав практически любого цифрового персонального вычислительного устройства, можно использовать для контроля физической активности пользователя во время спортивных тренировок или в повседневной жизни.

Для предоставления услуг m-Health также могут использоваться и отдельные специализированные устройства, функциональные возможности которых значительно выше возможностей встроенных датчиков обычного смартфона или планшета [53, 54].

Одними из таких устройств, возможность применения которых обычным пользователем в повседневной жизни стала особенно активно обсуждаться в последние годы, являются портативные устройства анализа состава продуктов питания и лекарственных средств [55, 56, 57]. Такие устройства могут функционировать на основе различных физических принципов [58]. Например, это может быть проведение экспресс-теста с использованием химических реактивов, анализ воздушной газовой смеси в непосредственной близости от исследуемого образца, или же применение методов инфракрасной микроспектроскопии [59, 60, 61].

Ранее подобные исследования проводились с использованием громоздкого, дорогостоящего и сложного в обращении оборудования исключительно специалистами высокой квалификации. К счастью, благодаря стремительно развивающимся технологиям и растущему уровню производства, в настоящее время появился ряд портативных персональных носимых устройств, которые позволяют проводить подобные исследования даже обычному пользователю без специальной подготовки или знаний.

Большинство из этих устройств не являются полностью автономными, поскольку не имеют достаточных функциональных возможностей, например, для ввода команд и отображения результатов. Поэтому они рассчитаны на взаимодействие со специальным мобильным приложением, установленным на смартфоне и планшете пользователя. Это приложение реализует функции управления, отображения информации в удобном для пользователя виде, осуществляет обработку данных и подключение к сети Интернет для доступа к удаленным вычислительным ресурсам центров обработки данных (ЦОД) и специализированным базам данных (БД).

Важным моментом, который определяет возможность массового использования, является стоимость подобных устройств. Разумеется, что сложное в управлении устройство с высокой стоимостью не будет так высоко востребовано и распространено, как устройство с небольшой стоимостью и низким порогом вхождения для его успешного применения. Уже сегодня появляются примеры подобных устройств [62, 63].

Отдельно следует отметить развитие и распространение нейронных сетей и технологий искусственного интеллекта (ИИ), которые сегодня все чаще применяются для решения прикладных задач анализа данных в промышленности, сельском хозяйстве, прикладных научных исследованиях и медицине [64, 65]. Без них не обходится и предоставление услуг m-Health, поскольку многие разработчики и производители подобных устройств и услуг используют ИИ при обработке результатов проведенного анализа [40].

Для того чтобы оценить текущее состояние предметной области, а также учесть все особенности и аспекты предоставления такой m-Health услуги, как молекулярный анализ продуктов питания и лекарственных средств, необходимо провести обзор представленных на рынке устройств и прототипов, выделить их общие черты и различия.

#### 1.4 Обзор существующих устройств, реализующих предоставление услуги молекулярного анализа

Проведем обзор нескольких портативных персональных устройств m-Health в виде готовых решений<sup>2</sup> или прототипов, которые способны обеспечить предоставление услуги анализа продуктов питания или лекарственных средств. Информация обо всех перечисленных устройствах подчерпнута из открытых источников (в первую очередь на основе информации, размещенной на веб-сайтах разработчиков), а сами устройства доступны для приобретения и даже имеют некоторое количество пользователей. Примерная оценка количества пользователей на основе статистики скачиваний / установок мобильных приложений для рассматриваемых устройств по данным с ресурса Google Play представлена на рис. 6.

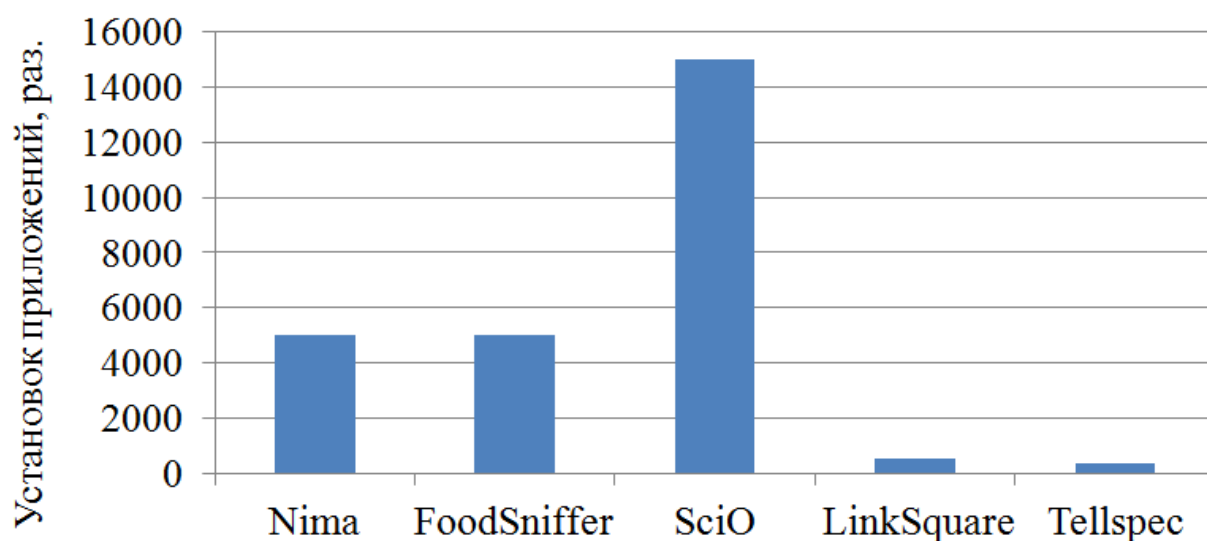


Рисунок 6 – Количество скачиваний / установок приложений

---

<sup>2</sup> Под готовым решением здесь и далее по тексту понимается технически законченное устройство (коммерческий продукт), обеспечивающее предоставление услуги молекулярного анализа, имеющееся в свободной продаже, не требующее какой-либо дополнительной доработки, обеспечивающее возможность повседневного использования в отсутствие у пользователя специальных знаний, умений и навыков.

Провести точную оценку количества постоянных пользователей крайне сложно ввиду того, что статистика по количеству скачиваний / установок мобильных приложений с различных ресурсов (например, play.google.com, apps.apple.com) не публикуется в открытом доступе или предоставляется со значительным округлением. Следует отметить также, что однократное скачивание / установка не означает наличие пользователя, который регулярно пользуется обозначенным устройством m-Health.

#### 1.4.1 Устройство Nima

Компания Nima Labs, Inc. [66] разработала устройство Nima, которое способно производить анализ продуктов питания в жидком и твердом виде с целью определения наличия в них веществ, способных вызывать аллергическую реакцию у человека [67, 68]. Небольшие габариты позволяют использовать это устройство для анализа продуктов питания в повседневной жизни, если возникают сомнения по поводу его состава. Внешний вид устройства Nima представлен на рис. 7.



Рисунок 7 – Устройство Nima и капсула для анализа

Для проведения анализа необходимо поместить небольшую часть исследуемого образца в специальную одноразовую капсулу, которая содержит все

необходимые химические реактивы. Далее необходимо поместить капсулу в устройство для проведения экспресс-теста.

Устройство Nima способно обнаружить в продуктах содержание глютена от 20 ppm и выше [69]. Заряда встроенного аккумулятора по информации от разработчика хватает на проведение 30 тестов. Для обеспечения удобного взаимодействия пользователя с устройством разработчиками создано специальное мобильное приложение The Portable Food Sensor [70], которое позволяет отображать информацию в удобном для пользователя виде, а также долговременно хранить результаты анализа и статистику проведенных измерений. Обновление программного обеспечения (ПО), а также использование дополнительных функций осуществляется при наличии доступа к сети Интернет.

#### 1.4.2 Устройство Food Sniffer

Food Sniffer это устройство производства компании ARS Labs [71]. Данный анализатор позволяет определить, пригодны ли для употребления в пищу продукты питания, или же они уже начали портиться и могут нанести вред здоровью человека или животных. Принцип его работы основан на определении наличия в воздушно-газовой смеси вокруг образца летучих соединений аммиака, которые выделяются в процессе разложения органики. Внешний вид устройства Food Sniffer представлен на рис. 8.



Рисунок 8 – Устройство Food Sniffer



Результаты проведенного анализа, а также статистика по предыдущим измерениям отображаются в специально разработанном мобильном приложении, которое устанавливается на мобильный терминал<sup>3</sup> пользователя.

### 1.4.3 Микроспектрометр SCiO

Устройство SCiO – это персональный портативный инфракрасный микроспектрометр, разработанный компанией Consumer Physics [72]. В его работе используются методы инфракрасной спектроскопии для определения состава продуктов питания и лекарственных средств [73, 74, 75], а также для проведения других исследований [76]. Внешний вид микроспектрометра SCiO представлен на рис. 9.



Рисунок 9 – Микроспектрометр SCiO

Основные технические характеристики устройства, заявленные производителем, представлены в табл. 1.

---

<sup>3</sup> Здесь и далее по тексту под мобильным терминалом (пользователя) понимается любое персонально цифровое вычислительное устройство, снабженное сетевыми интерфейсами – смартфон, планшет, ноутбук и т.д.

Таблица 1. Характеристики микроспектрометра SCiO

п/п	Характеристика	Значение, ед. измерения
1	Спектр излучения сенсора	Инфракрасный
2	Время измерения	1,5 с
3	Дистанция измерения	5-15 мм
4	Тип соединения с другими устройствами	Bluetooth 4.2 (IEEE 802.15.1)
5	Питание	От аккумулятора
6	Время, необходимое для полного заряда аккумулятора	3 часа
7	Габариты (ВхШхГ)	54,0х36,4х15,4 мм
8	Вес	35 г
9	Рабочая температура	5-35°C
10	Поддерживаемые операционные системы	iOS 8 и выше; Android 4.3 и выше

Принцип действия устройства можно описать следующим образом. При проведении анализа инфракрасное (ИК) излучение микроспектрометра попадает на исследуемый объект, после чего происходит поглощение энергии и возбуждение колебательных движений молекул вещества. Поглощение происходит на тех длинах волн, энергия которых соответствует энергиям возбуждения колебаний в облучаемых молекулах. Инфракрасный луч с измененным спектром отражается от исследуемого вещества и попадает на чувствительный сенсор спектрометра. Спектрограмма отраженного луча оцифровывается и анализируется. После проведения предварительного анализа данные с терминала пользователя посредством специального мобильного приложения через ССОП отправляются на удаленный облачный сервер компании-разработчика для дальнейшей обработки с использованием базы эталонных спектров. Результаты анализа передаются обратно на терминал пользователя и отображаются в удобном виде в мобильном приложении.

Предоставление услуги молекулярного анализа с использованием инфракрасного микроспектрометра SCiO показано на рис. 10.

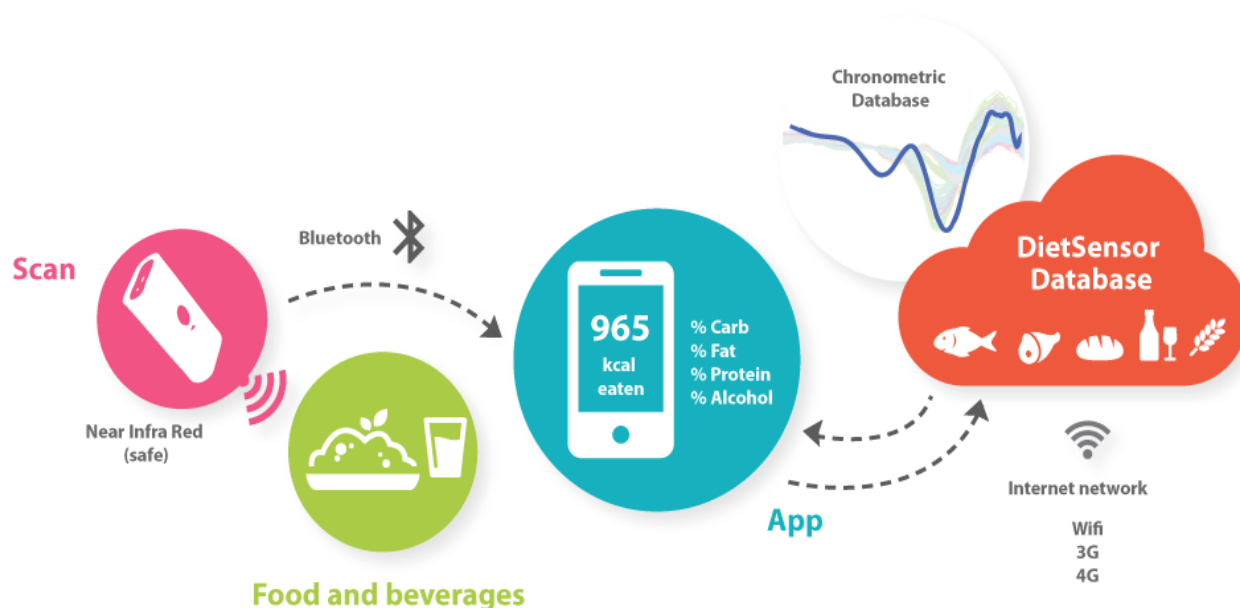


Рисунок 10 – Предоставление услуги m-Health с использованием микроспектрометра SCiO

Для удобства применения предлагаемого решения в сельском хозяйстве и пищевой промышленности для анализа сыпучих веществ и жидкостей разработчиками был создан микроспектрометр SCiO Cup в виде чаши с ручкой. Внешний вид микроспектрометра SCiO Cup представлен на рис. 11.



Рисунок 11 – Микроспектрометр SCiO Cup

При проведении исследований образец помещается непосредственно внутрь чаши, что более удобно для исследования сыпучих веществ (корма, зерно),

небольших по размеру объектов (фрукты и ягоды). Наличие ручки, обтекаемая форма корпуса и отсутствие выступающих частей делают данное устройство более удобным для повседневного применения в условиях промышленного предприятия или агрокомплекса.

#### 1.4.4 Микроспектрометр Link Square

Устройство Link Square – это персональный портативный микроспектрометр, разработанный компанией Stratio, Inc. [77]. В настоящий момент доступны две версии этого микроспектрометра (для работы в VIS/NIR и NIR диапазонах, соответственно). Данное устройство предназначено для применения в повседневной жизни, в медицине, сельском хозяйстве и на различных производствах [78, 79].

Для ввода команд и отображения результатов анализа микроспектрометр Link Square взаимодействует со специальным мобильным приложением на терминале пользователя. Обработка данных, полученных в результате анализа, производится локально, без подключения к ССОП. Внешний вид устройства представлен на рис. 12.



Рисунок 12 – Микроспектрометр Link Square

Основные технические характеристики данного устройства m-Health представлены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики микроспектрометра Link Square

п/п	Характеристика	Значение, ед. измерения
1	Габариты (ВхШхГ)	114,0х23,9х23,9 мм
2	Вес	57 г
3	Время, необходимое для полного заряда аккумулятора	< 1,5 ч
4	Количество сканирований на одном заряде аккумулятора	~ 1000
5	Время работы в режиме ожидания	24 ч
6	Подключение к сети	Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n)
7	Длина волны	700-1000 нм
8	Количество точек при сканировании (разрешающая способность)	600
9	Поддерживаемые операционные системы	iOS 10 и выше; Android 5.0 и выше

Для анализа жидкостей производитель рекомендует использовать настольный вариант микроспектрометра под названием Liquid Station, внешний вид которого представлен на рис. 13.



Рисунок 13 – Микроспектрометр Liquid Station

Специально разработанное ПО Link Square Collector, устанавливаемое на персональном компьютере или сервере, позволяет, взаимодействуя с микроспектрометром, накапливать информацию в виде набора спектров для дальнейшего изучения, обрабатывать полученные спектры с использованием

предложенных алгоритмов, а также преобразовывать собранные данные в необходимый формат при экспорте в облачную платформу или сторонние приложения. Внешний вид ПО Link Square Collector представлен на рис. 14.

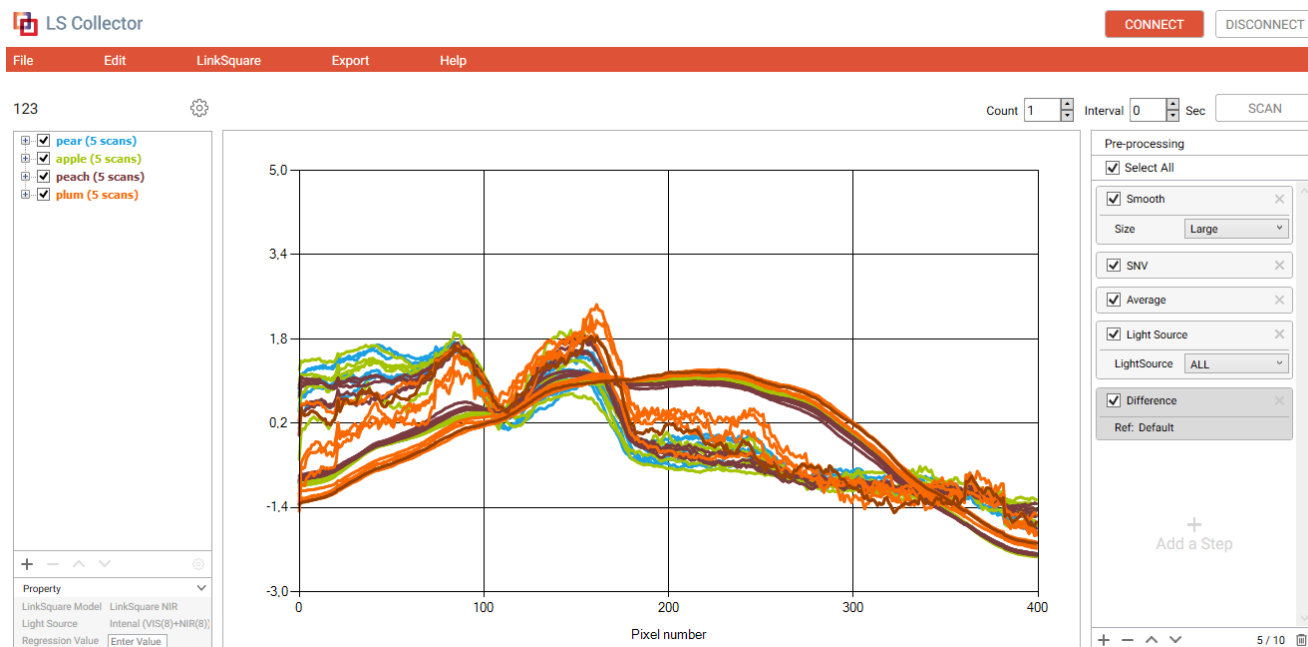


Рисунок 14 – Приложение Link Square Collector

Кроме приобретения самого устройства, разработчики предлагают на коммерческой основе использовать облачную платформу с интегрированным ИИ для создания собственных (Do It Yourself, DIY) мобильных приложений. При разработке приложения с использованием данной платформы пользователь самостоятельно проводит анализ образцов для формирования БД спектров, которая загружается в облачную платформу и используется для создания собственных программных модулей (апплетов). Разработанные таким образом апплеты (applet) загружаются в мобильное приложение Link Square на терминале пользователя для дальнейшего использования.

### 1.4.5 Микроспектрометр TellSpec

Компания TellSpec разработала одноименный портативный инфракрасный микроспектрометр [80]. Принцип работы данного устройства аналогичен

принципу работы микроспектрометров, описанных выше. Устройство TellSpec предназначено как для персонального использования, а так и для применения в сельском хозяйстве и промышленности [81, 82].

Внешний вид бытовой версии микроспектрометра TellSpec представлен на рис. 15.



Рисунок 15 – Микроспектрометр TellSpec

Во время предоставления услуги обработка поступающих данных происходит с помощью облачного сервера с БД, для чего необходимо обеспечить доступ терминала пользователя в сеть Интернет, что изображено на рис. 16.

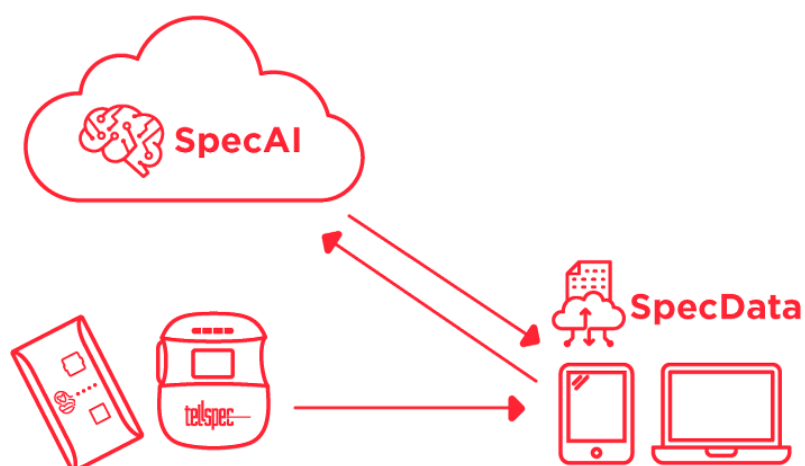


Рисунок 16 – Предоставление услуги m-Health с использованием микроспектрометра TellSpec

Основные технические характеристики микроспектрометра Tellspec представлены в табл. 3.

Таблица 3. Характеристики микроспектрометра Tellspec

п/п	Характеристика	Значение, ед. измерения
1	Тип датчика	NIR (отражение)
2	Габариты (ВхШхГ)	45х66х82 мм
3	Вес	136 г
4	Длина волны	900-1700 нм
5	Разрешение	854×480 пикселей
6	Общее время сканирования	6 с
7	Питание	USB (500 мА при 5 В), Li-ion аккумулятор (3,7 В/ 1000 мАч)
8	Количество сканирований на одном заряде аккумулятора	~ 1000
9	Время, необходимое для полного заряда аккумулятора	2,5 ч (быстрая) и 8 ч (стандартная)
10	Поддерживаемые ОС	Android, iOS
11	Подключение к сети	Bluetooth LE
12	Рабочая температура окружающей среды	от +10°C до +40°C

Компания Tellspec также предлагает сторонним разработчикам ресурсы собственной облачной платформы с интегрированным ИИ и БД спектров на коммерческой основе для обработки получаемых в результате анализа данных.

Компания TellSpec, в отличие от большинства рассмотренных ранее производителей, предлагает для проведения анализа использовать несколько отдельных независимых целевых мобильных приложений. Большинство из этих приложений позволяют проводить анализ какого-то конкретного продукта или вещества, а одно из этих приложений является мобильным справочником по использованию данного устройства.

Помимо версии устройства для персонального использования, существует версия для применения в промышленности и сельском хозяйстве Tellspec Enterprise. Её внешний вид, несколько отличающийся персональной версии, представлен на рис. 17.





Рисунок 17 – Микроспектрометр Tellspec Enterprise

Также существует версия этого устройства под названием Preemie, которая предназначена для проведения различных прикладных исследований в рамках лабораторий. Внешний вид этого устройства представлен на рис. 18.



Рисунок 18 – Микроспектрометр Preemie

#### 1.4.6 Прочее

Кроме описанных выше готовых решений, предназначенных преимущественно для личного пользования, в настоящий момент в научной и научно-популярной литературе, в открытых источниках и сети Интернет, можно

найти множество упоминаний разнообразных прототипов устройств и систем m-Health. Многие из них используют методы инфракрасной микроспектроскопии и другие методы анализа для предоставления услуг по определению состава различных веществ в сельском хозяйстве, промышленности, медицинской практике и т.д. [83, 84, 85].

### **1.5 Совмещение устройства анализа и терминала пользователя**

Устройства анализа, описанные выше, уже сегодня доступны для приобретения обычным пользователям. Однако в будущем, благодаря неминусовому развитию технологий и миниатюризации вычислительной техники, появится возможность совмещения функций подобных устройств с терминалом пользователя.

Так, в 2015 году китайской компанией Changhong была представлена модель смартфона ChangHong H1 на базе операционной системы (ОС) Android [86]. Помимо базовых атрибутов современного смартфона (камера высокого разрешения, чувствительный сенсорный экран, мощный четырехядерный мобильный процессор, аккумулятор высокой ёмкости и т.д.), данный смартфон предоставляет пользователю возможность проводить анализ уровня сахара и холестерина в крови с помощью специального датчика и сменных полосок для взятия образцов.

Собранные в результате анализа данные отправляются на облачный сервер для обработки и долгосрочного хранения, или же могут быть переданы в соответствующее медицинское учреждение для дальнейших исследований. Внешний вид этого смартфона представлен на рис. 19.



Рисунок 19 – Смартфон ChangHong H1 со встроенным анализатором крови

В 2017 году на выставке Consumer Electronics Show 2017 [87], проходившей в городе Лас-Вегас, США, была представлена модель смартфона со встроенным микроспектрометром SCiO. Данный смартфон появился благодаря усилиям китайских, американских и израильских разработчиков. Внешний вид представлен на рис. 20.



Рисунок 20 – Смартфон ChangHong H2 со встроенным инфракрасным микроспектрометром SCiO

В настоящий момент времени данные устройства так и не появились в свободной продаже. Возможно, это было связано с тем, что на момент их презентации популярность m-Health решений у массового потребителя еще не была достаточно высока, однако в ближайшем будущем ситуация может существенно измениться.

## **1.6 Мобильное приложение терминала пользователя**

### **1.6.1 Описание мобильного приложения**

Как было сказано выше, часто подобные m-Health устройства взаимодействуют в процессе предоставления услуги с мобильными приложениями на терминале пользователя. Поэтому далее необходимо подробнее рассмотреть примеры этих приложений и их отличительные особенности.

Некоторые рассмотренные устройства, например анализаторы Nima или Food Sniffer, взаимодействуют с мобильными приложениями для обеспечения возможности ввода команд управления или отображения результатов анализа. Данные готовые решения могут работать автономно. Они используют подключения к сети Интернет в тех случаях, когда необходимо получить обновления ПО или отправить запрос в службу технической поддержки.

В случае со спектрометрами SCiO и Link Square мобильное приложение обеспечивает авторизацию пользователя (Authentication, Authorization, Accounting, AAA), позволяет производить калибровку спектрометра, получать справочную информацию по работе с устройством или обращаться в техническую поддержку. Мобильное приложение терминала пользователя обеспечивает взаимодействие со спектрометром по беспроводному каналу связи и передачу полученных от микроспектрометра данных на удаленную облачную платформу для последующей обработки.

Для обеспечения функций анализа различных веществ в приложениях спектрометров SCiO и Link Square присутствует набор независимых программных

модулей (апплетов) [88]. Каждый апплет предназначен для проведения анализа определенного вещества (объекта) или группы веществ (объектов). Например, для указанных спектрометров имеются отдельные апплеты для анализа фруктов и овощей, шоколада, различных видов мяса и рыбы.

Апплеты позволяют значительно повысить удобство работы с основным приложением и гибко настраивать его под решение того круга задач, который интересует конкретного пользователя, что может быть крайне удобно с учетом личных предпочтений пользователя, региональных особенностей или специфики профессиональной деятельности. Пользователь, запустив одно основное приложение и пройдя авторизацию, может быстро переключаться между апплетами, по желанию устанавливать или удалять апплеты, а также получать доступ к общей статистике по всем проведенным измерениям. Структура такого приложения показана на рис. 21.

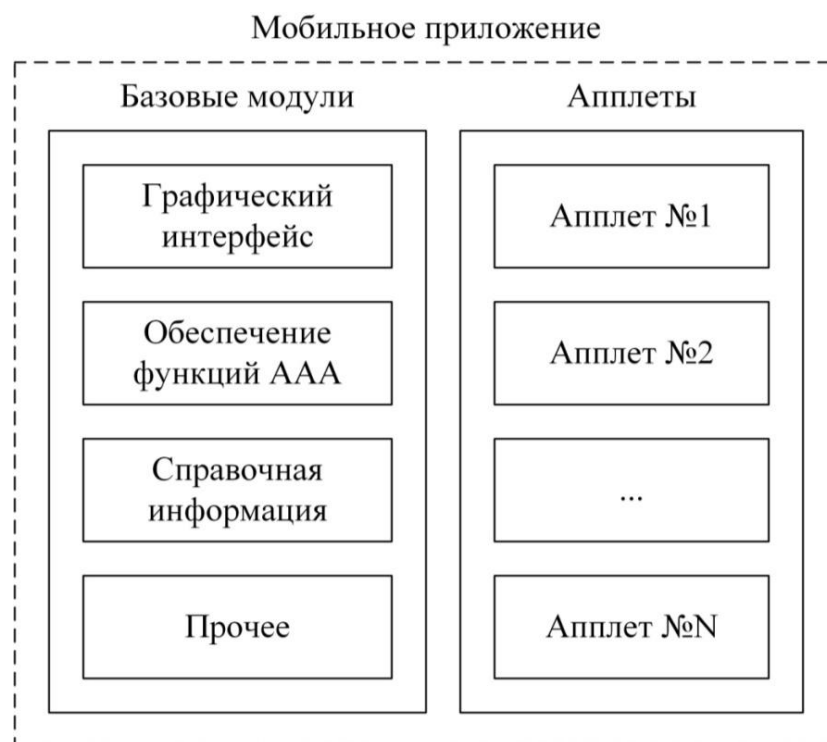


Рисунок 21 – Структура мобильного приложения с апплетами

Выбор одного из доступных апплетов в меню приложения микроспектрометра SCiO показан на рис. 22.

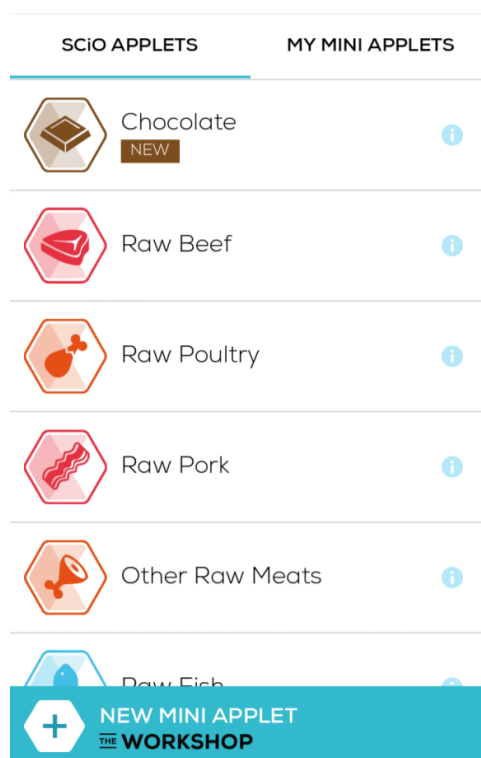


Рисунок 22 – Выбор апплета в меню приложения SCiO

### 1.6.2 Примеры апплетов

Далее проведем обзор апплетов различного назначения (на примере апплетов мобильного приложения спектрометра SCiO).

Produce Selector – это апплет, который предоставляет пользователю возможность провести анализ фруктов, ягод и овощей с целью определения для них значения по шкале Брикса (Brix) [89]. Этот показатель является мерой массового отношения сухих растворённых в воде веществ (фруктозы, сахарозы, кислот, аминокислот, солей, витаминов, протеинов) к объему жидкости. Данная единица измерения широко используется в пищевой промышленности с целью определения концентрации полезных веществ в соках и фруктовых напитках. При проведении анализа фруктов, ягод и овощей определение значения по шкале Брикса позволяет оценить содержание витаминов и минералов без механического воздействия на исследуемый образец. Внешний вид этого апплета представлен на рис. 23.

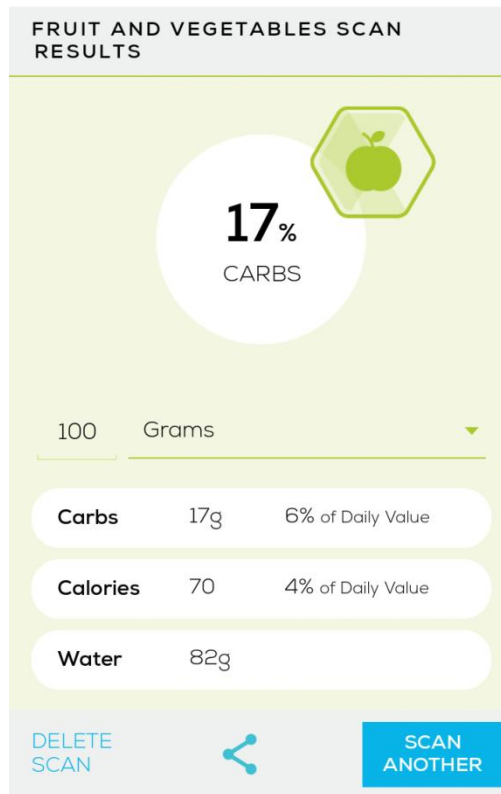


Рисунок 23 – Внешний вид апплета Produce Selector

Fruit and Vegetables – это апплет, который также используется для проведения анализа фруктов и овощей. Он позволяет определить количество углеводов, калорий и воды, которые входят в состав исследуемого образца, в расчете на указываемую пользователем расчетную массу образца. Внешний вид этого апплета представлен на рис. 24.

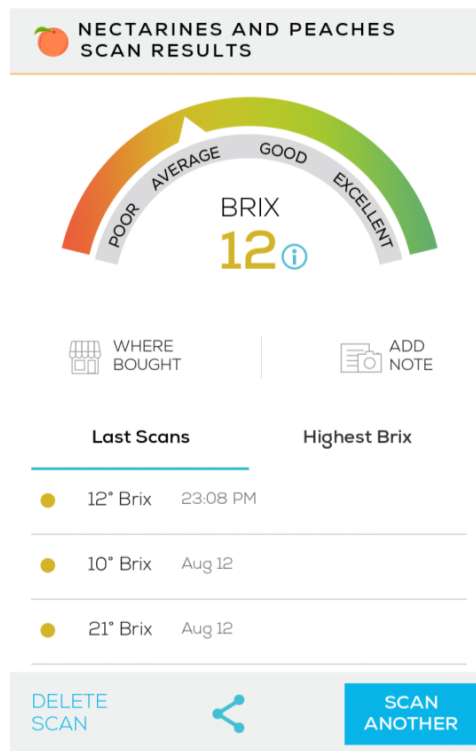


Рисунок 24 – Внешний вид апплета Fruit and Vegetables

Body Fat – это апплет, который позволяет определить индекс массы тела. Этот показатель определяет соотношение мышечной массы и массы жировой ткани тела. Индекс массы тела используется для оценки физической формы человека при занятии спортом или физкультурой. Перед проведением сканирования необходимо указать пол, возраст, рост и массу тела, для того чтобы апплет провел калибровку алгоритмов с целью повышения точности результатов сканирования. Далее проводится исследование согнутой руки в области плеча для определения толщины подкожного жирового слоя. После завершения процедуры на экране смартфона или планшета отображается процентное содержание мышечной массы и массы жировой ткани, а также рекомендованное для потребления суточное количество калорий. Внешний вид этого апплета представлен на рис. 25.



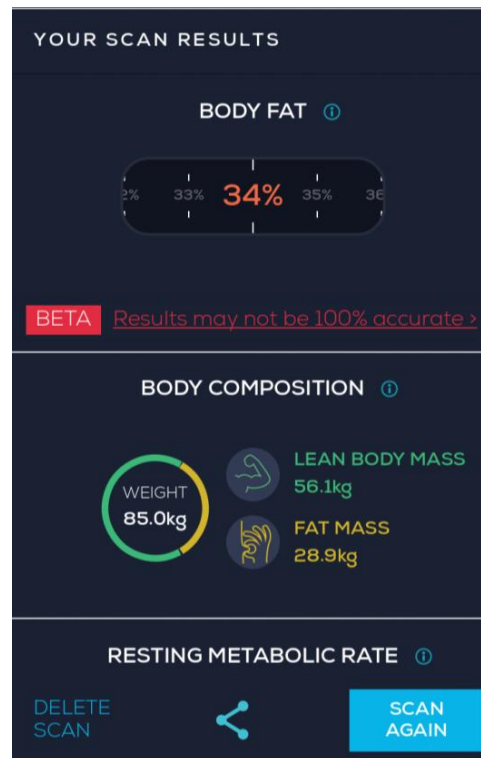


Рисунок 25 – Внешний вид апплета Body Fat

Pain Relievers – это апплет, который предназначен для проведения анализа состава лекарственных средств в виде таблеток<sup>4</sup> или порошков. Он позволяет определять основное действующее вещество, а также отображает необходимую для пояснения справочную информацию. Другие вещества с низким процентным содержанием из состава лекарственного средства при проведении анализа игнорируются. Внешний вид этого апплета представлен на рис. 26.

<sup>4</sup> Следует заметить, что при первом запуске данного апплета разработчики специальным сообщением информируют пользователя устройства о том, что апплет Pain Relievers носит исключительно информативный характер и не прошел какую-либо сертификацию для использования в медицинской практике.



Рисунок 26 – Внешний вид апплета Pain Relievers

Как видно из рассмотренных примеров, апплеты предназначены для проведения анализа состава продуктов питания, лекарственных средств и оценки комплекции тела человека. Соответственно, подобные устройства могут найти широкое применение в повседневной жизни.

### 1.7 Сравнение рассмотренных решений

Из проведенного выше обзора доступных на момент написания работы готовых решений, позволяющих предоставлять услугу молекулярного анализа состава продуктов питания, лекарственных средств на основе различных физических принципов в режиме реального времени (или режиме, близком к реальному времени<sup>5</sup>) можно сделать следующие выводы:

<sup>5</sup> Поскольку фактическое время однократного предоставления данной услуги для большинства устройств составляет порядка 7-9 секунд.

1. Все рассмотренные устройства позиционируются разработчиками как устройства общего назначения, которые предназначены как для использования в повседневной жизни обычным человеком, так и для использования профильными специалистами в сельском хозяйстве, промышленности и т.д. Производителями созданы необходимые модификации описанных устройств и соответствующее ПО для проведения прикладных исследований или разработки собственных приложений (или апплетов к уже существующим приложениям).
2. Большинство из рассмотренных устройств взаимодействуют со специальным мобильным приложением на терминале пользователя для обеспечения функций ААА, калибровки устройства, ввода команд управления, отображения результатов исследований. Эти приложения могут включать в себя независимые программные модули, называемые апплетами. В таком случае каждый целевой апплет предназначен для исследования какого-либо одного вещества (объекта) или группы веществ (объектов).
3. Часть устройств обрабатывают полученные в результате исследования данные на удаленных облачных платформах с применением специализированных алгоритмов на основе ИИ с использованием собранной разработчиками БД. Некоторые производители предлагают возможности своих облачных платформ сторонним разработчикам или другим заинтересованным лицам для обработки данных анализа на коммерческой основе. Очевидно, что в рамках рассматриваемой услуги ценность представляют не только сами портативные устройства молекулярного анализа, но и специализированные алгоритмы на основе ИИ и БД (содержащих эталоны спектров различных веществ), а потому перенос этих алгоритмов или БД на терминал пользователя может быть не оправдан. С одной стороны, БД большого объема могут занимать слишком большой объем памяти в случае долговременного хранения, а

специализированные алгоритмы на основе ИИ могут требовать достаточно большой вычислительной способности от терминала пользователя. С другой стороны, специализированные алгоритмы на основе ИИ и БД являются интеллектуальной собственностью разработчика. Их перенос на терминал пользователя может создать угрозу безопасности интеллектуальной собственности разработчиков. Поэтому с высокой долей вероятности можно предполагать, что для предоставления подобных услуг в будущем будут широко использоваться облачные платформы и ССОП.

4. Все рассмотренные устройства обеспечивают предоставление услуги молекулярного анализа в режиме реального времени на основе различных физических принципов, и рассчитаны на применение в нормальных климатических условиях. Также они не требуют для наличия у пользователя специфических знаний, умений и навыков. Предпочтение при выборе следует отдавать тем устройствам e-Health, которые способны проводить неразрушающий анализ (без механического воздействия на образец), не использовать расходных материалов (капсул с реактивами), проводить анализ без вскрытия упаковки исследуемого вещества (объекта).

Обобщенные результаты сравнения описанных готовых решений m-Health, обеспечивающих предоставление услуги молекулярного анализа питания, лекарственных средств в режиме реального времени (или близком к реальному времени), представлены в табл. 4.

Таблица 4. Сравнение рассмотренных решений

п/п	Критерий	Устройство				
		Nima	Food Sniffer	SCiO	Link Square	TellSpec
1	Обработка данных, полученных в результате анализа с использованием облачных технологий (при условии наличия доступа в ССОП)	Нет	Нет	Да	Нет	Да
2	Взаимодействие с мобильным приложением на терминале пользователя при предоставлении услуги m-Health (обязательно)	Нет	Да	Да	Да	Да
3	Использование мобильного приложения для хранения результатов анализа, сбора статистики, доступа к справочной информации, получения технической поддержки	Да	Да	Да	Да	Да
4	Мобильное приложение выполнено по модульному принципу (основное приложение и апплеты)	Нет	Нет	Да	Да	Нет
5	Устройство позиционируется разработчиками как m-Health и прошло необходимую сертификацию	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
6	Разработчик имеет облачную платформу, ресурсы которой он готов предоставить для обработки данных молекулярного анализа на коммерческой основе сторонним организациям	Нет	Нет	Нет	Да	Да
7	Доступ к дополнительным возможностям по созданию собственных приложений (личный кабинет и специализированное ПО для разработчиков)	Нет	Нет	Да	Да	Да

## 1.8 О создании провайдера услуг e-Health / m-Health

### 1.8.1 Особенности предоставления услуг

В результате проведенного в данной главе анализа тенденций развития Интернета вещей, e-Health, m-Health, а также представленных в настоящий момент готовых решений, предназначенных для предоставления услуг m-Health пользователям в повседневной жизни, становится очевидно, что с предоставлением различных услуг e-Health / m-Health связан ряд особенностей:

1. Подавляющее большинство производителей предоставляют пользователям возможность приобрести свои устройства через розничную сеть, интернет-магазины, непосредственно через web-сайт компании-разработчика. При этом платная подписка с заключением какого-либо договора на предоставление услуг m-Health, порядок и качество предоставления которых были бы определены соглашением об уровне предоставления услуг (Service Level Agreement, SLA) [90] не доступна<sup>6</sup>. Другими словами, пользователь приобретает конкретное устройство m-Health, а не услугу как таковую.
2. Большинство производителей предоставляют пользователям возможность при необходимости самостоятельно разрабатывать апплеты под собственные задачи. При этом создание апплетов происходит через так называемый личный кабинет разработчика, доступный на web-сайте компании-производителя, который позволяет получить доступ к необходимым для разработки инструментам. Доступ к личному кабинету разработчика осуществляется на основе платной подписки. Вероятно, стремление разработчиков заинтересовать конечного пользователя разработкой специализированных целевых приложений или апплетов связано с общей незрелостью рынка подобных услуг, а также желанием привлечь к развитию своих решений активных пользователей и сторонних разработчиков. Конечной целью, вероятно, является поиск возможных областей применения готовых устройств m-Health и расширение клиентской базы.
3. Большинство производителей предлагают в качестве услуги осуществление обработки данных, поступающих от сторонних микроспектрометров с использованием собственных вычислительных

---

<sup>6</sup> Большинство производителей позиционируют свои устройства, которые фактически относятся к категории m-Health, как бытовые устройства общего назначения, что, в свою очередь, избавляет производителей от необходимости проходить какую-либо сертификацию.

мощностей ЦОД и алгоритмов (в т.ч. с использованием ИИ) на платной основе. Вероятно, основной сложностью в таком случае является отсутствие общепризнанных стандартов для форматов передачи данных при предоставлении услуг e-Health / m-Health.

Другими словами, в настоящий момент времени пользователь для получения доступа к услуге в большинстве случаев приобретает конкретное устройство m-Health. Однако в подобных обстоятельствах по ряду причин для пользователя устройства m-Health постоянно присутствует вероятность потерять доступ к услуге. Например, если производитель оборудования по каким-либо причинам закрывает производство, серверы, осуществляющие обработку поступающих данных, вероятно, также прекратят свою работу [91]. Одновременно с этим пользователь может потерять доступ к установке и обновлению прикладного ПО, актуализации БД, технической поддержке.

Однако, как отмечено выше, уже сейчас существует потенциальная возможность предоставлять услуги m-Health на основе платной подписки, а также обрабатывать данные, полученные от сторонних устройств, реализующих предоставление подобных услуг.

Соответственно, существует возможность принципиального перехода от продажи устройств m-Health производителями к предоставлению услуг m-Health специализированными провайдерами при условии обязательной стандартизации форматов передачи медицинских данных и наличии открытых программных интерфейсов приложений (Application Programming Interface, API).

В данном направлении сегодня ведется активная работа. Так, например, в последние несколько лет значительно расширился перечень рекомендаций серии "Н" сектора стандартизации Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) в части рекомендаций, касающихся мультимедиа систем, услуг и приложений электронного здравоохранения [92], описывающих предоставление разнообразных услуг e-Health с применением конкретных устройств: глюкометров, пульсоксиметров и т.д. Другим примером может послужить

подготовка рекомендации IEEE – Approved Draft Standard for Mobile Health Data [93], который описывает обмен и использование медицинских данных, связанных со сном и физической активностью.

### **1.8.2 Провайдер услуг e-Health / m-Health**

Для качественного предоставления услуг m-Health широким слоям населения необходимо создание специализированных провайдеров услуг e-Health / m-Health [94, 95]. Такие провайдеры могли бы обеспечить взаимодействие пользователя услуг и сотрудников медицинских учреждений, поддерживали бы необходимую для обработки данных сетевую и вычислительную инфраструктуру, обеспечивали необходимое качество предоставления услуг на основании договора и установленных в нем SLA.

Наличие подобных провайдеров освободило бы разработчиков и производителей оборудования e-Health / m-Health от непрофильных функций: необходимости поддерживать инфраструктуру, обеспечивающую обработку данных, ведения учета и взимания абонентской платы с пользователей, оказания технической поддержки на местах.

С точки зрения государства наличие подобных провайдеров позволило бы обеспечить контроль за представлением услуг e-Health / m-Health, гарантировать качество предоставления услуг потребителям за счет стандартизации и сертификации. Внедрение e-Health / m-Health провайдеров также придало бы существенный импульс для создания и развития современной цифровой системы общественного здравоохранения.

Обычным пользователям наличие подобных провайдеров обеспечивало бы бесперебойное и качественное предоставление желаемых услуг e-Health / m-Health с учетом поддержки широкого ассортимента устройств различных производителей, передачу данных в медицинские учреждения, а также круглосуточную техническую поддержку.



Схема взаимодействия пользовательских устройств и провайдера услуг показана на рис. 27.

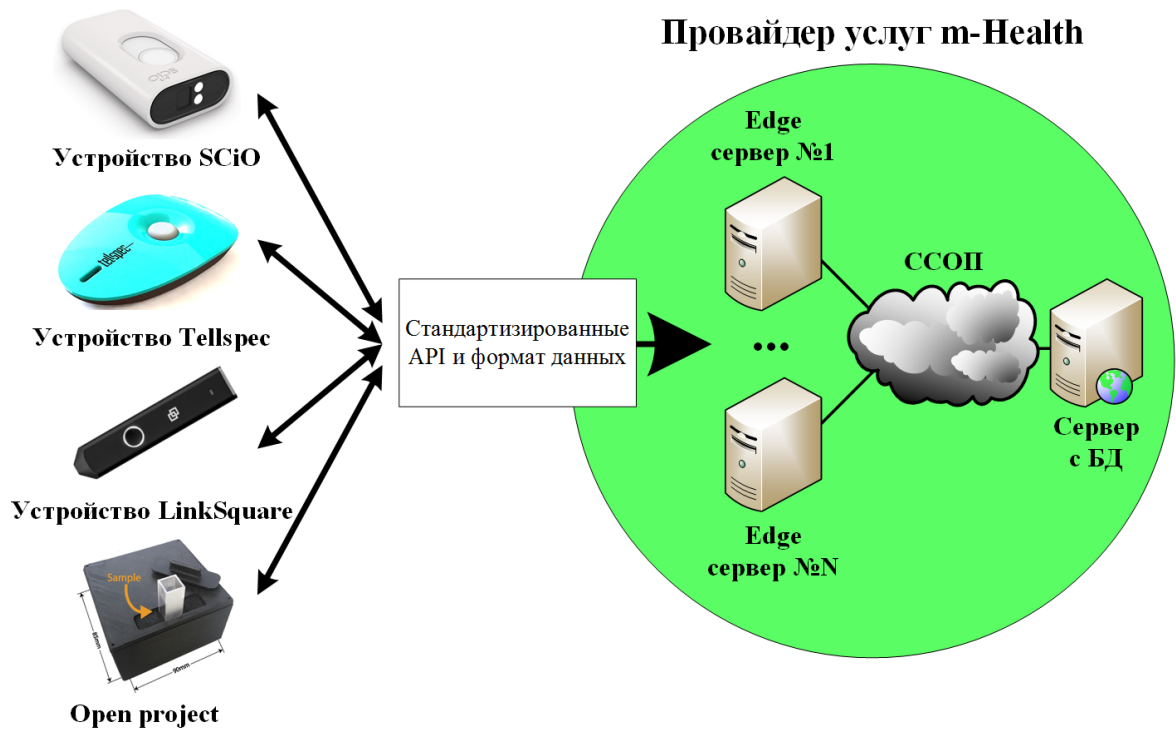


Рисунок 27 – Взаимодействие пользовательских устройств и провайдера услуг m-Health

Разумеется, разработка недорогих и качественных устройств, предоставляющих услуги m-Health, создание провайдеров подобных услуг, процесс широкомасштабного внедрения услуг m-Health в повседневную жизнь обычных людей, обеспечение интеграции с существующей системой здравоохранения связаны с большим количеством сложностей и рисков [96, 97]. Однако эффект от практической реализации, вероятнее всего, окажет существенное влияние на качество предоставления медицинских услуг и общество в целом.

### Выводы по главе

1. В главе проведен обзор нескольких персональных портативных устройств m-Health, обеспечивающих предоставление услуги молекулярного анализа продуктов питания и лекарственных средств в повседневной жизни, рассмотрены их ключевые особенности, технические характеристики, порядок использования.
2. Рассмотрены особенности реализации мобильных приложений, а также типовые апплеты, входящие в состав основного мобильного приложения. Отмечены преимущества такого принципа построения мобильного приложения.
3. Проведен краткий обзор общих черт и различий предоставления услуги молекулярного анализа на базе ССОП разными устройствами. Отмечены такие особенности, как взаимодействие между пользователем и устройством m-Health через терминал, обработка первичных данных на удаленном облачном сервере с применением технологий ИИ, модульная структура мобильного приложения, которое позволяет взаимодействовать со спектрометром.
4. Рассмотрены ключевые особенности предоставления услуги, а также предпосылки, определяющие необходимость создания провайдеров услуг e-Health / m-Health.

## **ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДА И ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕВОГО ТРАФИКА, ГЕНЕРИРУЕМОГО В ПРОЦЕССЕ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ УСЛУГИ МОЛЕКУЛЯРНОГО АНАЛИЗА**

### **2.1 Разработка метода оценки характеристик сетевого трафика**

#### **2.1.1 Модельные сети и особенности их применения**

Для того чтобы более подробно изучить особенности работы и функциональные возможности устройств m-Health, обеспечивающих предоставление услуги молекулярного анализа, а также установить последовательность выполняемых действий, определить порядок обмена сообщениями, исследовать характеристики генерируемого устройствами m-Health сетевого трафика, необходимо провести серию натурных экспериментов. Данные эксперименты должны максимально точно воспроизводить условия и порядок применения подобных m-Health устройств обычным пользователем в повседневной жизни или профильным специалистом в рамках своей профессиональной деятельности. Дополнительное оборудование и ПО, используемое при проведении экспериментов, должно обеспечивать возможность мониторинга и перехвата генерируемого сетевого трафика, контроля и протоколирования хода проведения экспериментов, фиксации полученных результатов.

Для проведения различных типов тестирования телекоммуникационного оборудования или ПО, систем или сетевых сервисов широко применяется такой инструмент, как модельные сети [98, 99]. Они также часто используются при проведении различного рода научных исследований и экспериментов с целью подробного изучения существующих систем связи или апробации новых научно-технических решений [100, 101, 102, 103]. Модельные сети также могут с успехом использоваться при обучении студентов, поскольку позволяют отрабатывать

навыки конфигурирования телекоммуникационного оборудования и настройки сетевых сервисов при минимальном количестве задействованных ресурсов [104].

Согласно определению, данному в рекомендации ITU-T Q.3900 [105], модельная сеть – это сеть связи, которая имитирует возможности, аналогичные существующим в действующих сетях электросвязи, имеет подобную архитектуру и обладает теми же функциональными возможностями, а также использует те же технические средства электросвязи.

Типовая структура модельной сети показана на рис. 28.

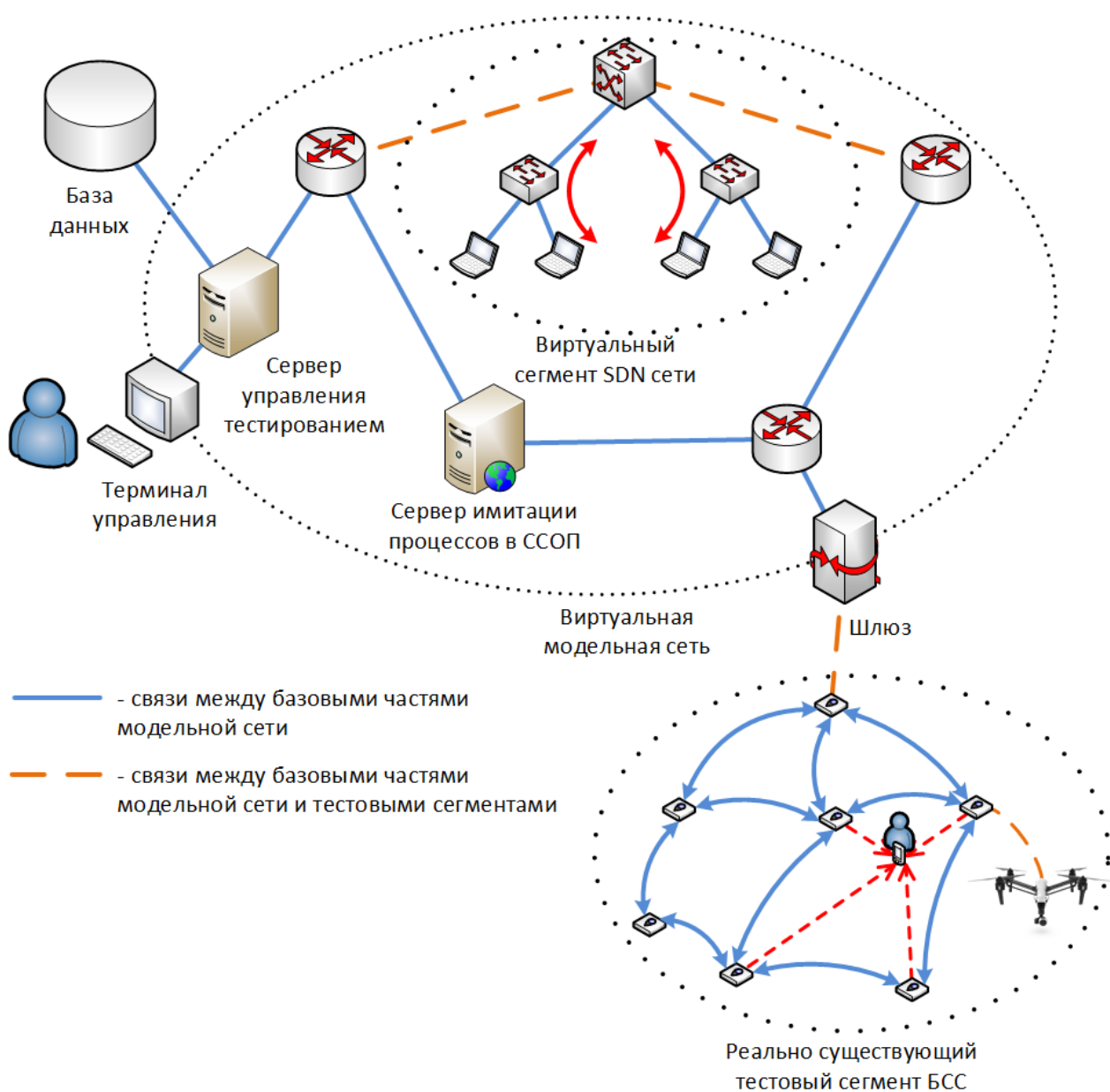


Рисунок 28 – Типовая структура модельной сети

В модельной сети могут быть реализованы некоторые дополнительные функции. Это централизованное управление, мониторинг и протоколирование параметров работы отдельных узлов модельной сети или развернутых на них сетевых сервисов; перехват и анализ генерируемого сетевого трафика; генерация требуемого объема сетевого трафика определенного типа (речь, видео, передача больших объемов данных, трафик IoT и т.д.) с заданными характеристиками; преднамеренное воздействие на сетевой трафик с целью изменения значений параметров QoS (внесение ошибок, потерь пакетов, сетевой задержки, джиттера и т.д.) передаваемого трафика или имитации возникновения других явлений (ослабление сигнала, дубликация пакетов), возникающих при передаче данных по каналам ССОП и многое другое [106].

Модельная сеть может включать в себя не только физическое телекоммуникационное оборудование, развернутое на электронно-вычислительных машинах (ЭВМ) сетевое ПО и кабели связи. Часто в целях экономии технических средств и повышения удобства работы с модельной сетью прибегают к виртуализации отдельных узлов модельной сети с помощью специализированного ПО [107]. В некоторых случаях вся модельная сеть, за исключением тестируемого оборудования или программного обеспечения, может быть виртуализирована [108, 109].

Модельная сеть при необходимости может иметь доступ к ресурсам ССОП, а также использовать инфраструктуру ССОП для получения доступа к другим удаленным модельным сетям или их отдельным сегментам.

### **2.1.2 Структура модельной сети**

В качестве исследуемого оборудования m-Health для проведения экспериментов на базе модельной сети в результате проведенного в первой главе обзора на основании соотношения «функциональные возможности / стоимость» были выбраны следующие устройства: микроспектрометр SCiO производства

компании Consumer Physics, микроспектрометр Link Square производства компании Stratio, Inc.

Для проведения серии экспериментов было разработано несколько вариантов реализации модельной сети (варианты №1, №2, №3), структура которых представлена на рис. 29, 30, 31 соответственно.



Рисунок 29 – Структура модельной сети (вариант №1)<sup>7</sup>

Разработанная модельная сеть, структура которой представлена на рис. 29, может использоваться в тех случаях, когда взаимодействие между микроспектрометром и терминалом пользователя осуществляется по технологии IEEE 802.15.1 (Bluetooth). Модельная сеть включает в себя следующие компоненты:

<sup>7</sup> Цифрами на рис. 29, 30, 31 обозначены возможные точки перехвата сетевого трафика: 1 – точка перехвата трафика на сетевом интерфейсе IEEE 802.15.1 (Bluetooth); 2 – точка перехвата трафика на сетевом интерфейсе IEEE 802.11 (Wi-Fi); 3 – точка перехвата трафика на сетевом интерфейсе IEEE 802.3 (Ethernet).

- Исследуемый объект, который анализируется с помощью микроспектрометра в рамках серии экспериментов. От типа исследуемого объекта (овощи, фрукты, шоколад, лекарственные средства) зависит выбор используемого при проведении эксперимента апплета;
- Устройство m-Health, которое представляет собой портативный инфракрасный микроспектрометр, обеспечивающий предоставление услуги молекулярного анализа. Для проведения экспериментов микроспектрометр подключается к терминалу пользователя с применением беспроводной технологии передачи данных IEEE 802.15.1;
- Терминал (пользователя) с ПО, который обеспечивает работу мобильного приложения (и входящих в его состав апплетов). С помощью терминала происходит управление микроспектрометром, отображение результатов анализа в удобном для пользователя виде, передача полученных данных через ССОП на удаленный сервер. В качестве терминала использовался смартфон под управлением ОС Android 8.1.0;
- Шлюз доступа, который обеспечивает построение беспроводной локальной сети (Wireless Local Area Network, WLAN) на основе технологии передачи данных IEEE 802.11 (Wi-Fi). В качестве шлюза доступа WLAN использовался Wi-Fi маршрутизатор класса SOHO (Small Office/Home Office). В качестве альтернативного варианта для получения доступа к ресурсам ССОП вне зоны покрытия частных / публичных сетей Wi-Fi производителями рекомендуется использовать подключение к сетям мобильной сотовой связи LTE/5G;
- Узел анализа трафика, который обеспечивает мониторинг работы узлов модельной сети, а также долгосрочное хранение, возможность подробного изучения и обработки перехваченного сетевого трафика. В качестве узла анализа трафика использовался ноутбук, подключенный к WLAN с установленным специализированным ПО (в т.ч. программным анализатором трафика Wireshark);

- Сервер с БД, который использовался во взаимодействии со спектрометром для обработки первичных данных, полученных в результате анализа. В качестве сервера, как одного из удаленных узлов модельной сети, опосредованно использовался сервер компании-разработчика микроспектрометра.

Описанная выше модельная сеть позволяет исследовать особенности работы и перехватывать сетевой трафик, генерируемый во время работы спектрометра SCiO.

На рис. 30 представлена структура модельной сети (вариант №2), которая может использоваться в тех случаях, когда взаимодействие между спектрометром и терминалом пользователя осуществляется по технологии IEEE 802.11 (через шлюз доступа WLAN или напрямую).



Рисунок 30 – Структура модельной сети (вариант №2)

В качестве основных недостатков такой схемы организации связи между терминалом пользователя и спектрометром можно указать следующие:



- Невозможность использования данной схемы в публичных Wi-Fi сетях, где часто требуется прохождение процедуры авторизации пользователя. В таком случае спектрометр не сможет подключиться к публичной сети, поскольку не имеет органов управления для ввода данных (имя пользователя / пароль);
- Генерация большого объема сетевого трафика, в том числе широковещательного, который поступает в сегмент WLAN при установке соединения между терминалом пользователя и спектрометром, а также во время проведения измерений;
- Угрозы, связанные с невозможностью обеспечить высокий уровень безопасности при передаче данных, поскольку спектрометр в силу ограничений собственных технических возможностей не способен обеспечить их надежное шифрование.

Альтернативой может послужить создание частной открытой сети WLAN с помощью терминала пользователя с последующим подключением к ней устройства m-Health, однако в таком случае терминал пользователя (который сам становится точкой доступа) теряет возможность подключаться к публичным WLAN сетям по технологии Wi-Fi.

Описанная модельная сеть позволяет перехватывать сетевой трафик, генерируемый во время работы спектрометра Link Square. Поскольку этот микроспектрометр способен проводить локальную обработку данных, в качестве сервера с БД, на котором проводится обработка поступающих в результате анализа первичных данных, использовался локально размещенный сервер со специализированным ПО разработчиков Link Square Collector. Указанное ПО предназначено для сбора, накопления и обработки спектрограмм с целью последующего создания собственных мобильных приложений или апплетов для работы со спектрометром Link Square.

Поскольку заранее предвидеть и описать все возможные варианты подключения устройств m-Health к терминалу пользователя невозможно, а также,

поскольку существует потенциальная возможность совмещения терминала пользователя и функций устройства m-Health, необходимо разработать более универсальную структуру модельной сети. Для того чтобы несколько абстрагироваться от конкретных беспроводных сетевых технологий, обеспечивающих взаимодействие между терминалом пользователя и устройством m-Health, можно сконцентрироваться на исследовании сетевого трафика, поступающего со шлюза доступа WLAN в ССОП. На рис. 31 представлена структура модельной сети (вариант №3), которая может использоваться в таком случае. Данная модельная сеть помимо прочего включает в себя ответвитель сетевого трафика (Test Access Point, TAP) [110], который позволяет реплицировать проходящий сетевой трафик и направлять его копию на узел анализа трафика.

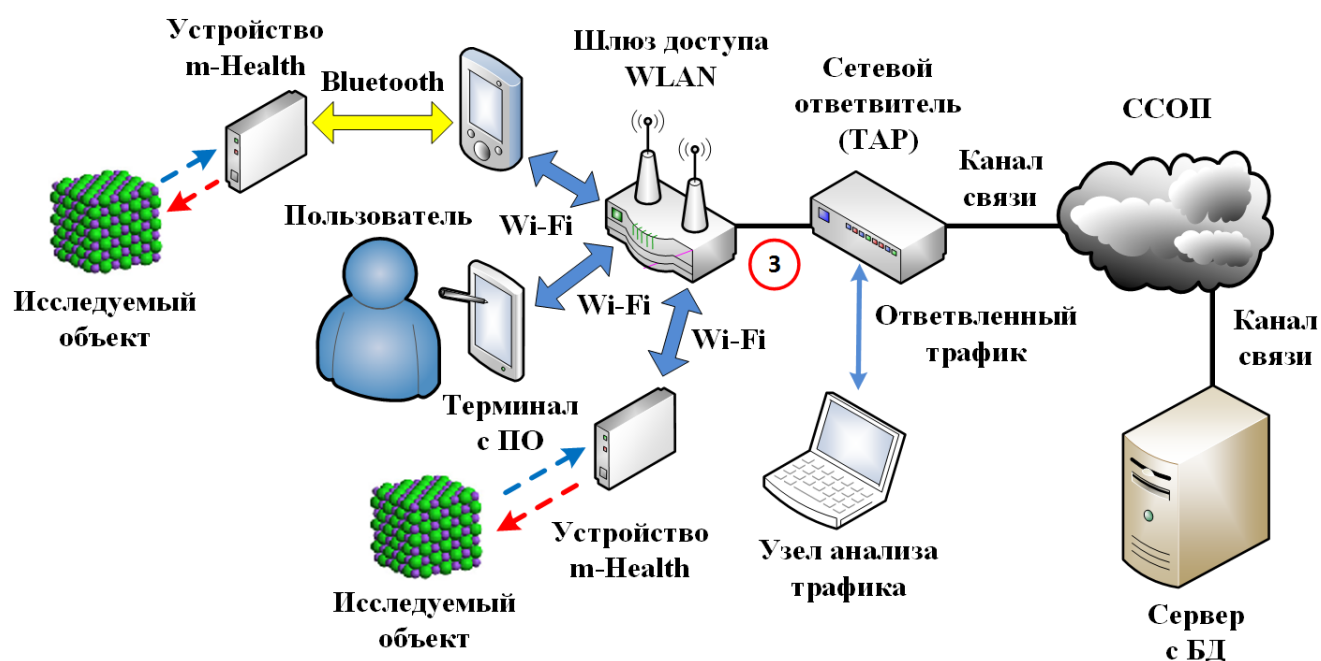


Рисунок 31 – Структура модельной сети (вариант №3)

### 2.1.3 Перехват сетевого трафика

Проведение серии экспериментов осуществлялось на основе программы и методики испытаний (ПМИ) устройств m-Health на базе модельной сети. Указанная ПМИ была разработана на основе соответствующих нормативных

документов [111, 112, 113], а также примеров подобных программ из открытых источников [114, 115]. ПМИ представлена в приложении А.

Для перехвата трафика на сетевом интерфейсе Bluetooth терминала пользователя используется специализированное мобильное приложение HCI Logger [116]. Данное приложение, при условии активации в настройках терминала пользователя функции записи всех переданных пакетов в журнал Bluetooth HCI, позволяет сохранять в отдельный файл копии всех переданных и принятых на интерфейсе Bluetooth сетевых пакетов. Таким образом, появляется возможность исследовать сетевой трафик между устройством m-Health и терминалом пользователя.

Для перехвата трафика на сетевом интерфейсе Wi-Fi терминала пользователя используется специализированное мобильное приложение Wicar [117]. Данное мобильное приложение позволяет перехватывать, фильтровать и сохранять для последующего анализа трафик сетей Wi-Fi, LTE/5G.

Для перехвата трафика на участке между шлюзом доступа WLAN и ССОП с применением TAP на узле анализа трафика используется программный анализатор сетевого трафика Wireshark [118].

При проведении экспериментов по перехвату сетевого трафика выполнялся следующий порядок действий:

1. Перед началом проведения серии экспериментов на терминале пользователя завершалась работа всех сторонних сетевых приложений с целью уменьшения общего объема передаваемого и принимаемого сетевого трафика.
2. Для перехвата сетевых пакетов на терминале пользователя на интерфейсе Wi-Fi в мобильном приложении Wicar активировалась функция перехвата всех отправляемых и поступающих сетевых пакетов. При необходимости перехвата пакетов на интерфейсе Bluetooth активировалась функция перехвата трафика в мобильном приложении HCI Logger. Для перехвата

при помощи TAP сетевого трафика, поступающего в ССОП со шлюза доступа, на узле анализа трафика использовалось ПО Wireshark.

3. Далее проводилась серия экспериментов с использованием исследуемого устройства m-Health, в рамках которой предоставление услуги молекулярного анализа многократно повторялось с использованием заранее выбранного апплета и соответствующего ему объекта для исследований с целью генерации достаточно большого объема сетевого трафика.
4. После проведения серии экспериментов с использованием исследуемого устройства m-Health перехват IP-пакетов прекращался. Накопленный сетевой трафик сохранялся в отдельный файл, который передавался на узел анализа трафика для дальнейшей обработки и изучения.
5. Для перехвата сетевого трафика между шлюзом доступа WLAN и ССОП описанный выше порядок сохранялся за исключением того, что перехват осуществлялся с помощью TAP. Ответвленный с помощью TAP сетевой трафик в этом случае передавался непосредственно на узел анализа трафика, где перехватывался и изучался с помощью ПО Wireshark.

С целью получения наиболее достоверных результатов эксперименты многократно повторялись для различных апплетов для каждого исследуемого устройства m-Health.

## **2.2 Оценка характеристик сетевого трафика**

### **2.2.1 Основные характеристики сетевого трафика**

Известно, что трафик пакетных сетей передачи данных очень неоднороден и носит пачечный характер. Это связано, с одной стороны, с большим количеством различных сервисов и услуг, предоставляемых в настоящее время пользователям ССОП, а с другой стороны, с особенностями потребления данных услуг и широкой дифференциацией самих пользователей. Интернет-провайдер или

оператор связи с целью обеспечения заданных значений показателей QoS, которые обычно достаточно четко определены в SLA, вынужден постоянно контролировать поступающий через сети абонентского доступа трафик и применять к нему различные методы управления очередями, профилирования, механизмы кондиционирования трафика [119].

Также для обеспечения надежности сетей связи в условиях, когда возможно резкое увеличение объемов поступающего от абонентов трафика, повсеместно применяется резервирование телекоммуникационного и серверного оборудования или каналов связи. Поэтому изучение краткосрочных и долгосрочных трендов, а также исследование новых видов сетевого трафика всегда остается актуальным при планировании, проектировании и модернизации существующих сетей связи [120].

Для описания сетевого трафика чаще всего используются следующие характеристики [121, 122]:

- интенсивности поступления и обработки заявок (пакетов), измеряемые в пакетах в секунду;
- интенсивности поступления и обработки данных (байтов), измеряемые в байтах в секунду;
- распределение величин интервалов времени между поступлением IP-пакетов в сеть (интенсивность поступления);
- распределение величин интервалов времени между обслуживанием IP-пакетов (интенсивность обслуживания);
- средний размер пакетов, измеряемый в байтах;
- распределение длин пакетов.

Часто, помимо описанных выше характеристик сетевого трафика, проводится определения значения показателя Хёрста (Hurst exponent,  $H$ ), с помощью которого определяется такие свойства сетевого трафика как самоподобие или антиперсистентность [123].

### 2.2.2 Алгоритм исследования характеристик трафика

На основе модельной сети, описание которой приведено в 2.1.2, и порядка перехвата сетевого трафика, описание которого приведено в 2.1.3, а также ПМИ, представленной в приложении А, была произведена серия экспериментов с целью генерации необходимого количества сетевых пакетов для дальнейшего изучения характеристик сетевого трафика. В ходе экспериментов имитировалось применение m-Health устройств в повседневной жизни обычным пользователем для анализа продуктов питания и лекарственных средств. При этом для каждого апплета происходило многократное повторение предоставления услуги m-Health с целью формирования выборки достаточно большого объема (не менее 5000 пакетов).

Рассмотренные характеристики перехваченного сетевого трафика исследовались как непосредственно с помощью анализатора сетевого трафика Wireshark, так и с помощью табличного процессора [124]. Использование табличного процессора позволяет проводить статистические исследования больших объемов экспериментальных данных, выполнять построение необходимых графиков и диаграмм.

Для анализа интенсивностей поступления пакетов от источника (терминала пользователя) и приемника (сервера) были использованы временные значения, представляющие собой интервалы времени между поступлениями пакетов на сетевой интерфейс. Получившаяся выборка разбивалась на  $n$  временных отрезков для построения вероятностно-временной характеристики исследуемого трафика. Для каждого из получившегося распределения с помощью критерия согласия Колмогорова-Смирнова подбиралось наиболее подходящее вероятностное распределение. Затем с помощью метода наименьших квадратов и алгоритма обобщенного приведенного градиента была проведена аппроксимация исходных данных.

### 2.2.3 Локальная и удаленная обработка данных

Согласно информации, опубликованной на web-сайте разработчиков [72], устройство SCiO производит обработку данных на удаленном облачном сервере без кэширования функций обработки при повторном использовании апплета. Для подтверждения этой информации необходимо подробнее изучить процесс передачи данных этим устройством m-Health.

График интенсивности отправки и получения IP-пакетов при однократном анализе с помощью инфракрасного микроспектрометра SCiO показан на рис. 32.

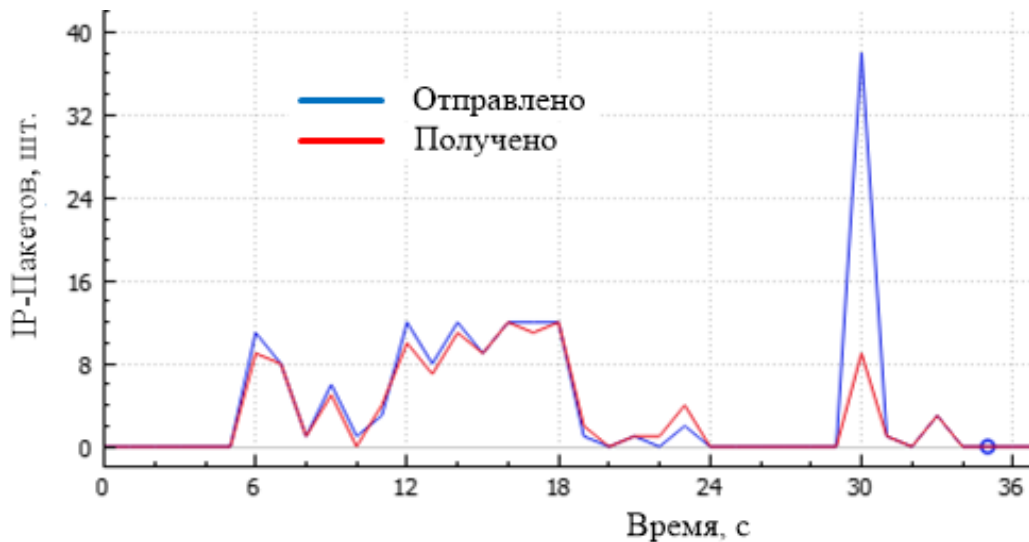


Рисунок 32 – Интенсивность отправки и получения IP-пакетов

На промежутке времени от 5 до 25 секунд происходит установка соединения между мобильным приложением на терминале пользователя и удаленным сервером. При этом передается в среднем около 220 IP-пакетов суммарным объемом около 80 Кбайт.

На промежутке времени от 28 до 36 секунд происходит передача данных от мобильного приложения на терминале пользователя к удаленному серверу для последующей обработки и получение результатов анализа для отображения в мобильном приложении в удобном для пользователя виде. Во время этого передается около 60 пакетов объемом около 26 Кбайт.

Для того чтобы подтвердить или опровергнуть информацию о том, что все полученные в результате анализа этим спектрометром данные обрабатываются на удаленном сервере без кэширования или частичного / полного переноса функции по их обработке на терминал пользователя при повторном использовании устройства m-Health, построим график зависимости объема передаваемых и принимаемых данных от числа последовательно проведенных измерений. Обозначенный график показан на рис. 33.

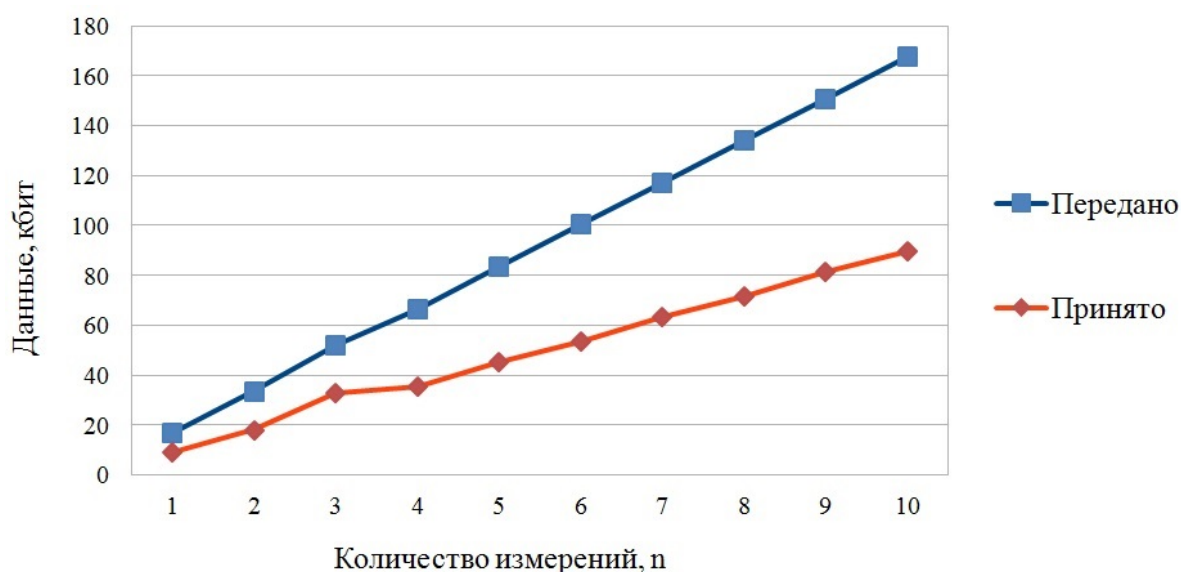


Рисунок 33 – Зависимость передаваемых и принимаемых данных от количества последовательно проведенных измерений

Из представленного графика видно, что зависимости практически линейны, что подтверждает информацию об обработке данных на удаленном сервере без кэширования или частичного / полного переноса функций на смартфон пользователя при повторном исследовании. Подробный анализ IP-пакетов, которые приходятся на момент отклонения от линии тренда позволяет утверждать, что передача дополнительных IP-пакетов связана с возникновением потерь данных при передаче в канале связи.

Второй спектрометр Link Square, согласно информации из открытых источников [77], способен проводить локальную обработку получаемых в ходе анализа данных, что подтверждается проведенными экспериментами по перехвату



и анализу генерируемого сетевого трафика. Подключение к ССОП при работе с данным спектрометром позволяет производить обновление мобильного приложения, устанавливать необходимые апплеты, хранить статистику проведенных исследований, оставлять отзывы, получать доступ к технической поддержке. В связи с этим наличие доступа к ресурсам ССОП остается востребованным для пользователя устройств m-Health даже в случае локальной обработки данных.

#### **2.2.4 Выбор апплетов для изучения**

Как было сказано выше, для проведения экспериментов были выбраны микроспектрометры SCiO и Link Square. Апплеты микроспектрометра SCiO, использовавшиеся при приведении экспериментов (Produce Selector, Fruit and Vegetables, Body Fat, Pain Relievers), описаны в качестве примера в первой главе.

Для микроспектрометра Link Square при приведении экспериментов на базе модельной сети были выбраны следующие апплеты:

- Cocoa in Chocolate – апплет предназначен для определения процентного содержания какао в шоколаде и продуктах на его основе;
- Apple – апплет предназначен для определения содержания витаминов и минералов по шкале Брикса (Brix) для яблок;
- Tablet Classification – апплет предназначен для определения лекарственного средства в виде таблетки (из нескольких заранее определенных вариантов);
- Palette – апплет предназначен для определения цвета исследуемого объекта согласно выбранной палитры.

#### **2.2.5 Исследование характеристик сетевого трафика**

Характеристики сетевого трафика, перехваченного в результате проведения экспериментов на базе описанной модельной сети, представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 5. Характеристики сетевого трафика, передаваемого на сервер

Название устройства	Название апплета	Размер выборки (пакетов), шт.	Количество пакетов за сеанс, шт.	Средняя длина пакета, байт	Интенсивность передачи пакетов, пакетов/с	Интенсивность передачи трафика, кбит/с
SCiO	Produce Selector	5342	$152,35 \pm 0,37$	$345,07 \pm 18,14$	$2,96 \pm 1,03$	$7,99 \pm 3,53$
	Fruit and Vegetables	5346	$150,41 \pm 0,28$	$344,98 \pm 18,17$	$3,90 \pm 1,31$	$10,52 \pm 4,56$
	Body Fat	5332	$154,10 \pm 0,66$	$345,89 \pm 18,14$	$3,15 \pm 1,08$	$8,51 \pm 3,78$
	Pain Relievers	5344	$152,10 \pm 0,44$	$343,42 \pm 18,12$	$3,76 \pm 1,23$	$10,09 \pm 4,42$
Link Square	Cocoa in Chocolate	5345	$34,33 \pm 0,58$	$1246,32 \pm 7,42$	$1,20 \pm 0,19$	$12,03 \pm 1,12$
	Apple	5300	$34,29 \pm 0,54$	$1260,44 \pm 8,02$	$1,34 \pm 0,18$	$11,88 \pm 1,16$
	Tablet Classification	5329	$34,34 \pm 0,53$	$1257,40 \pm 8,41$	$1,22 \pm 0,22$	$11,87 \pm 1,22$
	Palette	5311	$34,32 \pm 0,51$	$1248,71 \pm 7,65$	$1,231 \pm 0,20$	$10,97 \pm 1,14$

Таблица 6. Характеристики трафика, полученного от сервера

Название устройства	Название апплета	Размер выборки (пакетов), шт.	Количество пакетов за сеанс, шт.	Средняя длина пакета, байт	Интенсивность передачи пакетов, пакетов/с	Интенсивность передачи трафика, кбит/с
SCiO	Produce Selector	5304	$122,42 \pm 0,58$	$589,85 \pm 65,66$	$1,52 \pm 0,42$	$7,01 \pm 2,11$
	Fruit and Vegetables	5300	$118,40 \pm 0,64$	$605,59 \pm 66,97$	$1,93 \pm 0,52$	$9,14 \pm 2,96$
	Body Fat	5296	$120,42 \pm 0,62$	$610,27 \pm 67,28$	$1,56 \pm 0,43$	$7,46 \pm 2,31$
	Pain Relievers	5314	$120,39 \pm 0,62$	$602,22 \pm 66,77$	$1,91 \pm 0,44$	$8,98 \pm 2,51$
Link Square	Cocoa in Chocolate	5316	$29,06 \pm 1,05$	$59,50 \pm 0,44$	$1,22 \pm 0,01$	$0,54 \pm 0,14$
	Apple	5342	$29,06 \pm 1,06$	$58,60 \pm 0,41$	$1,23 \pm 0,02$	$0,56 \pm 0,21$
	Tablet Classification	5328	$29,05 \pm 1,08$	$59,62 \pm 0,58$	$1,23 \pm 0,04$	$0,55 \pm 0,22$
	Palette	5333	$29,07 \pm 1,06$	$59,60 \pm 0,22$	$1,22 \pm 0,06$	$0,56 \pm 0,08$

Далее было проведено исследование распределения величин интервалов времени между поступлением IP-пакетов в сеть (интенсивность поступления), величин интервалов времени между обслуживанием IP-пакетов (интенсивность обслуживания). Для этого проводилась обработка экспериментальных данных с помощью табличного процессора, в результате которой вычислялись значения соответствующих интервалов времени. Обработка включала в себя исключение выбросов/аномалий и длительных интервалов времени между отдельными экспериментами. Все вычисления проводились с доверительной вероятностью 0,9.

Далее по вычисленным значениям для интенсивности поступления и интенсивности обслуживания строились гистограммы распределения вероятностей того, что интервал времени примет то или иное значение (попадет в определенный интервал на гистограмме). Полученные на основе экспериментальных данных гистограммы аппроксимировались наиболее подходящим теоретическим законом распределения [125].

Для сравнения использовались следующие вероятностные распределения:

- экспоненциальное,
- гиперэкспоненциальное,
- классическое (двухпараметрическое) Гамма-распределение,
- смещенное (трехпараметрическое) Гамма-распределение,
- классическое (двухпараметрическое) распределение Вейбулла-Гнеденко,
- смещенное (трехпараметрическое) распределение Вейбулла-Гнеденко.

Поиск оптимальных значений для построения вероятностных распределений был произведен с помощью метода обобщенного приведенного градиента на основе коэффициента, полученного на основе метода наименьших квадратов:

$$K_{\text{мнк}}(t) = \sum_{i=1}^n (P(t_i) - P(t_i, t_{i+1}))^2 \quad (1)$$

где  $n$  – количество интервалов гистограммы,  $P(t)$  — это вероятность попадания случайного значения интервала времени между поступлениями IP-пакетов в

промежуток от  $t_i$  до  $t_{i+1}$ . Вероятность попадания случайного значения интервала времени между поступлениями IP-пакетов может быть выражена как:

$$P(t_i, t_{i+1}) = |F(t_{i+1}) - F(t_i)| \quad (2)$$

где  $F(t)$  – выбранный теоретический закон распределения.

Распределения величин интервалов времени для трафика, генерируемого микроспектрометром SCiO, представлены на рис. 34, 35.

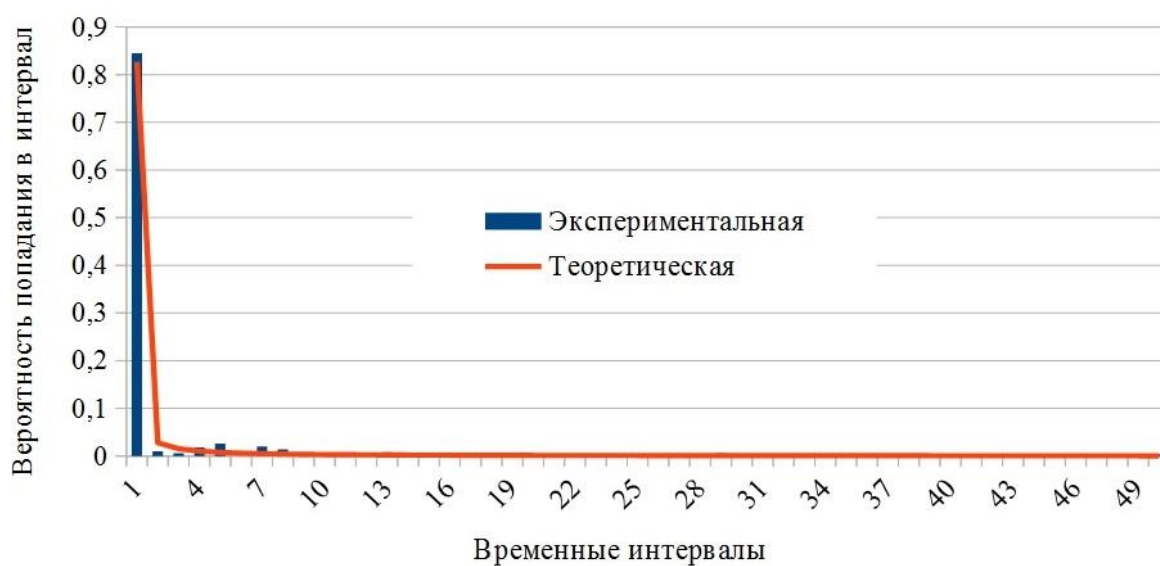


Рисунок 34 – Распределение величин интервалов времени между поступлением IP-пакетов, интервал гистограммы равен 0,32 с (микроспектрометр SCiO)



Рисунок 35 – Распределение величин интервалов времени между обслуживанием IP-пакетов, интервал гистограммы равен 0,34 с (микроспектрометр SClO)

Распределения величин интервалов времени для трафика, генерируемого микроспектрометром Link Square, представлены на рис. 36, 37.

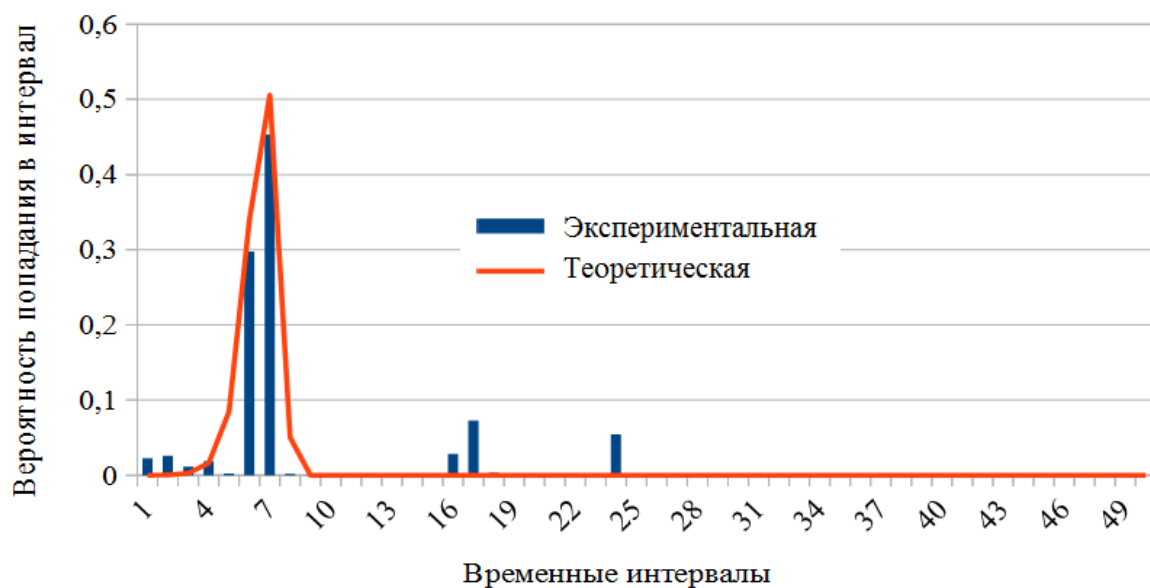


Рисунок 36 – Распределение величин интервалов времени между поступлением IP-пакетов, интервал гистограммы равен 0,1 с (микроспектрометр Link Square)



Рисунок 37 – Распределение величин интервалов времени между обслуживанием IP-пакетов, интервал гистограммы равен 0,05 с (микроспектрометр Link Square)

Сводная информация по вероятностным распределениям обоих микроспектрометров для исследованных апплетов указана в табл. 7.

Таблица 7. Вероятностные распределения, описывающие интенсивность поступления и интенсивность обслуживания IP-пакетов

Название устройства	Название апплета	Интенсивность поступления		Интенсивность обслуживания	
		Выбранное вероятностное распределение	Коэффициенты распределения	Выбранное вероятностное распределение	Коэффициенты распределения
SCiO	Produce Selector	Трехпараметрическое Вейбулла-Гнеденко	$a = 2,4 \cdot 10^{-3};$ $c = 2,1 \cdot 10^{-1};$ $x_0 = 1,3 \cdot 10^{-5}$	Двухпараметрическое Гамма	$\lambda = 1,8 \cdot 10^{-1};$ $a = 8,7 \cdot 10^{-1}$
	Fruit and Vegetables	Трехпараметрическое Вейбулла-Гнеденко	$a = 1,1 \cdot 10^{-3};$ $c = 1,5 \cdot 10^{-1};$ $x_0 = 1,2 \cdot 10^{-5}$	Двухпараметрическое Гамма	$\lambda = 1,8 \cdot 10^{-1};$ $a = 7,8 \cdot 10^{-1}$
	Body Fat	Трехпараметрическое Вейбулла-Гнеденко	$a = 1,4 \cdot 10^{-3};$ $c = 1,7 \cdot 10^{-1};$ $x_0 = 1,2 \cdot 10^{-5}$	Двухпараметрическое Гамма	$\lambda = 1,7 \cdot 10^{-1};$ $a = 1,1$
	Pain Relievers	Трехпараметрическое Вейбулла-Гнеденко	$a = 6,1 \cdot 10^{-4};$ $c = 1,4 \cdot 10^{-1};$ $x_0 = 1,6 \cdot 10^{-5}$	Двухпараметрическое Гамма	$\lambda = 1,3 \cdot 10^{-1};$ $a = 1,3$
Link Square	Cocoa in Chocolate	Смешанное	$a = 3,7;$ $c = 5,9 \cdot 10^1;$ $x_0 = -3,0;$ $\eta_1 = 0,78;$ $\eta_2 = 0,07$ для $t_{17};$ $\eta_3 = 0,05$ для $t_{24};$ $\eta_4 = 0,03$ для $t_{16}$	Дискретное	$\eta_1 = 0,75$ для $t_{13};$ $\eta_2 = 0,05$ для $t_{31};$ $\eta_3 = 0,05$ для $t_{34};$ $\eta_4 = 0,04$ для $t_4;$ $\eta_5 = 0,03$ для $t_{50}$
	Apple	Смешанное	$a = 3,6;$ $c = 5,9 \cdot 10^1;$ $x_0 = -2,9;$ $\eta_1 = 0,76;$ $\eta_2 = 0,07$ для $t_{17};$ $\eta_3 = 0,05$ для $t_{25};$ $\eta_4 = 0,04$ для $t_{16}$	Дискретное	$\eta_1 = 0,76$ для $t_{13};$ $\eta_2 = 0,05$ для $t_{31};$ $\eta_3 = 0,04$ для $t_{34};$ $\eta_4 = 0,04$ для $t_4;$ $\eta_5 = 0,03$ для $t_{50}$
	Tablet Classification	Смешанное	$a = 3,7;$ $c = 5,9 \cdot 10^1;$ $x_0 = -3,2;$ $\eta_1 = 0,76;$ $\eta_2 = 0,06$ для $t_{17};$ $\eta_3 = 0,04$ для $t_{24};$ $\eta_4 = 0,04$ для $t_{23}$	Дискретное	$\eta_1 = 0,75$ для $t_{13};$ $\eta_2 = 0,05$ для $t_{31};$ $\eta_3 = 0,05$ для $t_{34};$ $\eta_4 = 0,04$ для $t_4;$ $\eta_5 = 0,04$ для $t_{50}$
	Palette	Смешанное	$a = 3,7;$ $c = 6,0 \cdot 10^1;$ $x_0 = -2,9;$ $\eta_1 = 0,78;$ $\eta_2 = 0,07$ для $t_{17};$ $\eta_3 = 0,07$ для $t_{22}$ $\eta_4 = 0,04$ для $t_{23}$	Дискретное	$\eta_1 = 0,75$ для $t_{13};$ $\eta_2 = 0,05$ для $t_{31};$ $\eta_3 = 0,06$ для $t_{34};$ $\eta_4 = 0,04$ для $t_5;$ $\eta_5 = 0,03$ для $t_{50}$

Из представленных результатов следует, что экспериментально полученные распределения величин интервалов времени между поступлением IP-пакетов во время предоставления услуги молекулярного анализа с использованием инфракрасного микроспектрометра SCiO (интенсивность поступления) наиболее точно аппроксимируется трехпараметрическим (смещенным) распределением Вейбулла-Гнеденко, функция плотности вероятности которого может быть представлена как:

$$f(x) = \frac{c}{\alpha} \left( \frac{x - x_0}{\alpha} \right)^{c-1} \exp \left( - \left( \frac{x - x_0}{\alpha} \right)^c \right) \quad (3)$$

где  $\alpha$  – параметр масштаба ( $\alpha > 0$ ),  $c$  – параметр формы ( $c > 0$ ),  $x_0$  – параметр сдвига (смещение).

Экспериментальное распределение величин интервалов времени между обслуживанием IP-пакетов (интенсивность обслуживания) для микроспектрометра SCiO наиболее точно аппроксимируется двухпараметрическим Гамма-распределением, функция плотности вероятности которого может быть представлена как:

$$f(x) = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\lambda x} \quad (4)$$

где  $\lambda$  – параметр масштаба ( $\lambda > 0$ ),  $\alpha$  – параметр формы ( $\alpha > 0$ ).

Экспериментально полученные распределения величин интервалов времени между поступлением IP-пакетов (интенсивность поступления) во время предоставления услуги молекулярного анализа с использованием инфракрасного микроспектрометра Link Square могут быть описаны смешанным распределением:

$$f(x) = \eta_1 W(x) + \sum_{i=2}^n \delta(x - t_i) \eta_i \quad (5)$$

где  $W(x)$  – трехпараметрическое (смещенное) распределение Вейбулла-Гнеденко,  $\eta_i$  – весовой коэффициент,  $\delta(x)$  – дельта функция Дирака ( $\delta$  – функция).



Экспериментальные распределения величин интервалов времени между обслуживанием IP-пакетов (интенсивность обслуживания) для микроспектрометра Link Square аппроксимируются дискретным распределением, функция плотности вероятности которого может быть представлена как:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \delta(x - t_i) \eta_i \quad (6)$$

Проверка сходимости экспериментальных распределений и аппроксимирующих их теоретических распределений проводилась по критерию согласия Колмогорова-Смирнова с поправкой Большева [126].

Средняя длина пакета (в байтах), значения которой для разных апплетов обоих устройств m-Health представлены в табл. 5 и 6, не совсем точно характеризует генерируемый сетевой трафик. Поэтому для более точного описания на рис. 38, 39, 40, 41 представлены распределения длин пакетов для микроспектрометров SCiO и Link Square.



Рисунок 38 – Распределение длин пакетов при отправке данных для обработки (микроспектрометр SCiO)

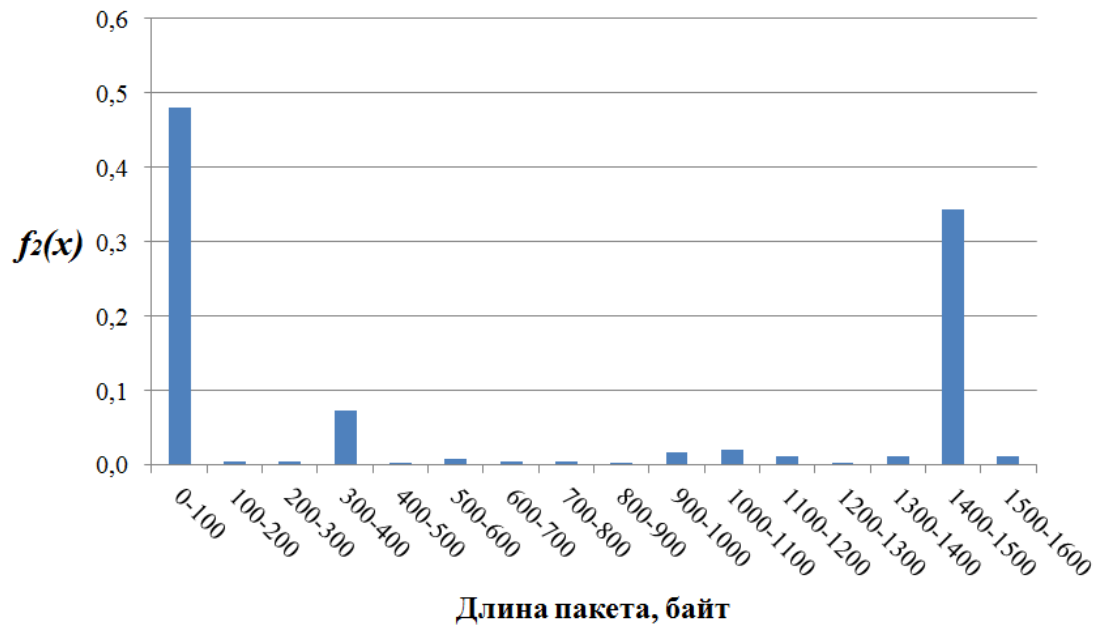


Рисунок 39 – Распределение длин пакетов при получении результатов (микроспектрометр SClO)



Рисунок 40 – Распределение длин пакетов при отправке данных (микроспектрометр Link Square)

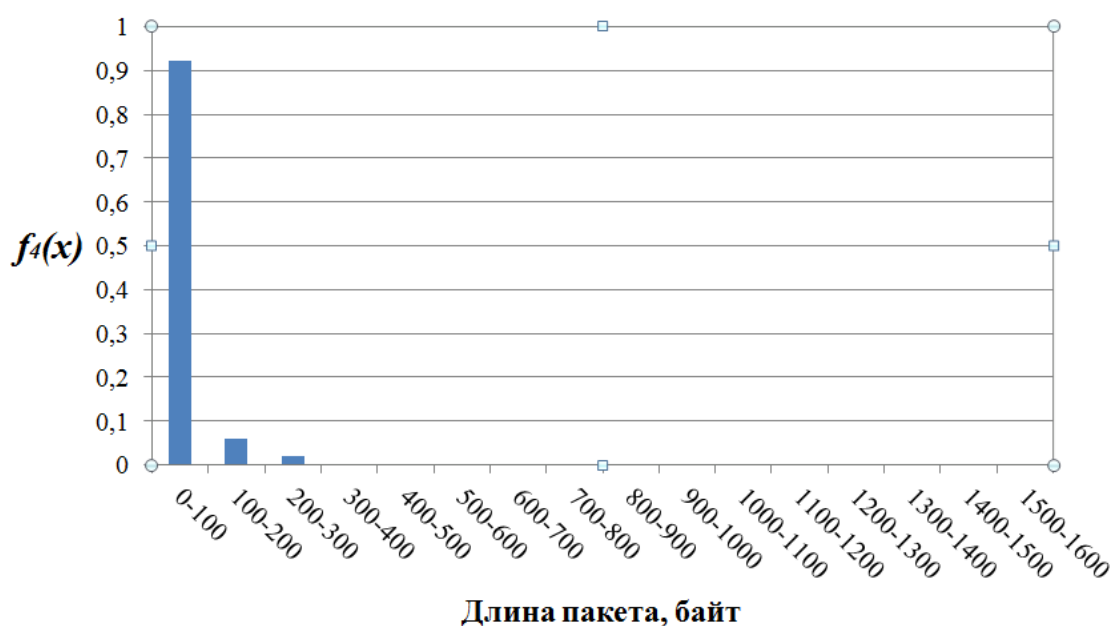


Рисунок 41 – Распределение длин пакетов при получении результатов  
(микроспектрометр Link Square)

Длина пакета ограничена размером в 1500 байт, что является максимальным размером MTU технологии Ethernet [119]. Представленные распределения длин пакетов являются дискретными, поэтому не аппроксимировались каким либо законом распределения.

### 2.2.6 Коэффициент Хёрста и его оценка

Коэффициент (показатель) Хёрста (H) [127] часто используется при анализе временных рядов [128, 129] с целью определения таких свойств как самоподобие или антиперсистентность. В работе коэффициент Хёрста рассчитывается на основе интервалов времени между отправкой IP-пакетов [130].

Коэффициент Хёрста (H) может принимать следующие значения:

- $0 < H < 0,5$  – временной ряд является антиперсистентным (не самоподобным). Чем ближе к нулю значение H, тем более изменчивым является временной ряд.
- $H = 0,5$  – временной ряд является абсолютно случайным. Следующее значение в ряду не зависит от предыдущего значения.

- $0,5 < H < 1$  – временной ряд является персистентным (самоподобным). Чем ближе к единице значение  $H$ , тем менее изменчивым является ряд (значения следуют тренду).

Для сетевого трафика, который был перехвачен в ходе экспериментов, коэффициент Хёрста рассчитывался несколькими различными методами с целью получения наиболее достоверных результатов. Для расчета использовались следующие методы: метод нормированного размаха ( $R/S$ ) [131, 132], метод периодограмм [131, 133], также называемым методом Даниэля (Daniell), локальный метод Витлла [134, 135], а также метод изменения дисперсии [136].

Оценка коэффициента Хёрста для перехваченного сетевого трафика указанными методами проводилась как с использованием табличного процессора, так и с помощью специализированного ПО [137].

Результаты оценки коэффициента Хёрста описанными методами, а также усредненные значения представлены в табл. 8.

Таблица 8. Оценка коэффициента Хёрста

Название устройства	Название апплета	Метод нормированного размаха ( $R/S$ )	Метод периодограмм	Метод Витлла	Метод изменения дисперсии	Итого	
						Среднее значение	СКО
SCiO	Produce Selector	0,49	0,58	0,68	0,51	0,57	0,09
	Fruit and Vegetables	0,5	0,67	0,78	0,66	0,65	0,12
	Body Fat	0,45	0,52	0,59	0,50	0,52	0,06
	Pain Relievers	0,51	0,72	0,79	0,47	0,62	0,16
Link Square	Cocoa in Chocolate	0,46	0,73	0,61	0,49	0,57	0,12
	Apple	0,52	0,69	0,59	0,55	0,59	0,07
	Tablet Classification	0,51	0,63	0,62	0,53	0,57	0,06
	Palette	0,49	0,67	0,64	0,56	0,59	0,08

Результаты, представленные в табл. 8, получены с доверительной вероятностью 0,9.

В результате оценки коэффициента Хёрста (H) установлено, что сетевой трафик всех апплетов обоих микроспектрометров в основном имеет самоподобный характер.

### 2.3 Описание используемых сетевых протоколов

Для более точного описания предоставления рассматриваемой услуги молекулярного анализа необходимо подробнее рассмотреть используемые устройствами m-Health при передаче данных сетевые протоколы.

Очевидно, что используемые протоколы канального и сетевого уровня зависят от установленной администратором WLAN / LAN конфигурации сетевых устройств, типов используемой среды передачи данных, технических особенностей предоставления услуги Интернет-провайдером и т.д.

Большой интерес вызывают используемые протоколы транспортного уровня и выше, поскольку они определяют порядок обмена данными, шифрование и т.д. Информация о протоколах, используемых рассматриваемыми устройствами m-Health, представлена в таб. 9.

Таблица 9 Используемые сетевые протоколы

№	Уровень по модели TCP/IP	Устройство m-Health	
		SCiO	Link Square
1	Канальный (Link Layer)	IEEE 802.11 (Wi-Fi)	IEEE 802.11 (Wi-Fi)
2	Сетевой (Network Layer)	IPv4 (IPv6)	IPv4 (IPv6)
3	Транспортный (Transport Layer)	TCP, TLSv1.2	TCP
4	Прикладной (Application Layer)	-	-

В случае с устройством Link Square передача данных между терминалом пользователя и микроспектрометром, а также между терминалом пользователя и

локальным сервером ведется по протоколу TCP без шифрования, видимо, по причине локальной обработки данных.

## **2.4 Описание сценариев обмена сообщениями**

### **2.4.1 Сценарий с локальной обработкой данных**

Для более подробного описания типов сообщений и последовательности их обмена между различными устройствами, участвующими в процессе предоставления услуги молекулярного анализа, на основе перехваченного и проанализированного сетевого трафика, а также на основе информации из открытых источников для различных вариантов взаимодействия были составлены сценарии (диаграммы) обмена сообщениями. Такие сценарии широко используются при описании работы телекоммуникационных протоколов, систем и сетей связи [138, 139].

Первый сценарий описывает предоставление услуги молекулярного анализа с локальной обработкой данных. Такой сценарий соответствует рассмотренным устройствам Nima, Food Sniffer, Link Square. Преимущества и недостатки такого подхода были описаны в первой главе диссертационной работы.

Сценарий обмена сообщениями в случае локальной обработки данных показан на рис. 42.

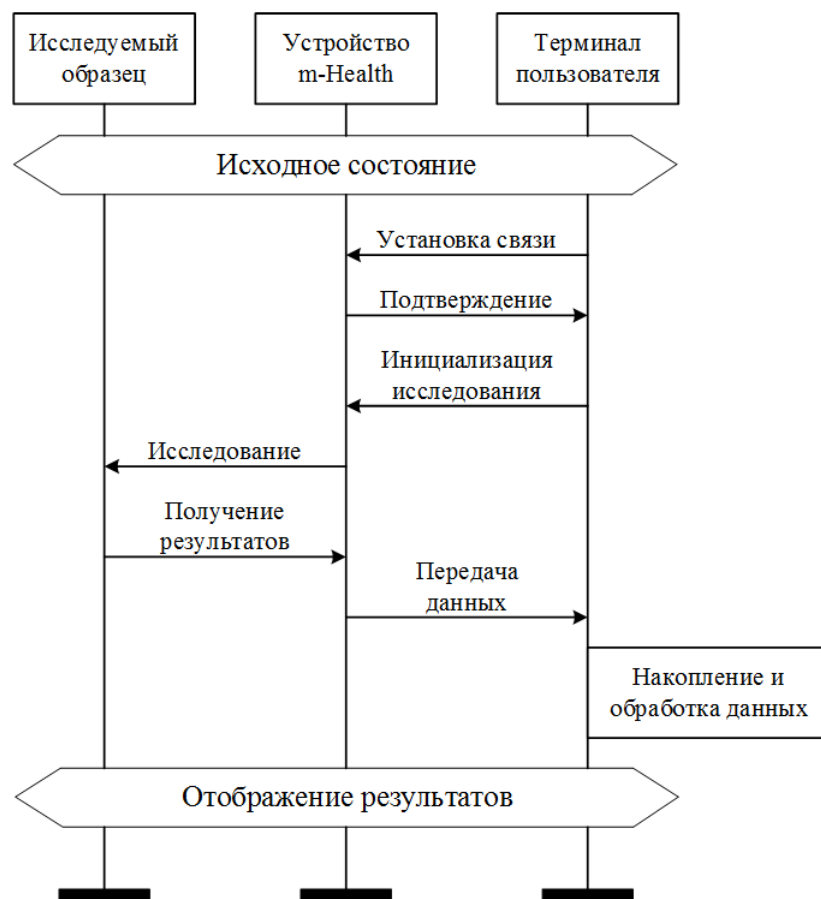


Рисунок 42 – Сценарий обмена сообщениями (локальная обработка данных)

#### 2.4.2 Сценарий с удаленной обработкой данных

Второй сценарий описывает сценарий с удаленной обработкой данных, получаемых в результате анализа. Такой сценарий соответствует устройству SCiO. Преимущества и недостатки этого сценария также были описаны в первой главе диссертационной работы. Сценарий обмена сообщениями показан на рис. 43.

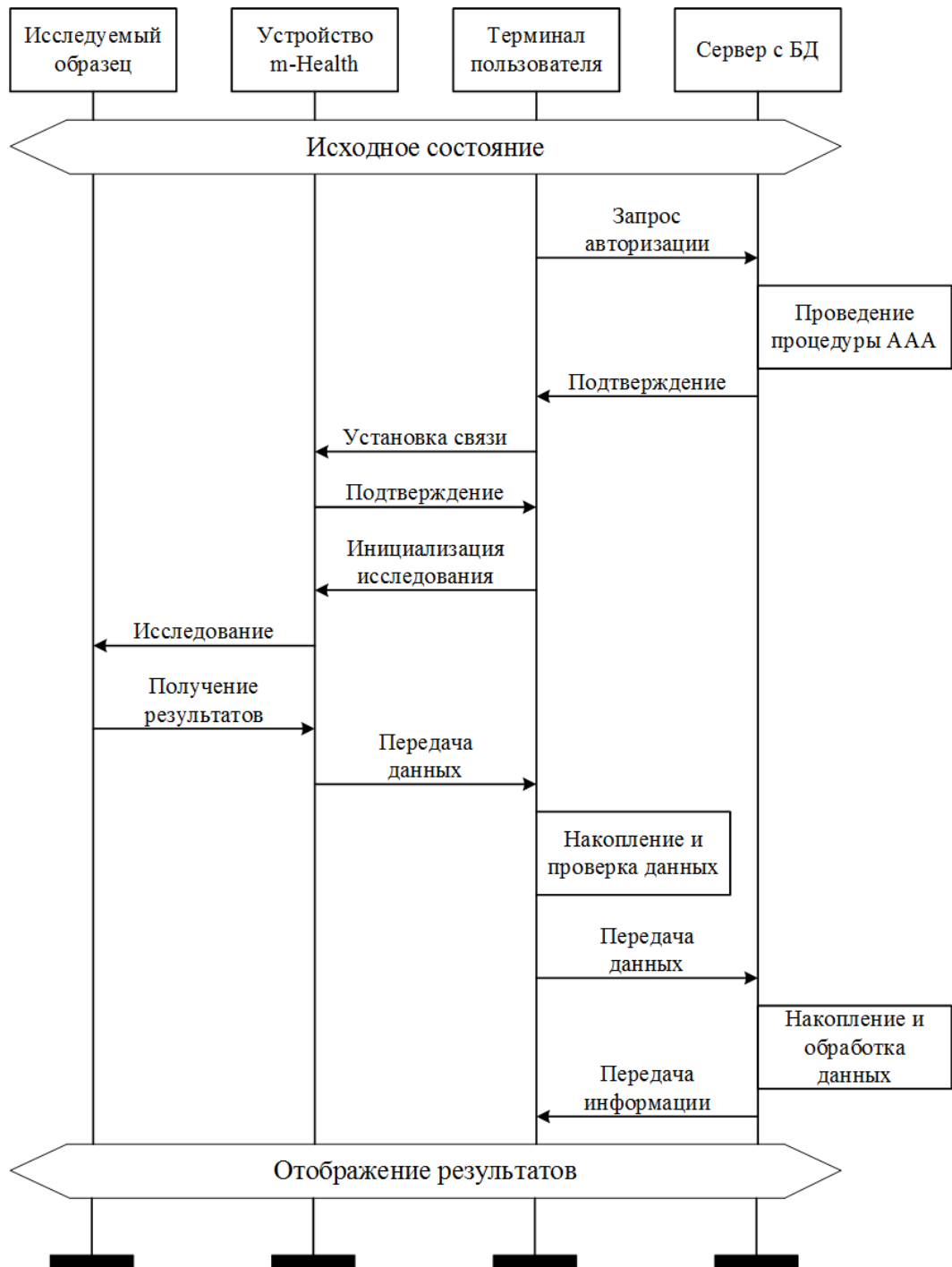


Рисунок 43 – Сценарий обмена сообщениями (удаленная обработка данных)



### Выводы по главе

1. В главе представлена структура разработанной модельной сети (в нескольких вариантах), которая предназначена для перехвата сетевого IP-трафика, генерируемого при предоставлении услуги молекулярного анализа. Описаны основные компоненты разработанной модельной сети и их назначение, а также последовательность действий при проведении перехвата сетевого трафика.
2. Проведен анализ перехваченного сетевого трафика, генерируемого при предоставлении услуги молекулярного анализа ИК микроспектрометром, подключенным к ССОП. Определены основные характеристики перехваченного трафика. Представлены вероятностные распределения, наиболее точно описывающие интенсивность поступления и интенсивность обслуживания пакетов данных.
3. Несколькими методами рассчитан коэффициент Хёрста (H). Установлено, что генерируемый в процессе предоставления услуги молекулярного анализа сетевой трафик в основном имеет самоподобный характер.
4. Описаны сценарии обмена сообщениями при локальной и удаленной обработке данных, поступающих от устройства m-Health при предоставлении услуги молекулярного анализа.

## ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ УСЛУГ МОЛЕКУЛЯРНОГО АНАЛИЗА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМ СЕТИ СВЯЗИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

### 3.1 Особенности реализации услуги

Характеристики и свойства перехваченного сетевого трафика, порядок обмена сообщениями для различных сценариев взаимодействия и другие особенности предоставления услуги были подробно описаны в предыдущих главах диссертации. Далее более подробно рассмотрим процесс предоставления услуги, который включает в себя несколько последовательных этапов:

- получение спектрометром команды управления, инициирующей начало проведения анализа, и проведение самого анализа исследуемого объекта;
- накопление терминалом пользователя пакетов данных, поступающих от спектрометра, а также их обработка;
- передача данных с терминала пользователя на удаленный облачный сервер, обработка сервером полученных данных, передача результатов по сети связи на терминал для отображения (при необходимости).

Типовая последовательность действий и примерная продолжительность каждого действия в процессе предоставления услуги показаны на рис. 44.

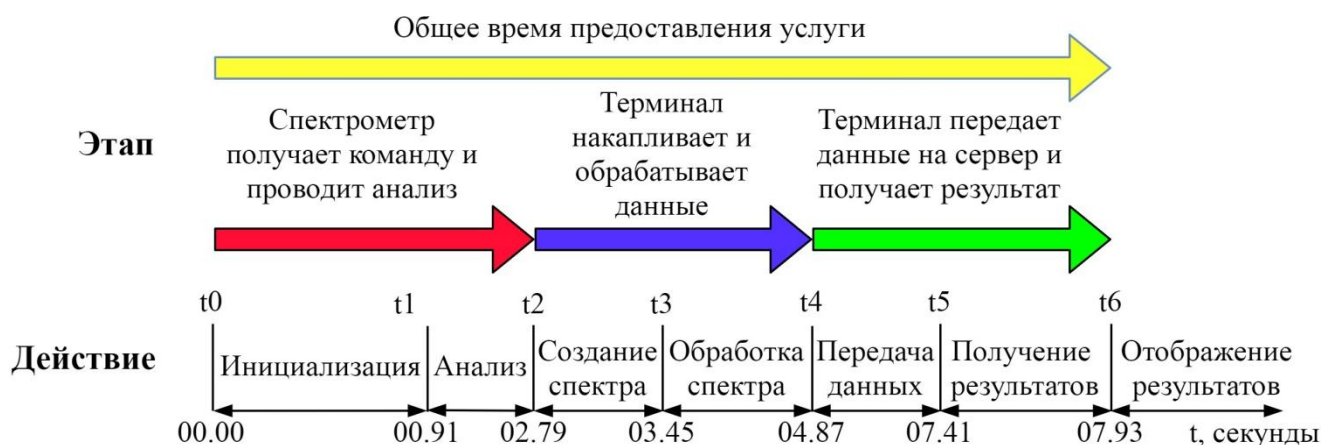


Рисунок 44 – Типовая последовательность действий

Время, связанное с проведением анализа спектрометром исследуемого образца (обозначено на рис. 44 красной стрелкой), определяется скоростью срабатывания устройства после получения команды управления, временем работы датчика спектрометра, а также временем, необходимым для формирования и отправки последовательности пакетов данных на терминал пользователя.

Время обработки и накопления данных на терминале (обозначено на рис. 44 синей стрелкой) определяется пропускной способностью канала связи, обеспечивающего передачу данных между спектрометром и терминалом пользователя, алгоритмами накопления и обработки данных, а также объемом данных получаемых от микроспектрометра терминалом.

Время передачи данных для обработки на сервер и получения результатов анализа от сервера на терминал пользователя или какое-либо другое устройство для отображения (обозначено на рис. 44 зеленой стрелкой). Это время зависит от значения сетевой задержки между терминалом пользователя и сервером, а также от текущей загруженности и общей производительности сервера, который будет использоваться для обработки данных.

Сокращение сетевой задержки между терминалом пользователя и удаленным сервером будет рассматриваться далее как основной метод улучшения качества обслуживания при предоставлении данной услуги m-Health на базе ССОП.

### **3.2 Разработка модели СМО**

Для последующего проведения имитационного моделирования (ИМ) необходимо описать рассматриваемую систему m-Health (спектрометр и терминал пользователя) как систему массового обслуживания (СМО). Исходя из представленного в предыдущих главах описания системы m-Health, рассматриваемая СМО представляет собой систему с одним обслуживающим

прибором, бесконечной очередью и однородным потоком заявок<sup>8</sup>. Структура модели СМО показан на рис. 45.

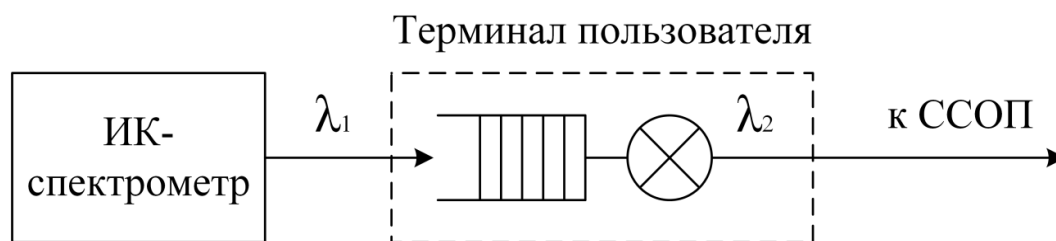


Рисунок 45 – Модель СМО

Интенсивность поступления заявок на обслуживание, каждая из которых представляет собой объем данных, которые собраны в рамках однократного анализа, обозначим как  $\lambda_1$ . При поступлении этих данных на терминал пользователя происходит их предварительная обработка с последующим формированием последовательности IP-пакетов для передачи в ССОП. Интенсивность поступления IP-пакетов от терминала пользователя в ССОП обозначим как  $\lambda_2$ .

### 3.3 Модель «On-Off» источника

Для описания процесса генерации IP-пакетов терминалом пользователя можно использовать «On-Off» модель источника сетевого трафика [122, 140]. В моменты «On», когда от спектрометра поступает заявка на обслуживание, на терминале пользователя генерируется последовательность пакетов, которая передается посредством ССОП на удаленный сервер для обработки. В остальные моменты времени «Off» заявки от спектрометра не поступают, пакеты данных на терминале пользователя не генерируются.

<sup>8</sup> Следует понимать, что данная модель СМО не учитывает присущий для подобных систем фоновый сетевой трафик, генерируемый при авторизации пользователя в мобильном приложении, загрузке и установке обновлений, обращении пользователя в тех. поддержку и т.д.

Интервал времени между поступлением в систему заявок (последовательностей пакетов) обозначим как  $T_1$ . Интервал времени между поступлением отдельных пакетов в рамках одной последовательности обозначим как  $T_2$ . Тогда:

$$T_1 = \frac{1}{\lambda_1} \quad (7)$$

$$T_2 = \frac{1}{\lambda_2} \quad (8)$$

Общее количество пакетов, которое генерируется в рамках одной последовательности можно обозначить как  $N$ . Среднюю длину пакета данных в последовательности можно обозначить как  $L$ . Среднюю скорость передачи данных в периоды «On» можно обозначить как  $R$ . Общий вид «On-Off» модели источника представлен на рис. 46.

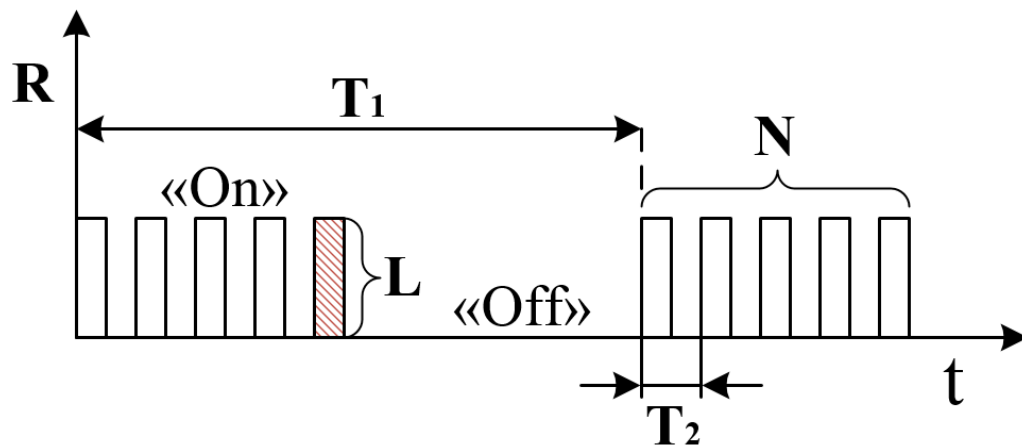


Рисунок 46 – «On-Off» модель источника сетевого трафика

Соотношение между описанными выше величинами может быть описано как:

$$\lambda_2 = \frac{R}{L} \quad (9)$$

### 3.4 Разработка модели источника агрегированного трафика

Поскольку при предоставлении услуги разными устройствами m-Health генерируются потоки трафика с разными характеристиками, необходимо на основе перехваченного и изученного ранее сетевого трафика разработать некоторую обобщенную модель источника агрегированного потока сетевого трафика [141]. Разработанная модель источника агрегированного потока трафика показана на рис. 47.

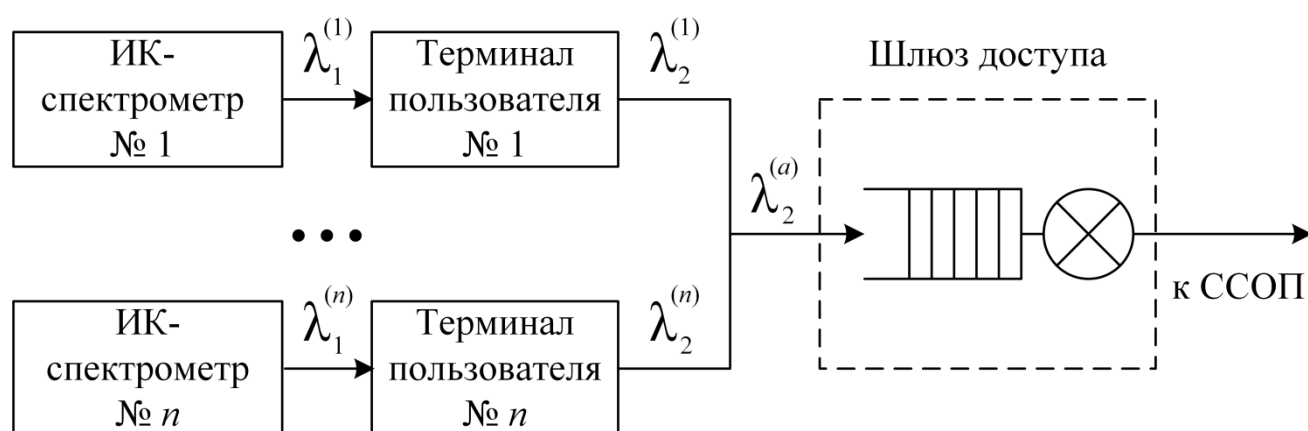


Рисунок 47 – Модель источника агрегированного потока сетевого трафика

Данная модель включает в себя несколько устройств m-Health (ИК-спектрометров) и взаимодействующих с ними пользовательских терминалов, а также шлюз доступа ССОП, который может быть представлен шлюзом доступа WLAN или базовой станцией сетей LTE/5G.

Тогда интенсивность агрегированного потока сетевого IP трафика  $\lambda_2^{(a)}$  от  $n$  устройств может быть вычислена как:

$$\lambda_2^{(a)} = \sum_{i=1}^n \lambda_2^{(i)} \quad (10)$$

При агрегировании нескольких потоков сетевого трафика с различными распределениями интервалов времени между моментами поступления пакетов данных свойства агрегированного потока стремятся к свойствам простейшего

потока, при достаточно большом количестве агрегируемых потоков и не доминировании потоков одного типа над другими. В работе [142] приведена теорема, доказывающая данное свойство агрегированного потока сетевого трафика.

### 3.5 Выбор ПО для моделирования

В настоящее время существует большое число разнообразных способов исследования различных систем [143]. Взаимосвязь этих способов показана на рис. 48. Это могут быть эксперименты с реальной системой<sup>9</sup>, или же эксперименты с какой-либо моделью данной системы.

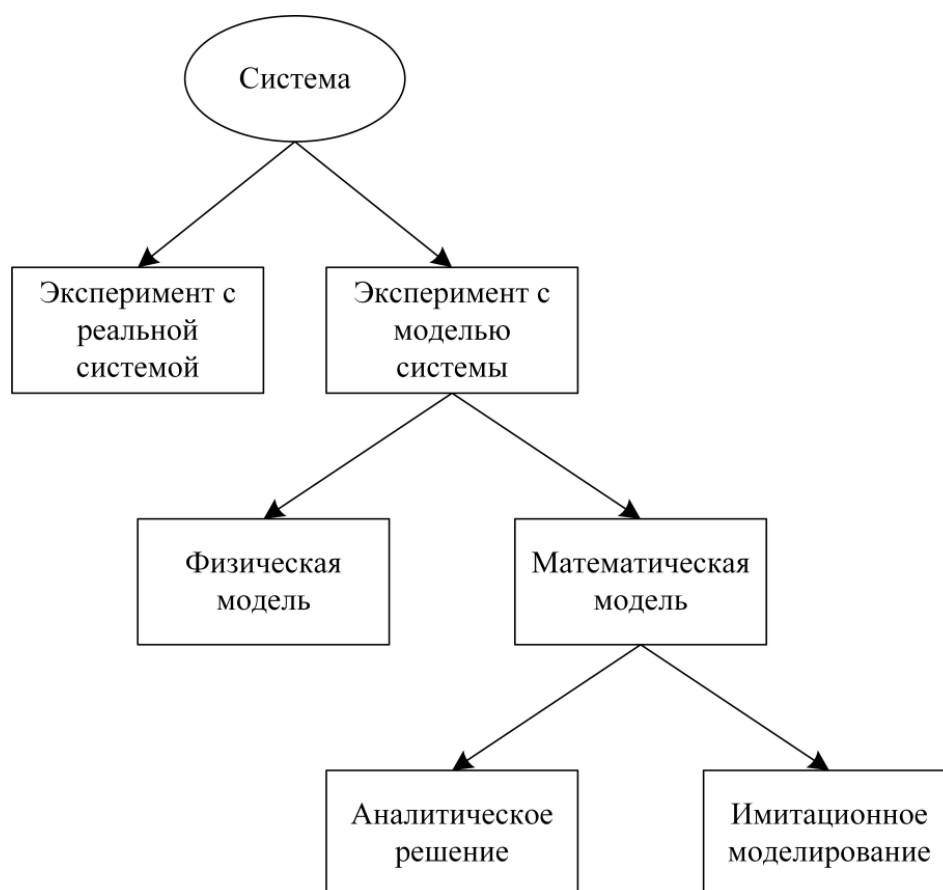


Рисунок 48 – Способы исследования системы

---

<sup>9</sup> В т.ч. с использованием модельной сети, что было описано во второй главе диссертационной работы.

Часто для проведения подобных экспериментов с виртуальной моделью системы используется специальное ПО – системы моделирования, как специализированные (в т.ч. предназначенные для моделирования сетей и систем связи) [144, 145], так и системы общего назначения [146, 147, 148].

В открытых источниках можно найти большое число работ, в которых проводится обзор, подробный анализ и критериальное сравнение различных систем ИМ [149, 150].

В качестве основных критериев для сравнения можно рассматривать следующие [143]:

1. Основные возможности системы ИМ по построению модели (описание логики поведения объекта или системы объектов, сложность освоения системы ИМ, поддержка иерархического моделирования для сложных систем, возможность интерактивной отладки и разработки модели, обеспечение разработки сценариев для проведения моделирования, возможность взаимодействия среды ИМ со сторонним ПО).
2. Возможность гибкой настройки параметров объектов системы ИМ и реакций на события (возможность устанавливать вероятностно-временные характеристики для случайных величин, формирование эмпирических распределений на основе массивов данных, автоматизированная аппроксимация получаемых в результате моделирования эмпирических распределений теоретическими, оптимизация параметров модели на основе выбранного критерия).
3. Возможность создания встроенными средствами системы ИМ анимации и динамической графики (для обеспечения визуализации работы модели и динамического отображения её параметров (шкалы, диаграммы, графики)).
4. Наличие развитой подсистемы поддержки пользователя (теоретическая справка, «всплывающие» подсказки, встроенный в систему ИМ компилятор для отладки модели с выводом подробных отчетов об обнаруженных ошибках).



5. Наличие гибкой и функциональной подсистемы ввода-вывода (для импорта и экспорта данных в различных форматах, формирования и вывода на печать отчетов или демонстрационных материалов по результатам моделирования).
6. Системные требования системы ИМ к программно-аппаратной платформе и дополнительному ПО.
7. Наличие встроенных или использование общеизвестных языков программирования для описания моделей.
8. Формат распространения ПО (в т.ч. наличие академических лицензий и их ограничения).

Для проведения ИМ источника агрегированного сетевого трафика на основе описанных выше критериев было выбрано ПО AnyLogic 8.5 [151, 152, 153].

### **3.6 Моделирование агрегированного потока сетевого трафика**

В рамках разработанной имитационной модели источника агрегированного потока сетевого трафика были реализованы несколько «On-Off» источников трафика, имитирующие портативные спектрометры SCiO и Link Square. Генерируемый источниками сетевой трафик поступает на узел, имитирующий шлюз доступа WLAN, подключенный к ССОП. Агрегированный поток сетевого трафика оценивается после смешивания на шлюзе доступа WLAN. Структура разработанной модели повторяет структуру модели, представленную на рис. 47.

В результате проведенного ИМ было установлено, что агрегированный поток сетевого трафика от нескольких ИК спектрометров приближается по свойствам к простейшему потоку уже при 10-20 агрегируемых потоках. Распределение интервалов времени между поступлением пакетов показано на рис. 49.

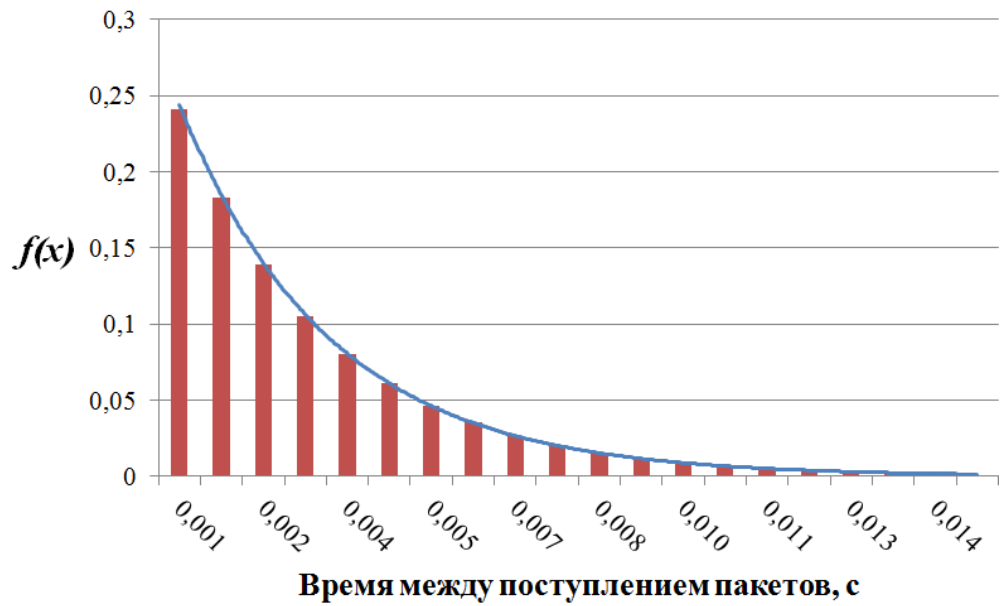


Рисунок 49 – Распределение интервалов времени агрегированного потока

Распределение интервалов времени между поступлением пакетов в ССОП может быть описано показательным (экспоненциальным) распределением:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (11)$$

Распределение длин пакетов агрегированного потока показано на рис. 50.



Рисунок 50 – Распределение длин пакетов агрегированного потока

Распределение длин пакетов является дискретным. Средняя длина пакета может быть определена как:

$$\bar{L} = \sum_{i=0}^n p_i L_i \quad (12)$$

где  $p_i$  – вероятность появления пакета длины  $L_i$ .

Согласно классификации Кендалла-Башарина [154], с учетом характеристик агрегированного потока модель обслуживания потока в сети связи может быть описана как модель M/G/1, что позволяет использовать соответствующие приближенные формулы при расчете параметров СМО.

Так, например, среднее время нахождения пакета в очереди на обслуживание может быть рассчитано по формуле Полячека-Хинчина [155]:

$$\bar{w}_{M|G|1} = \frac{\rho \bar{t}}{2(1 - \rho)} \left( 1 + \left( \frac{\delta}{\bar{t}} \right)^2 \right) \quad (13)$$

где  $\rho$  – это интенсивность нагрузки,  $\bar{t}$  – это среднее время обслуживания одного пакета,  $\delta$  – среднеквадратическое отклонение времени обслуживания.

Использование данной модели позволяет повысить точность определения длительности времени нахождения пакета в очереди на обслуживание по сравнению с моделью M/M/1, которую принято использовать для расчетов при отсутствии данных о свойствах потока трафика и/или системы обслуживания:

$$\bar{w}_{M|M|1} = \frac{\rho \bar{t}}{1 - \rho} \quad (14)$$

Для описанного выше агрегированного потока сетевого трафика выигрыш в точности расчета составляет:

$$\frac{|\bar{w}_{M|M|1} - \bar{w}_{M|G|1}|}{\bar{w}_{M|M|1}} * 100 = 12\% \quad (15)$$

### 3.7 Предлагаемый алгоритм

Поскольку описанная в особенностях реализации услуги последовательность действий не учитывает некоторые особенности (например, возможность ложного срабатывания устройства m-Health), следует разработать

соответствующий улучшенный алгоритм предоставления услуги молекулярного анализа в реальном времени на базе ССОП [141, 156]. Улучшенный алгоритм представлен на рис. 51.

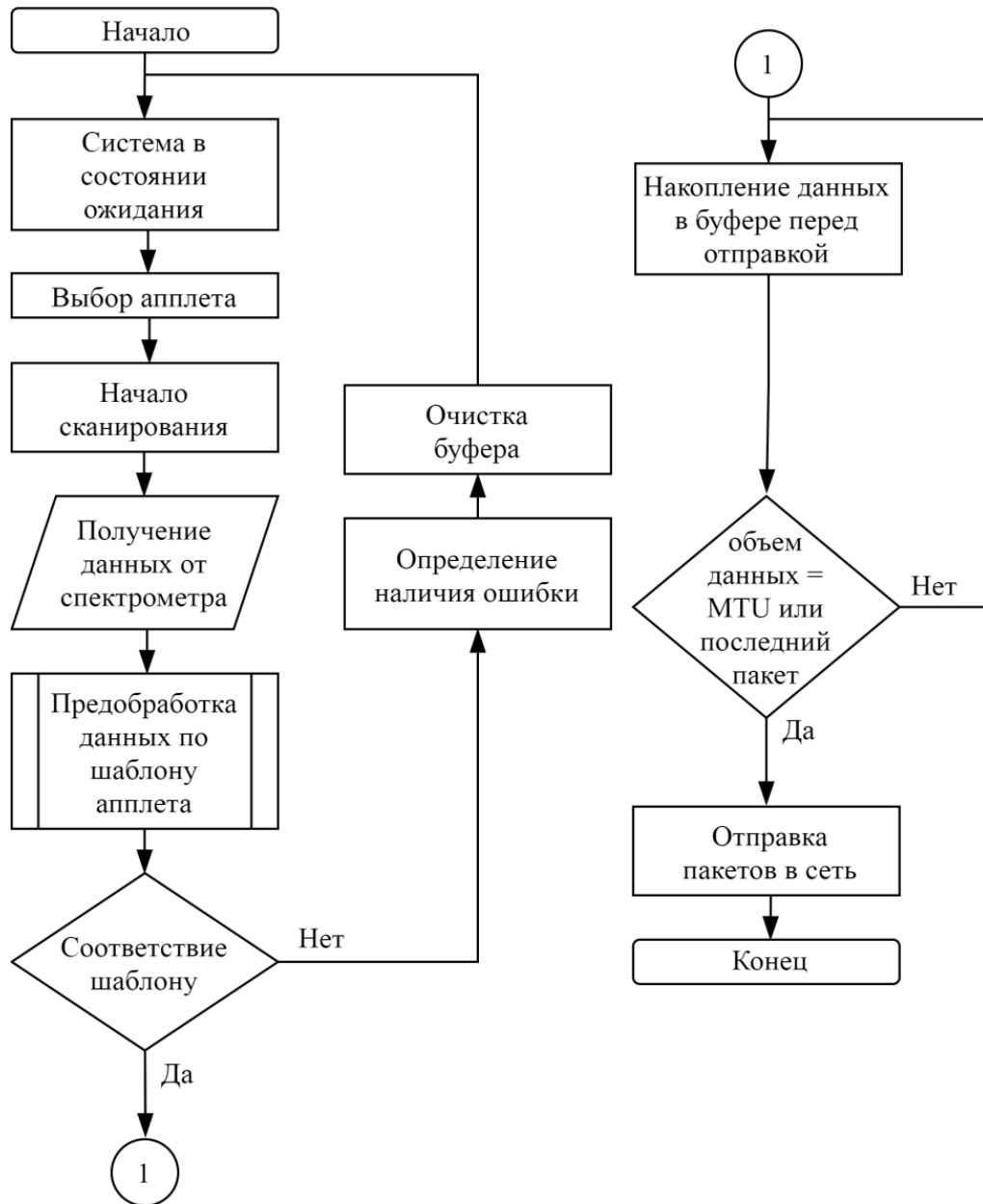


Рисунок 51 – Предлагаемый улучшенный алгоритм

Отличительными особенностями (внесенными улучшениями) данного алгоритма являются:

1. Предварительная обработка данных, поступающих от спектрометра на терминал, для быстрого сравнения их с шаблоном соответствующего

апплета, выбранного пользователем до начала анализа. На рис. 52 обозначены несколько спектров, полученных в результате анализа однотипных объектов, коридор возможных значений, в который должны укладываться спектры выбранного апплета, а также результат ошибочного анализа (голубая линия).

2. Наличие буфера-накопителя, который накапливает данные, пока их объем не приблизится к значению Maximum Transmission Unit (MTU) за вычетом заголовков IP и UDP (при передаче данных по протоколу UDP) или же с Maximum Segment Size (MSS) (при передаче данных по протоколу TCP), после чего осуществляется отправка пакета. Это позволяет сократить общее количество передаваемых пакетов, а соответственно и служебной информации (заголовков), поскольку спектрограмма не может быть проанализирована и обработана, пока на сервер не будет передан последний пакет из последовательности.

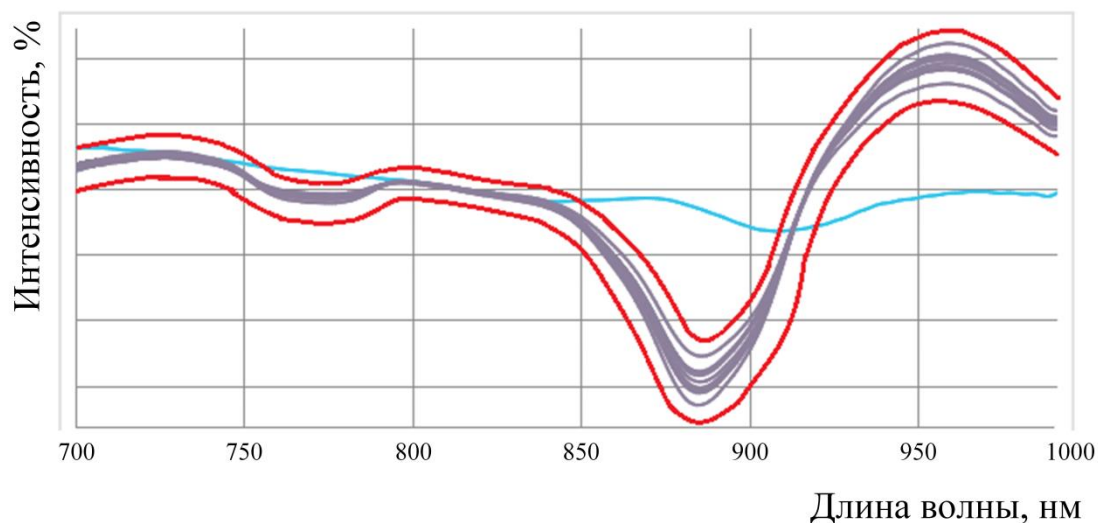


Рисунок 52 – Сравнение поступившего спектра с заранее определенным шаблоном

Предварительная обработка по шаблону апплета позволяет отбрасывать данные, получаемые в результате ложных срабатываний, ошибок пользователя при проведении анализа, а также в результате искажения данных при передаче их

от спектрометра к устройству, которое будет осуществлять обработку спектрограммы. Таким образом, в случае удаленной обработки ошибочные данные не передаются через ССОП на облачный сервер. С одной стороны, это сокращается объем передаваемого в ходе предоставления услуги сетевого трафика, а с другой стороны, отбрасывание ошибочных данных позволяет быстрее освободить систему для последующего использования, а также снизить нагрузку на облачный сервер.

### 3.8 Проверка предложенного алгоритма

Для проверки предложенного алгоритма в среде ИМ необходимо представить все узлы, участвующие в процессе предоставления услуги молекулярного анализа, в виде модели сети массового обслуживания (СеМО). Структура разработанной СеМО показана на рис. 53.



Рисунок 53 – Модель СеМО

Основные компоненты разработанной СеМО: ИК-спектрометр в виде источника заявок; терминал пользователя; сеть связи между терминалом пользователя и сервером; сервер для обработки заявок; приемник, на котором происходит отображение результатов (терминал пользователя и приемник в общем случае могут быть представлены одним устройством).

СМО, входящие в состав разработанной СеМО, представляют собой одноканальные СМО с неоднородным потоком заявок и накопителем неограниченной ёмкости.

Для проведения ИМ на основе описанной СеМО была разработана улучшенная модель генератора трафика, учитывающая особенности предложенного выше алгоритма. Её структура представлена на рис. 54.

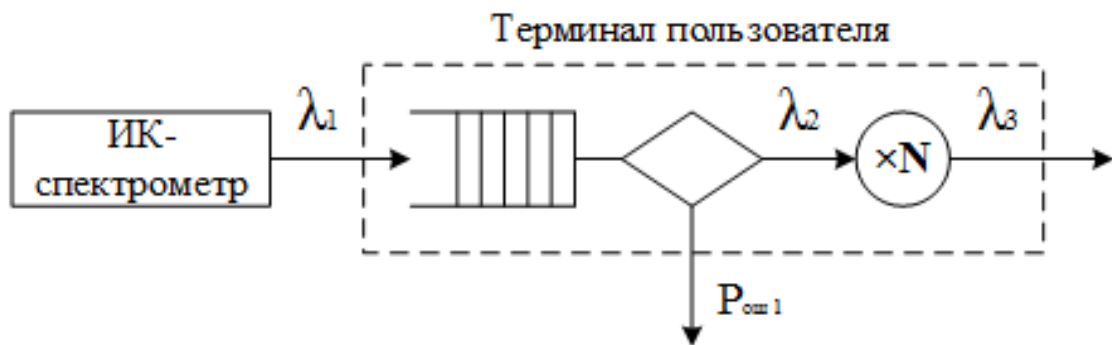


Рисунок 54 – Модель генератора трафика, учитывающая особенности предложенного алгоритма

Интенсивность поступления заявок от источника (спектрометра) на терминал пользователя обозначена как  $\lambda_1$ . Интенсивность поступления заявок от обслуживающего устройства после проверки согласно шаблону обозначена как  $\lambda_2$ . Интенсивность поступления заявок от терминала пользователя в ССОП обозначена как  $\lambda_3$ . Вероятность ошибки, связанная с возможностью ложных срабатываний и ошибок анализа обозначена как  $P_{\text{ош } 1}$ . Число IP-пакетов, генерируемых на одну заявку, обозначено как  $N$ .

Взаимосвязи между переменными могут быть описаны следующими формулами:

$$\lambda_2 = \lambda_1 N (1 - P_{\text{ош } 1}), \quad (16)$$

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_2}{k} \quad (17)$$

где  $k$  – коэффициент агрегации, связанный с буферизацией данных по описанному выше алгоритму.

Для реализации модели представленной СеМО также использовалась ПО AnyLogic 8.5. В рамках имитационной модели был реализован базовый сценарий, сценарий с предобработкой (контролем ошибок), сценарий с предобработкой (контролем ошибок) и буферизацией.

На основе указанных сценариев проводилась численная оценка времени передачи данных при предоставлении услуги молекулярного анализа и объема передаваемых данных. Результаты ИМ представлены в табл. 10.

Таблица 10 – Среднее время накопления, передачи и приема данных

№	Тип сценария	Время, с	Объем данных, Мбайт (на 1000 сканирований)
1	Базовый сценарий	$3,0 \pm 2,1$	$49,77 \pm 0,99$
2	Сценарий с предобработкой (контролем ошибок)	$2,6 \pm 0,7$	$43,68 \pm 0,87$
3	Сценарий с предобработкой (контролем ошибок) и буферизацией	$2,6 \pm 0,7$	$38,31 \pm 0,57$

Представленные в таблице результаты получены с доверительной вероятностью 0,9.

Из графика на рис. 55 видно, что использование предобработки (контроля ошибок) позволяет сократить количество передаваемых данных. Это происходит за счет отбрасывания данных, полученных в результате ошибочного анализа или случайного (непреднамеренного) срабатывания устройства. Буферизация же позволяет сократить число передаваемых IP-пакетов, а, следовательно, и объем служебной информации (заголовков), что также снижает общее количество передаваемых данных.



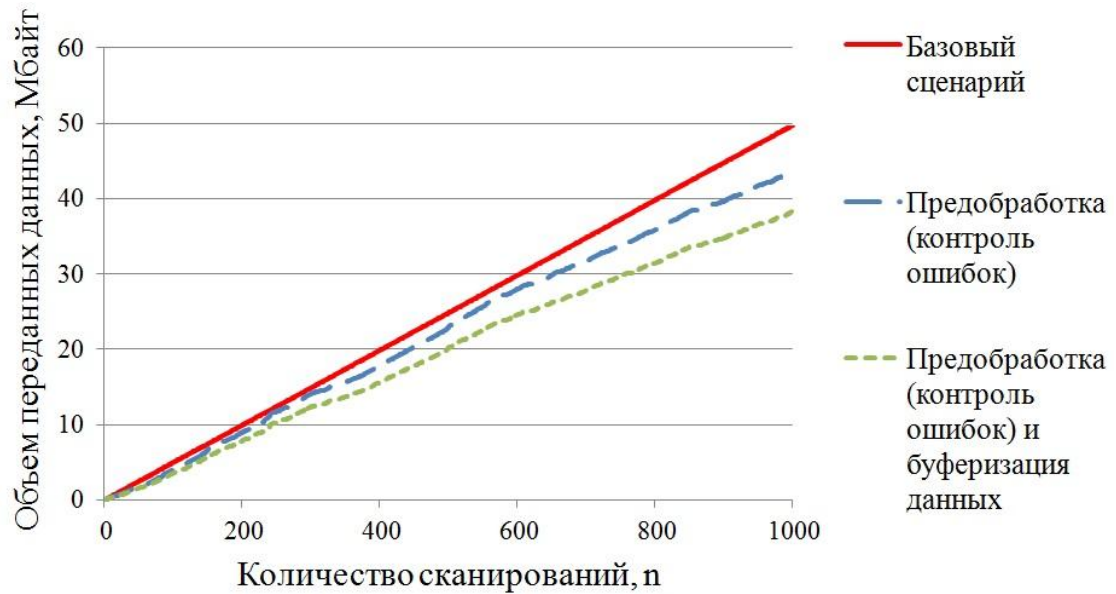


Рисунок 55 – Зависимость объема передаваемых данных от количества сканирований, выполненных спектрометром

Снижение объема передаваемых данных может быть определено по формуле:

$$e_{data} = \frac{|D_1 - D_2|}{D_1} * 100\% \quad (18)$$

где  $D_1$  – это объём данных, который передавался до реализации предложенного алгоритма, а  $D_2$  – после реализации предложенного алгоритма.

Исходя из результатов проведенного моделирования, можно сделать вывод о том, что использование предложенного алгоритма позволяет сократить время передачи данных при предоставлении услуги на 13%, а общее количество передаваемых данных сократить на 23% (при передаче данных по протоколам Ethernet, IP, TCP, которые используются рассматриваемыми устройствами)<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> В случае использования дополнительных сетевых протоколов, обеспечивающих туннелирование, шифрование и т.д. выигрыш в снижении объема передаваемых данных может быть существенно больше.

### Выводы по главе

1. Рассмотрена модель ИК микроспектрометра как «On-Off» источника сетевого трафика и модель агрегированного потока сетевого трафика от нескольких микроспектрометров. В результате проведенного имитационного моделирования установлено, что распределение интервалов времени между поступлением пакетов может быть описано показательным законом распределения, а распределение длин пакетов является дискретным, что позволяет использовать для описания модели потока модель M/G/1.
2. Представлен улучшенный алгоритм предоставления услуги молекулярного анализа, в рамках которого осуществляется предварительная проверка данных, поступающих на терминал пользователя в результате анализа, согласно шаблону заранее выбранного апплета. Также производится буферизация накапливаемых данных с целью максимизации размера отправляемых в сеть IP-пакетов.
3. Проведено имитационное моделирование базового сценария предоставления услуги, а также сценария, учитывающего особенности предложенного улучшенного алгоритма. Результаты имитационного моделирования показывают, что использование предобработки (контроля ошибок) и буферизации данных позволяют существенно сократить среднее время и уменьшить объем передаваемых данных при предоставлении услуги молекулярного анализа.

## **ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ НА ОСНОВЕ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ УСЛУГИ МОЛЕКУЛЯРНОГО АНАЛИЗА**

### **4.1 Граничные вычисления и мобильные граничные вычисления**

Из приведенного в первой главе диссертации обзора следует, что многие разработчики готовых решений m-Health уже сегодня активно используют в процессе предоставления услуги молекулярного анализа технологии облачных вычислений (Cloud Computing) для обработки данных. Однако централизованная обработка результатов молекулярного анализа несколькими облачными серверами неизбежно приводит к высоким значениям сетевой задержки и джиттера при передаче данных. Для улучшения QoE и QoS целесообразно организовать предоставление описанной услуги m-Health с использованием технологий граничных вычислений (Edge Computing) [157, 158, 159].

В случае распространения услуги молекулярного анализа продуктов питания и лекарственных средств на базе ССОП среди широких слоев населения также весьма вероятна периодически возникающая высокая концентрация пользователей данной услуги на небольших по площади участках, например, в торговых залах гипермаркетов, аптеках и т.д. В таком случае использование граничных вычислений позволит снизить нагрузку на сети доступа, ядро сети и ЦОД компании-разработчика, а также значительно сократит сетевую задержку доставки IP-пакетов.

В связи с тем, что услугу молекулярного анализа на базе сети связи общего пользования по описанным выше причинам следует рассматривать как услугу m-Health, целесообразно для улучшения QoE и QoS использовать мобильные граничные вычисления (Mobile Edge Computing, MEC) [160, 161]. Мобильные граничные вычисления в полной мере реализуют основные преимущества облачных вычислений на границе сети радиодоступа (Radio Access Network, RAN)

в непосредственной близости от пользовательских терминалов абонентов сети мобильной сотовой связи.

В свою очередь для разработчиков различных сервисов, услуг и приложений, а также для поставщиков контента МЕС предоставляет сетевую и вычислительную инфраструктуру с низкой сетевой задержкой и высокой пропускной способностью, а также прямой доступ к информации о текущем состоянии (уровень сигнала, геолокация абонента и т.д.) RAN в режиме реального времени. Данная информация может быть крайне полезна, поскольку открывает дополнительные возможности для предоставления конечному пользователю контекстно-связанных услуг<sup>11</sup>.

Пример доставки и распределения контента с использованием МЕС технологий для сети LTE показан на рис. 56.

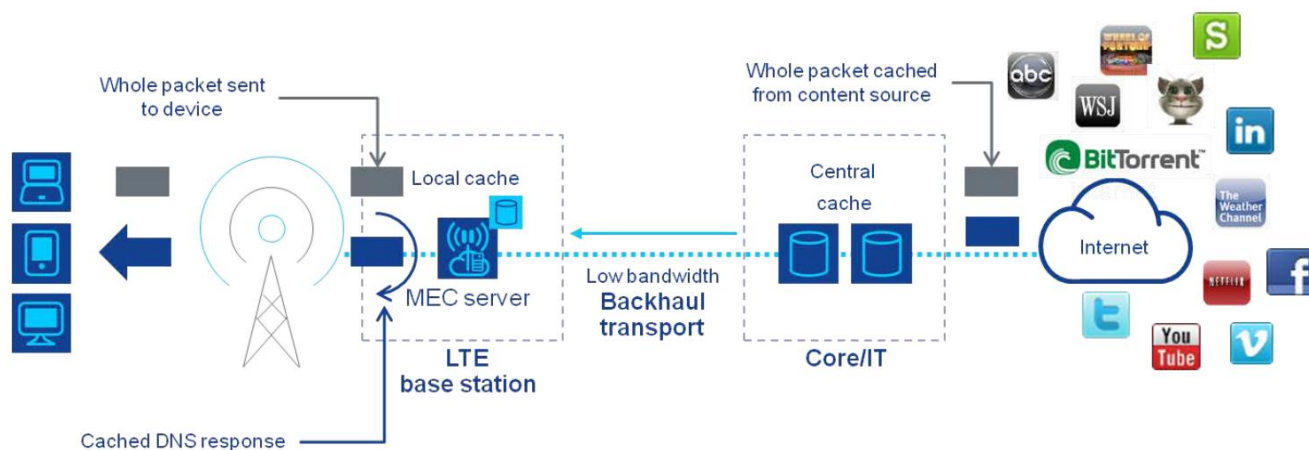


Рисунок 56 – Пример доставки и распределения контента с использованием МЕС технологий для сети LTE

Ключевым элементом мобильных граничных вычислений является МЕС сервер, который располагается либо вместе с контроллером сети доступа (Radio Network Controller, RNC) (для сетей 3G), либо на базовой станции LTE (eNB) (для сетей LTE), либо на узле сети сотовой связи с одновременной поддержкой нескольких технологий (3G/LTE).

<sup>11</sup>Услуги, напрямую или косвенно связанные с предоставлением пользователю основной услуги.

В частности одной из наиболее важных отличительных особенностей данной архитектуры являются так называемые малые соты (Small Cell, SC), которые предоставляются операторам связи по модели «as a Service». Такие маломощные узлы (которые способны работать как в лицензируемом, так и в нелицензируемом диапазоне частот) позволяют при необходимости значительно уплотнить существующие сети сотовой связи за счет повторного использования радиочастот, чтобы соблюсти требования к пропускной способности в сетях 5G.

Другой особенностью является двухуровневая архитектура: первый распределенный уровень обеспечивает предоставление услуг, для которых необходимо обеспечить наименьшую сетевую задержку, а второй централизованный уровень обеспечивает высокую вычислительную мощность для ресурсоемких сетевых приложений.

Универсальность предложенной архитектуры обеспечивается с помощью методов виртуализации (Network Functions Virtualization, NFV) для изоляции приложений, сокращения времени развертывания новых сервисов и повышения эффективности использования ресурсов. Использование виртуальных сетевых функций (Virtual Network Function, VNF) позволяет динамически создавать и мигрировать сетевые сервисы и службы за счет использования виртуализации и разделения вычислительных ресурсов малых сот, и дополняется вычислительными возможностями мобильных граничных вычислений MEC.

Пример многоуровневой архитектуры с использованием MEC и технологий NFV для сети 5G показан на рис. 58.

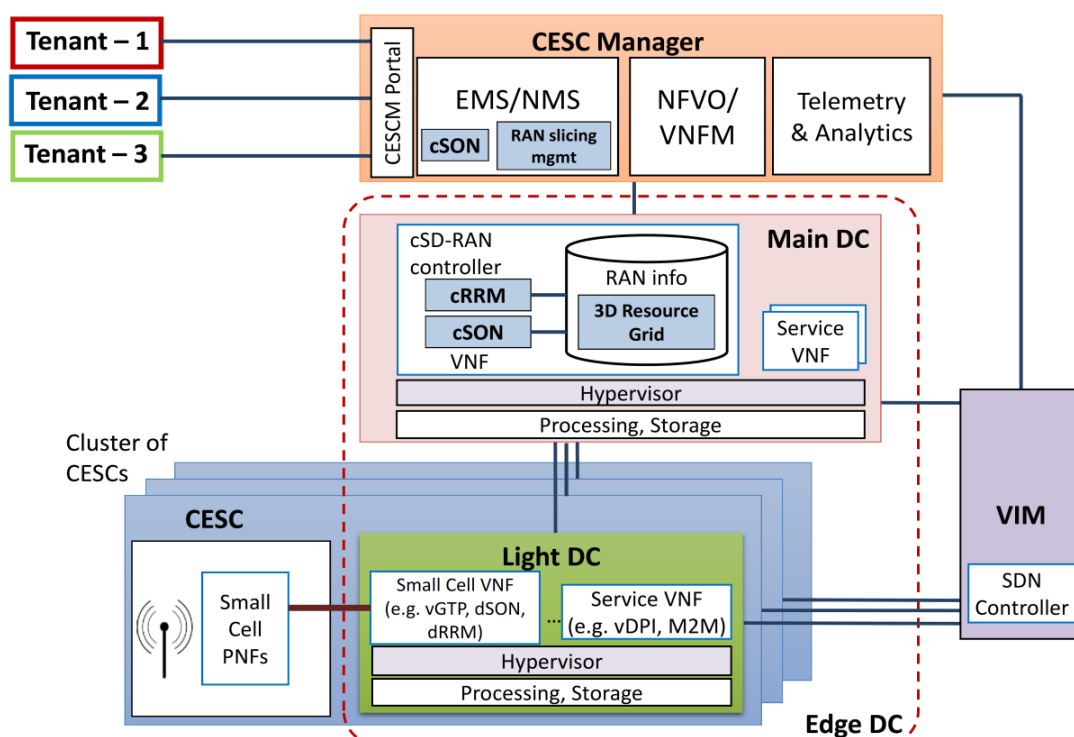


Рисунок 58 – Многоуровневая архитектура с использованием MEC и NFV для сети 5G

## 4.2 Применение МЕС для предоставления услуги m-Health

Для предоставления описанной услуги m-Health с использованием МЕС с учетом особенностей реализации граничных вычислений архитектура сети m-Health в минимальной конфигурации (кроме терминалов пользователей и оборудования ССОП) должна включать следующие узлы:

1. Корневой сервер, который располагается в ЦОД разработчиков. Данный сервер обеспечивает хранение БД с информацией об учетных записях пользователей, осуществляет хранение и распространение актуальной эталонной БД, необходимой для обработки данных, поступающих с терминалов пользователей в результате анализа.
2. Граничный сервер, который обеспечивает обработку поступающих от пользователей данных на границе сети доступа.

Пример архитектуры сети m-Health с использованием граничных вычислений показан на рис. 59.

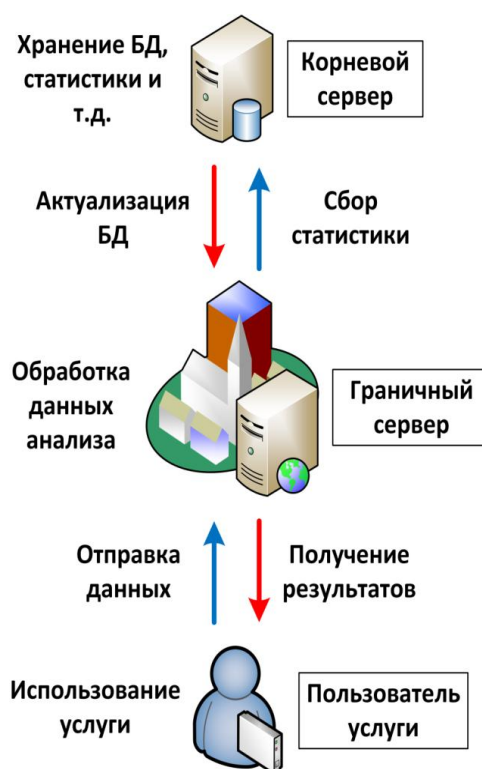


Рисунок 59 – Архитектура сети с использованием граничных вычислений



В случае обработки данных при предоставлении услуги одним централизованным сервером, согласно проведенным исследованиям, RTT между терминалом пользователя и облачным сервером составляет порядка 200-250 мс. При условии передачи 65-270 пакетов при однократном предоставлении услуги общее время передачи данных оказывается крайне высоким.

Суммарная задержка передачи данных может быть описана формулой:

$$T_{\text{пер. сумм.}} = \sum_{i=1}^n T_{\text{распр.}} + \sum_{i=1}^n T_{\text{ож.}} + \sum_{i=1}^n T_{\text{обр.}} + \sum_{i=1}^n T_{\text{пак.}} \quad (19)$$

где  $T_{\text{распр.}}$  – задержка, обусловленная временем распространения сигнала в линии связи,  $T_{\text{ож.}}$  – задержка, обусловленная временем ожидания пакета данных в очереди на обработку узлом сети,  $T_{\text{обр.}}$  – задержка обработки заголовков пакетов данных узлами сети,  $T_{\text{пак.}}$  – задержка, связанная со временем передачи данных в линию связи.

При сокращении значения RTT до 10-20 мс время передачи данных при предоставлении услуги сокращается на 40%, что подтверждается результатами ИМ [141]. Поэтому, для достижения указанно значения RTT целесообразно ограничить зону предоставления слуги, например, размерами крупного города. Пример ограничения зоны предоставления услуги показан на рис. 60.

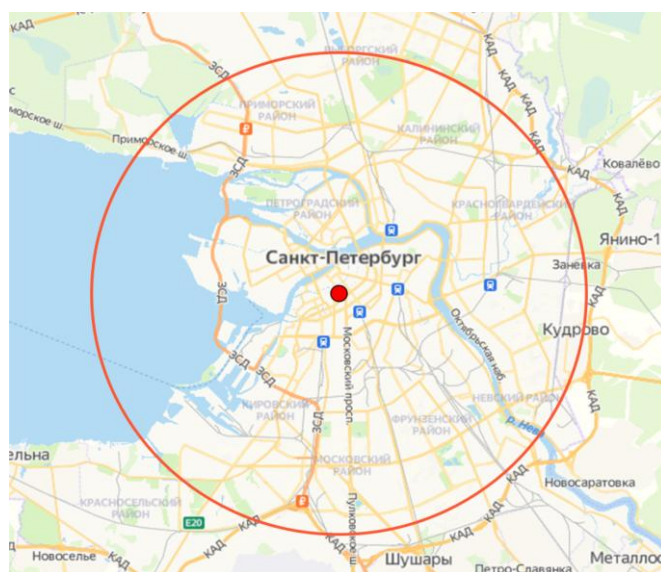


Рисунок 60 – Ограничение зоны предоставления услуги



В работе [164] показано, что зону предоставления услуг можно описать кругом с радиусом, который определяется  $T_{распр.}$  (фактически, расстоянием между условным центром и максимально удаленными от него точками). Поскольку  $T_{распр.}$  является доминирующей компонентой в (19), то приведенные в указанной работе результаты можно использовать для определения границ зоны предоставления услуг. В работе [165] эти результаты уточняются с учетом величины сетевого трафика, генерируемого в зоне предоставления услуг и поступающего сервер для обслуживания, а также на основе плотности расположения предполагаемых абонентских терминалов и интенсивности поступления от них сетевого трафика.

В таком случае основной задачей организации граничных вычислений становится выбор точки подключения граничного вычислителя (сервера) к имеющейся сети. В реальных условиях высоконагруженной сети доступа может потребоваться один или несколько граничных серверов. В таком случае необходимо найти несколько точек, которые удовлетворяют заданному критерию (например, обеспечения минимальной задержки).

#### **4.3 Метод построения сети для предоставления услуги**

Если критерием выбора точки расположения граничного вычислителя является минимум задержки, то решением может быть определение центра графа, т.е. вершины, длины путей от которой до других вершин минимальны [166, 167, 168]. В зависимости от количества размещаемых граничных вычислителей можно говорить об одном центре графа или о кратных р-центрах графа. Алгоритм поиска центра графа состоит в следующем:

1. Необходимо построить граф  $G(X, A)^{12}$ , где  $X$  – это множество вершин графа  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , а  $A$  – это множество ребер графа  $(a_1, a_2, \dots, a_m)$  на основании данных об архитектуре рассматриваемой сети связи. В качестве вершин графа принять узлы сети связи, в которых может быть расположен граничный вычислитель (сервер). В качестве ребер графа принять каналы связи, соединяющие рассматриваемые узлы сети. Вес ребер необходимо установить в зависимости от величины действующей сетевой задержки между соответствующими узлами связи. В таком случае граф может быть задан  $n \times n$  матрицей весов (также называемой взвешенной матрицей смежности)  $\mathbf{W}$ :

$$\mathbf{W} = \begin{vmatrix} 0 & h_{12} & - & h_{1n} \\ h_{21} & 0 & h_{2j} & - \\ h_{i1} & h_{i2} & 0 & h_{in} \\ h_{n1} & h_{n2} & - & 0 \end{vmatrix} \quad (20)$$

где  $h_{ij}$  – вес ребра между вершинами  $x_i$  и  $x_j$ , а запись «–» означает, что ребра между соответствующими вершинами нет.

2. Далее необходимо на основании матрицы весов  $\mathbf{W}$  построить матрицу кратчайших расстояний  $\mathbf{D}$ :

$$\mathbf{D} = \begin{vmatrix} 0 & d_{12} & d_{1j} & d_{1n} \\ d_{21} & 0 & d_{2j} & d_{2n} \\ d_{i1} & d_{i2} & 0 & d_{in} \\ d_{n1} & d_{n2} & d_{nj} & 0 \end{vmatrix} \quad (21)$$

где  $d_{ij}$  – кратчайшая длина пути между вершинами  $x_i$  и  $x_j$ .

---

<sup>12</sup> В качестве допущения примем также, что граф плотный, не ориентированный (т.е. сетевая задержка между соседними узлами связи одинакова в обоих направлениях), а также не имеет петель (либо они устранены).

Для этого могут быть использованы алгоритмы Дейкстры (Dijkstra's algorithm), Флойда-Уоршелла (Floyd-Warshall algorithm), Алгоритм Джонсона (Johnson's algorithm)<sup>13</sup> и т.д. Чаще всего для поиска центра графа используется алгоритм Флойда-Уоршелла, поскольку по сравнению с остальными он обладает более низкой вычислительной сложностью [169].

Алгоритм Флойда-Уоршелла можно записать как:

*for*  $i=1, \dots, n$ ;

*for*  $j=1, \dots, n$ ;

*for*  $k=1, \dots, n$ ;

$$d[i,j] = \min \{ d[i,j]; (d[i,k] + d[k,j]) \}$$

3. Далее необходимо по матрице кратчайших расстояний требуется найти центр графа – вершину, максимальное расстояние от которой до остальных вершин графа минимально. Центр графа находится в соответствии:

$$i = \arg \min_i \left\{ \max_j d[i,j] \right\} \quad (22)$$

где  $i, j=1, \dots, n$  – строки и столбцы матрицы **D**.

Эту вершину и следует рассматривать как точку расположения граничного вычислителя.

Алгоритм Флойда-Уоршелла при необходимости может быть модифицирован для поиска центра графа при наличии нескольких критериев [170].

Для проверки предложенного алгоритма было проведено моделирование с использованием ПО Mathcad [146], в рамках которого имитировался выбор точки расположения граничного вычислителя на сети Интернет-провайдера. В ходе моделирования предложенный алгоритм сравнивался с методом выбора геометрического центра графа, который часто применяется при решении подобных задач. Результаты представлены на рис. 61 и 62.

---

<sup>13</sup> Алгоритм Джонсона может быть использован для разреженных графов (сетей).

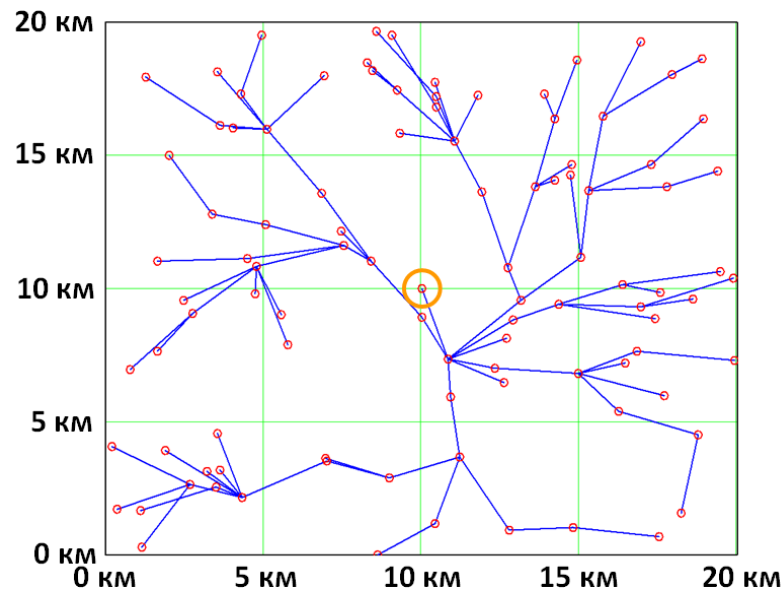


Рисунок 61 – Выбор точки расположения граничного вычислителя в геометрическом центре графа

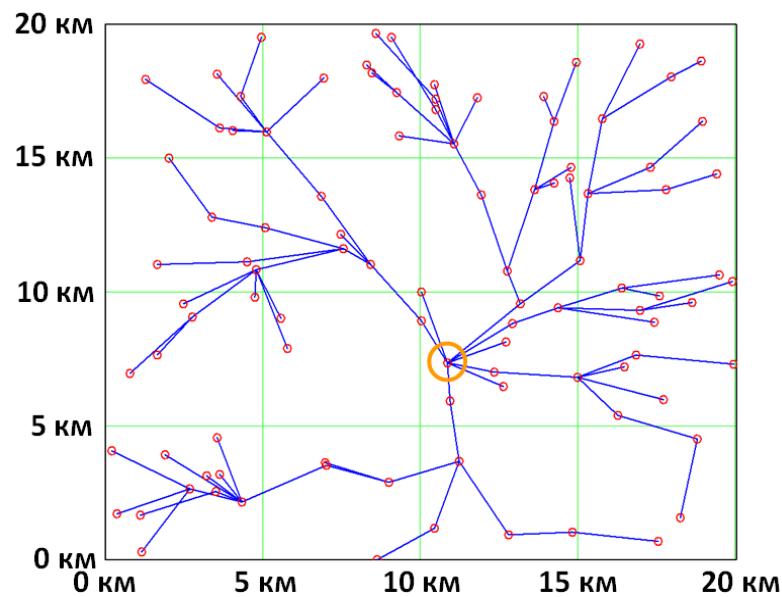


Рисунок 62 – Выбор точки расположения граничного вычислителя по предложенному алгоритму

В результате моделирования установлено, что величина выигрыша зависит от конкретной структуры сети: количества вершин и ребер графа, их расположения и т.д. Так при равномерном распределении узлов сети (при условии случайного их распределения на площадке) и их количестве 100 шт., данный выигрыш составляет в среднем до 15%.

#### 4.4 Сценарий обмена сообщениями с применением МЕС

Сценарий обмена сообщениями с применением МЕС для предоставления услуги молекулярного анализа на базе ССОП показан на рис. 63.

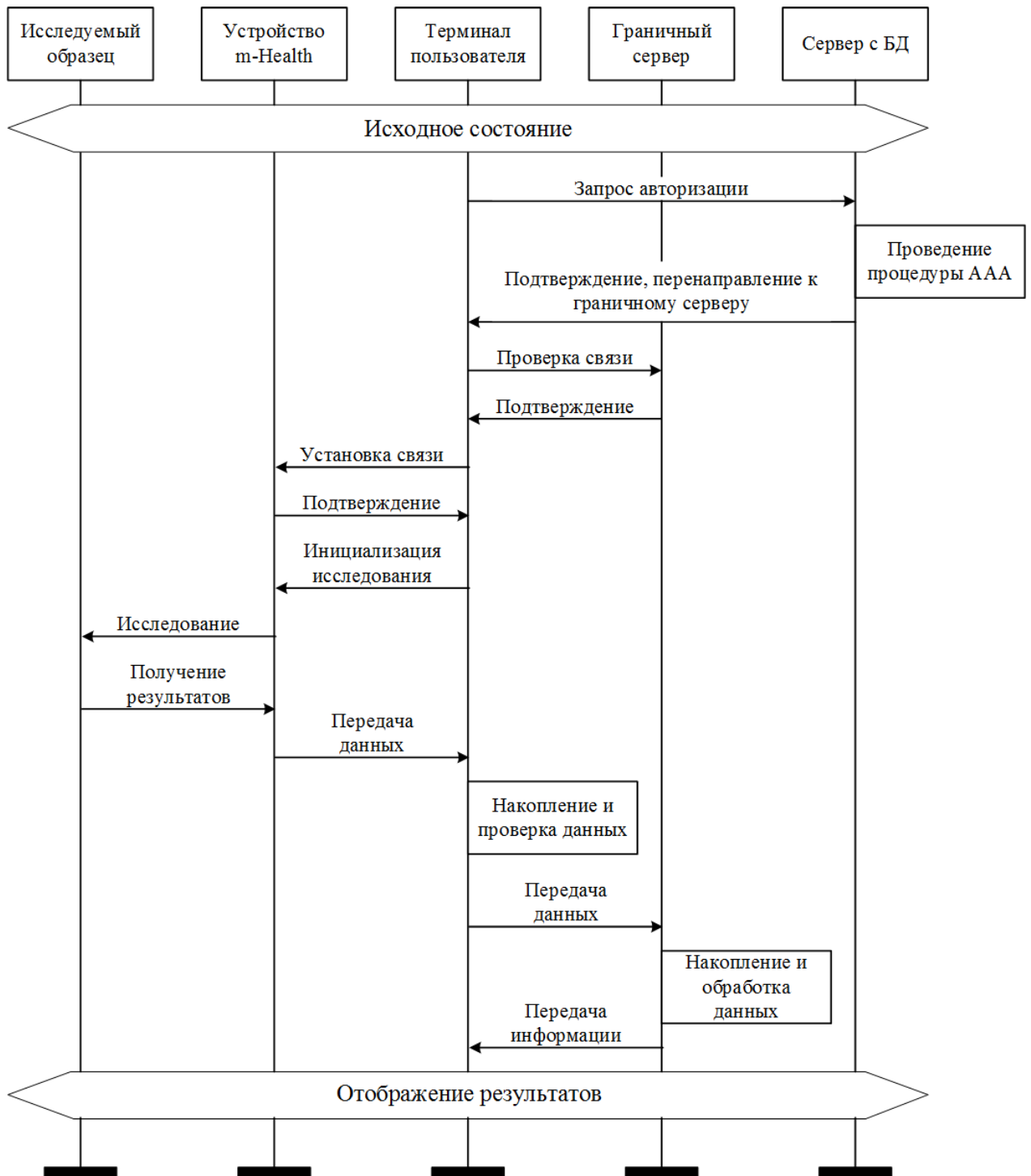


Рисунок 63 – Сценарий обмена сообщениями с применением МЕС

С точки зрения обмена сообщениями данный сценарий обладает некоторыми отличительными особенностями. Так вначале происходит обращение терминала пользователя к корневому серверу с БД для проведения процедуры AAA, после чего происходит перенаправление пользователя к наиболее близко расположенному граничному вычислителю. Далее с терминала пользователя проверяется доступность граничного вычислителя, после чего происходит предоставление услуги.

Для сокращения сетевой задержки при предоставлении услуги корневой сервер должен обновлять БД доступных граничных вычислителей в режиме реального времени во избежание поступления повторных запросов в случае, если граничный вычислитель, к которому произошло перенаправление, по каким-либо причинам не доступен.

### **Выводы по главе**

1. Описаны основные преимущества и особенности реализации МЕС для существующих (3G/LTE) и перспективных (5G) сетей сотовой связи и ССОП.
2. Описаны преимущества применения МЕС для организации предоставления услуги молекулярного анализа на базе ССОП, которые позволяют существенно сократить сетевую задержку передачи данных.
3. Разработан метод построения сети для предоставления услуги молекулярного анализа на основе граничных вычислений, который позволяет организовать децентрализованную обработку данных при предоставлении услуги молекулярного анализа и уменьшить время передачи данных при предоставлении услуги на 40%.
4. Описан сценарий обмена сообщениями при предоставлении услуги молекулярного анализа на базе ССОП с применением МЕС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации разработаны модели и методы предоставления услуги молекулярного анализа на базе сети связи общего пользования. Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Проведен обзор нескольких персональных портативных устройств m-Health, обеспечивающих предоставление услуги молекулярного анализа продуктов питания и лекарственных средств в повседневной жизни, рассмотрены их ключевые особенности и технические характеристики.
2. Описан порядок предоставления услуги m-Health. Учтены следующие особенности: взаимодействие устройств m-Health со специализированным мобильным приложением для ввода команд управления и отображения результатов анализа, обработка первичных данных на удаленном облачном сервере, модульная структура мобильного приложения. Отмечена необходимость создания провайдера услуг e-Health / m-Health.
3. Разработана модельная сеть для перехвата сетевого трафика, генерируемого при предоставлении услуги молекулярного анализа. Описаны основные компоненты и их функциональное назначение, описана методика проведения испытаний устройств m-Health и перехвата сетевого трафика.
4. На основе модельной сети проведен перехват сетевого трафика, генерируемого при предоставлении услуги несколькими устройствами m-Health. Определены основные характеристики перехваченного трафика. Установлено, что генерируемый в процессе предоставления услуги сетевой трафик в основном имеет самоподобный характер.
5. Разработана модель агрегированного потока сетевого трафика от нескольких устройств m-Health. В результате имитационного моделирования установлено, что агрегированный поток сетевого трафика может быть описан

моделью СМО (M/G/1), что в свою очередь позволяет повысить точность оценки времени обслуживания при расчете параметров СМО на 12%.

6. Разработаны улучшенные модель и метод предоставления услуги молекулярного анализа продуктов питания и лекарственных средств с использованием микроспектрометров, которые позволяют в среднем сократить время предоставления услуги на 13% и объем передаваемых данных на 23%.

7. Разработан метод построения сети для предоставления услуги молекулярного анализа на основе граничных вычислений, который позволяет организовать децентрализованную обработку данных при предоставлении услуги молекулярного анализа и уменьшить время передачи данных при предоставлении услуги на величину до 40%.



## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

AAA – Authentication, Authorization, Accounting – Аутентификация, авторизация и учет

API – Application Programming Interface – Программный интерфейс приложения

CLI – Command Line Interface – Интерфейс командной строки

DIY – Do It Yourself – Самодельный, созданный самостоятельно

e-Health (также E-Health, eHealth) – Электронное здоровье

EHR – Electronic Health Record – Электронная медицинская карта

eNB – eNodeB – Базовая станция сети стандарта LTE

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers – Институт инженеров электротехники и электроники

IIoT – Industrial Internet of Things – Промышленный Интернет вещей

IoMT – Internet of Medical Things – Интернет медицинских вещей

IoT – Internet of Things – Интернет вещей

IP – Internet Protocol – Протокол межсетевого взаимодействия

ITU-T – International Telecommunication Union – Telecommunication sector

LTE – Long-Term Evolution – Долгосрочная эволюция

MEC – Mobile-Edge Computing – Мобильные граничные вычисления

m-Health (также mHealth, M-Health) – Мобильное электронное здоровье

MSS – Maximum Segment Size – Максимальный размер сегмента протокола TCP

MTU – Maximum Transmission Unit – Максимальная единица передачи

NAT – Network address translation – Трансляция сетевых адресов

NIR – Near Infrared Range – Ближний инфракрасный диапазон

ppm – parts per million – частей на миллион

QoE – Quality of Experience – Качество восприятия

QoS – Quality of Service – Качество обслуживания

RAN – Radio access network – Сеть радиодоступа

RNC – Radio Network Controller – Контроллер сети доступа стандарта UMTS

RTT – Round-Trip Time – Время круговой задержки

SC – Small Cell – Малая сота

SLA – Service Level Agreement – Соглашение об уровне предоставления услуг

SOHO – Small Office/Home Office – Для дома и малого офиса

TAP – Test Access Point – Ответвитель сетевого трафика

TCP – Transmission Control Protocol – Протокол управления передачей

UDP – User Datagram Protocol – Протокол пользовательских датаграмм

USN – Ubiquitous Sensor Networks – Всепроникающие сенсорные сети

VANET – Vehicular Ad Hoc Networks – Сети автотранспорта и дорожной инфраструктуры

VIS – VISible – Видимый диапазон

VLAN – Virtual Local Area Network – Виртуальная локальная сеть

VPN – Virtual Private Network – Виртуальная частная сеть

WLAN – Wireless LAN – Беспроводная локальная сеть

БД – База данных

ИИ – Искусственный интеллект

ИК – Инфракрасный (спектр)

ИКТ – Информационно-коммуникационные технологии

ИМ – Имитационное моделирование

ОС – Операционная система

ПМИ – Программа и методика испытаний

ПО – Программное обеспечение

СеМО – Сети массового обслуживания

СМО – Система массового обслуживания

ССОП – Сеть связи общего пользования

ЦОД – Центр обработки данных

ЭВМ – Электронно-вычислительная машина

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волков, А. Н. Сети связи пятого поколения: на пути к сетям 2030 / А. Н. Волков, А. С. А. Мутханна, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2020. – Т. 8. – № 2. – С. 32-43. – DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-2-32-43.
2. Кучерявый, А. Е. Новые перспективы научных исследований в области сетей связи на 2021-2024 годы / А. Е. Кучерявый, Р. В. Киричек, М. А. Маколкина, А. И. Парамонов, Р. А. Дунайцев, Р. Я. Пирмагомедов, А. С. Бородин, А. Г. Владыко, А. С. А. Мутханна, А. И. Выборнова, С. С. Владимиров, И. В. Гришин // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2020. – Т. 8. – № 3. – С. 1-19. – DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-3-1-19.
3. Маколкина, М. А. Приложения дополненной реальности в "умных городах" / М. А. Маколкина, А. С. Бородин, А. С. Мутханна, А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2019. – № 12. – С. 44-50. – DOI 10.34832/ELSV.2019.1.12.004.
4. Кучерявый, А. Е. Самоорганизующиеся сети / А. Е. Кучерявый, А. В. Прокопьев, Е. А. Кучерявый. – М.: СПб.: Любавич, 2011. – 312 с.
5. ПНСТ 518-2021 Информационные технологии. Интернет вещей. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2021. – 12 с.
6. Концепция построения и развития узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей» на территории Российской Федерации / утверждена приказом Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации № 113 от 29.03.2019. Москва, 2019. – 109 с.
7. Ли, П. Архитектура интернета вещей / пер. с англ. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 454 с.: ил.

8. Москаленко, Т. А. Обзор протоколов Интернета вещей / Т. А. Москаленко, Р. В. Киричек, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2017. – Т. 5. – № 2. – С. 1-12.
9. Гойхман, В. Аналитический обзор протоколов Интернета вещей / В. Гойхман, А. Савельева // Технологии и средства связи. – 2016. – № 4(115). – С. 32-37.
10. Кучерявый, А. Е. Интернет вещей / А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2013. – № 1. – С. 21-24.
11. Росляков, А. В. Интернет вещей: учебное пособие [текст] / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин, А. Ю. Гребешков. – Самара: ПГУТИ, 2015. – 200 с.
12. Abbasi, S. Internet of Vehicles: Architecture, services, and applications / S. Abbasi, A. M. Rahmani, A. Balador, A. Sahafi // International Journal of Communication Systems. – 2021. – № 10. – DOI 10.1002/dac.4793.
13. Anderson, N. The Industrial Internet of Things. Volume T3: Analytics Framework / N. Anderson, W. W. Diab, T. French, K. E. Harper, S.-W. Lin, D. Nair, W. Sobel et al. – Industrial Internet Consortium, 2017. – 51 с.
14. Шалагинов, А. Концепция Smart/Safe City от "а" до "я" / А. Шалагинов // Технологии и средства связи. – 2016. – № 3(114). – С. 23-25.
15. Zanella, A. Internet of Things for Smart Cities / A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, M. Zorzi // IEEE Internet of Things Journal. – 2014. – V. 1. – №. 1. – P. 22-32. – DOI 10.1109/IIOT.2014.2306328.
16. Прикладные научные исследования в области создания сетей связи 2030, включая услуги телеприсутствия с сетевой поддержкой, и экспериментальная проверка решений при подготовке отраслевых кадров: отчет о НИР / Шестаков А. В., Громова Н. Н., Кучерявый А. Е., Маколкина М. А., Парамонов А. И., Выборнова А. И., Мутханна А. С. А., Матюхин А. Ю., Дунайцев Р. А., Елагин В. С., Захаров М. В., Ворожейкина О. И., Марочкина М. В., Спиркина А. В., Есалов К. Э., Швидкий А. А., Плетнев Я. А., Фролова К. А., Андреев Р. А.,

- Прасолов А. А., Мышьянов С. В., Мошков В. В., Рогозинский Г. Г., Татаренков Д. А., Аникевич Е. А. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2021. – 590 с.
17. Кучерявый, А. Е. Сети связи 2030 / А. Е. Кучерявый, А. С. Бородин, Р. В. Киричек // Электросвязь. – 2018. – № 11. – С. 52-56.
  18. Eysenbach, G. What is e-Health? / G. Eysenbach // Journal of medical Internet research. – 2001. – V. 3. – № 2. – DOI 10.2196/jmir.3.2.e20.
  19. Della Mea, V. What is e-Health (2): The death of telemedicine? / V. Della Mea // Journal of medical Internet research. – 2001. – V. 3. – № 2. – DOI 10.2196/jmir.3.2.e22.
  20. Oh, H. What Is eHealth (3): A Systematic Review of Published Definitions / H. Oh, C. Rizo, M. Enkin, A. Jadad // Journal of medical Internet research. – 2005. – V. 7. – № 1. – DOI: 10.2196/jmir.7.1.e1.
  21. Кобринский, Б. А. Единое информационное пространство: E-HEALTH и M-HEALTH / Б. А. Кобринский // Врач и информационные технологии. – 2016. – № 4. – С. 57-66.
  22. ГОСТ Р 53395-2009 Информатизация здоровья. Основные положения: государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации от 14 сентября 2009 г. N 400-ст: введен впервые : дата введения 2010-07-01 / разработан Федеральным государственным учреждением "Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения Федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию". – Москва : Стандартинформ, 2018.– Текст : непосредственный.
  23. Gatouillat, A. Internet of Medical Things: A Review of Recent Contributions Dealing With Cyber-Physical Systems in Medicine / A. Gatouillat, Y. Badr,

- B. Massot, E. Sejdić // IEEE Internet of Things Journal. – 2018. – V. 5. – № 5. – P. 3810-3822. – DOI 10.1109/IIOT.2018.2849014.
24. Vishnu, S. Internet of Medical Things (IoMT) – An overview / S. Vishnu, S. R. J. Ramson, R. Jegan // 5th International Conference on Devices, Circuits and Systems (ICDCS) (Coimbatore, India, 5-6 March 2020). – India: Coimbatore, 2020. – P. 101-104. – DOI 10.1109/ICDCS48716.2020.243558.
  25. Владзимирский, А. В. История телемедицины: люди, факты, технологии. – Донецк: ООО «Цифровая типография», 2008. – 82 с.
  26. Ахмед, А. А. Обзор современного состояния e-health / А. А. Ахмед, М. А. Блинников, Р. Я. Пирмагомедов, Р. И. Глушаков, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2017. – Т. 5. – № 3. – С. 1-13.
  27. Rooij, T. V. EHealth: Past and future perspectives / T. V. Rooij, S. Marsh // Personalized Medicine. – 2016. – Vol. 13. – № 1. – P. 57-70. – DOI 10.2217/pme.15.40.
  28. Mall, S. Diet monitoring and management of diabetic patient using robot assistant based on Internet of Things / S. Mall, M. Gupta, R. Chauhan // 2017 International Conference on Emerging Trends in Computing and Communication Technologies (ICETCCT 2017) (Society Area Clement Town, Dehradun, India, 17-18 November 2017). – India: Society Area Clement Town, Dehradun, 2018. – P. 1-8. – DOI 10.1109/ICETCCT.2017.8280339.
  29. Philip, N. Y. Internet of Things for In-Home Health Monitoring Systems: Current Advances, Challenges and Future Directions / N. Y. Philip, J. J. P. C. Rodrigues, H. Wang, S. J. Fong, J. Chen // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2021. – V. 39. – № 2. – P. 300-310. – DOI 10.1109/JSAC.2020.3042421.
  30. Захаров, М. В. Обзор текущих исследований в области mobile health / М. В. Захаров, Р. В. Киричек, А. Е. Кучерявый // Информационные

- технологии и телекоммуникации. – 2020. – Т. 8. – № 3. – С. 63-70.  
– DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-3-63-70.
31. Adibi, S. Mobile Health: A Technology Road Map / S. Adibi. – Springer Series in Bio-/Neuroinformatics. Springer, 2015. – P. 375. – DOI 10.1007/978-3-319-12817-7.
  32. Latif, S. Mobile Health in the Developing World: Review of Literature and Lessons From a Case Study / S. Latif, R. Rana, J. Qadir, A. Ali, M. A. Imran, M. S. Younis // IEEE Access. – 2017. – V. 5. – P. 11540-11556. – DOI 10.1109/ACCESS.2017.2710800.
  33. Cipresso, P. Is your phone so smart to affect your states? An exploratory study based on psychophysiological measures / P. Cipresso, S. Serino, D. Villani, C. Repetto, L. Selitti, G. Albani, A. Mauro, A. Gaggioli, G. Riva // Neurocomputing. – 2012. – №. 84. – P. 23–30. – DOI:10.1016/j.neucom.2011.12.027.
  34. Hernández-Neuta, I. Smartphone-based clinical diagnostics: towards democratization of evidence-based health care / I. Hernández-Neuta, F. Neumann, J. Brightmeyer, T. Ba Tis, N. Madaboosi, Q. Wei, A. Ozcan, M. Nilsson // Journal of internal medicine. – 2019. – №. 285(1). – P. 19–39. – DOI:10.1111/joim.12820.
  35. Yasudomi, K. Usage Prediction and Effectiveness Verification of App Restriction Function for Smartphone Addiction / K. Yasudomi, T. Hamamura, M. Honjo, A. Yoneyama, M. Uchida // 2020 IEEE International Conference on E-health Networking, Application & Services (HEALTHCOM) (Shenzhen, China, 1-2 March 2021). – China: Shenzhen, 2021. – PP. 1-8. – DOI 10.1109/HEALTHCOM49281.2021.9398974.
  36. Pinto, K.A. Diet & Exercise Classification using Machine Learning to Predict Obese Patient's Weight Loss / K.A. Pinto, N.L. Abdullah, P. Keikhosrokiani // 2021 International Congress of Advanced Technology and Engineering

- (ICOTEN) (Taiz, Yemen, 4-5 July 2021). – Yemen: Taiz, 2021. – P. 1-5. – DOI 10.1109/ICOTEN52080.2021.9493560.
37. Фокин, С. Ю. Обзор медицинских приложений, устройств и технологий связи Интернета вещей / С. Ю. Фокин, Р. В. Киричек // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016. – Т. 4. – № 4. – С. 67-80.
  38. Pathak, N. HeDI: Healthcare Device Interoperability for IoT-Based e-Health Platforms / N. Pathak, S. Misra, A. Mukherjee, N. Kumar // IEEE Internet of Things Journal. – 2021. – №. 8. – P. 16845-16852. – DOI 10.1109/IJOT.2021.3052066.
  39. Săndulescu, V. mHealth application for remote health monitoring useful during the COVID 19 pandemic / V. Săndulescu, S. Pușcoci, M. Petre, M. Dumitrache, V. Bota, A. Gîrlea // 2021 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) (Lausanne, Switzerland, 23-25 June 2021). – Switzerland: Lausanne, 2021. – P. 1-6. – DOI 10.1109/MeMeA52024.2021.9478717.
  40. Sharma, K. Internet of Healthcare Things Machine Learning for Security and Privacy / K. Sharma, Y. Gigras, D. Jude Hemanth, R. Chandra Poonia. – Hoboken (USA), Wiley-Scrivener Publishing, 2022. – 295 p. – ISBN 978-1-119-79176-8.
  41. Andrews, L. Consumer engagement with eHealth information through smartphones and tablets: An Australian perspective / L. Andrews, R. Gajanayake, T. Sahama // 2013 IEEE 15th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom 2013) (Lisbon, Portugal, 9-12 October 2013). – Portugal: Lisbon, 2013. – P. 523-527. – DOI 10.1109/HealthCom.2013.6720732.
  42. Qualinet White Paper on Definitions of Quality of Experience / K. Brunnström, K. De Moor, A. Doms, S. Egger-Lampl, M.-N. Garcia, T. Hossfeld, S. Jumisko-Pyykkö, C. Keimel, C. Larabi, B. Lawlor, P. Le Callet, S. Möller, F. Pereira, M. Pereira, A. Perkis, A. Pinheiro, U. Reiter, P. Reichl, R. Schatz,



- A. Zgank. – Novi Sad, Serbia, Qualinet, 2013. – 25 p.  
– URL <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00977812>.
43. Istepanian, R. S. H. Medical quality of service (m-QoS) and quality of experience (m-QoE) for 4G-health systems / R. S. H. Istepanian, A. Alinejad, N. Y. Philip // *Multimedia Networking and Coding*. – IGI Global, 2012. – p. 259-376. – DOI 10.4018/978-1-4666-2660-7.ch012.
  44. Шалагинов, А. О прогнозах отрасли на десятилетие // Каталог "Технологии и средства связи": [сайт]. – 2010. – URL <http://lib.tssonline.ru/articles2/pronsol/o-prognozah-otrasli-na-desyatiletie> (дата обращения: 10.03.2022)
  45. Гольдштейн, А. Б. Модели и методы управления инфокоммуникационными сетями : специальность 05.12.13 "Системы, сети и устройства телекоммуникаций" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Гольдштейн Александр Борисович. – Санкт-Петербург, 2019. – 281 с.
  46. Некрасова, Т. П. Прогнозирование рынка инфокоммуникационных услуг в России / Т. П. Некрасова, С. В. Пупенцова, Е. В. Гарцева // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки*. – 2018. – Т. 11. – № 5. – С. 46-55. – DOI 10.18721/JE.11504.
  47. Климанова, В. Д. Обзор отрасли m-health и рынка устройств и мобильных приложений для мониторинга состояния здоровья / В. Д. Климанова, Н. В. Смирнова // *Сборник научных трудов вузов России "Проблемы экономики, финансов и управления производством"*. – 2021. – № 49. – С. 86-92.
  48. Firouzi, F. Harnessing the Power of Smart and Connected Health to Tackle COVID-19: IoT, AI, Robotics, and Blockchain for a Better World / F. Firouzi, B. Farahani, M. Daneshmand, K. Grise, J. Song, R. Saracco, L. Wang, K. Lo, P. Angelov, E. Soares, P.-S. Loh, Z. Talebpour, R. Moradi, M. Goodarzi,

- H. Ashraf, M. Talebpour, A. Talebpour, L. Romeo, R. Das, A. Luo // IEEE Internet of Things Journal. – 2021. – V. 8. – №. 16. – P. 12826-12846. – DOI 10.1109/JIOT.2021.3073904.
49. Jain, P. A Novel Smart Healthcare System Design for Internet of Health Things / P. Jain, P. Chawla // 2021 International Conference on Innovative Computing, Intelligent Communication and Smart Electrical Systems (ICSES) (Chennai, India, 24-25 September 2021). – India: Chennai, 2021. – P. 1-8. – DOI 10.1109/ICSES52305.2021.9633869.
  50. Islam, M. N. A Review on the Mobile Applications Developed for COVID-19: An Exploratory Analysis / M. N. Islam, I. Islam, K. M. Munim A. K. M. N. Islam // IEEE Access. – 2020. – V. 8. – P. 145601-145610. – DOI 10.1109/ACCESS.2020.3015102.
  51. Stewart, C. Total global mHealth market forecast from 2016 to 2025. – Текст : электронный // Statista Inc : [сайт]. – 2018. – URL: <https://www.statista.com> (дата обращения: 10.03.2022).
  52. mHealth Market Size, Share & Forecast. – Текст : электронный // Global Market Insights Inc.: [сайт] – 2021. – URL: <https://www.gminsights.com/industryanalysis/mhealth-market> (дата обращения: 10.03.2022).
  53. Reddy, A. B. Non-Invasive Blood Glucose Level Monitoring Using IoT / A.B. Reddy, A.K. Sai, A. Sivasangari // 2020 4th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI) (Tirunelveli, India, 15-17 June 2020). – India: Tirunelveli, 2020. – P. 1069-1073. – DOI:10.1109/ICOEI48184.2020.9142887.
  54. Lazarjan, V. K. Miniature Fiber-Spectrophotometer for Real-Time Biomarkers Detection / V. K. Lazarjan, A. B. Gashti, M. Feshki, A. Garnier, B. Gosselin // IEEE Sensors Journal. – 2021. – V. 21. – №. 13. – P. 14822-14837. – DOI 10.1109/JSEN.2021.3072578.

55. Das, A. J. Ultra-portable wireless smartphone spectrometer for rapid non-destructive testing of fruit ripeness / A. J. Das, A. Wahi, I. Kothari, R. Raskar — Текст : электронный // Scientific Reports [сайт]. – 2016. – V. 6. – URL: <https://www.nature.com/articles/srep32504#citeas> (дата обращения: 10.03.2022).
56. Thong, Y. J. Predicting food nutrition facts using pocket-size near-infrared sensor / Y. J. Thong, T. Nguyen, Q. Zhang, M. Karunanithi, L. Yu // 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (Jeju, Korea (South), 11-15 July 2017). – Korea (South): Jeju, 2017. – P. 742-745. – DOI 10.1109/EMBC.2017.8036931.
57. Grossi, M. Practical Determination of Solid Fat Content in Fats and Oils by Single-Wavelength Near-Infrared Analysis / M. Grossi, E. Valli, V.T. Glicerina, P. Rocculi, T.G. Toschi, B. Riccò // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement – 2020. – V. 69, – № 2. – P. 585-592. – DOI 10.1109/TIM.2019.2901605.
58. Rateni, G. Smartphone-Based Food Diagnostic Technologies: A Review / G. Rateni, P. Dario, F. Cavallo // Sensors (Basel, Switzerland) [сайт]. – 2017. – V. 17. – № 6. – URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/6/1453/htm> (дата обращения: 10.03.2022).
59. Бёккер, Ю. Спектроскопия / Ю. Беккер : пер. с нем. Л. Н. Казанцевой под ред. А. А. Пупышева, М. В. Поляковой. – М.: Техносфера, 2009. – 528 с.
60. Kyprianidis, K. G. Developments in Near-Infrared Spectroscopy / K. G. Kyprianidis, J. Skvaril. – London: IntechOpen, 2017. – 152 p. – ISBN: 978-3-319-12817-7. – Springer. – URL: <https://www.intechopen.com/books/5437> (дата обращения: 10.03.2022). – Текст : электронный.
61. Захаров, М. В. Анализ лекарственных средств на базе ССОП с применением методов инфракрасной микроспектроскопии / М. В. Захаров, Р. В. Киричек // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и

- образовании (АПИНО 2020) : IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция : сборник научных статей, Санкт-Петербург, 26–27 февраля 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2020. – С. 478-481.
62. Laganovska, K. Portable low-cost open-source wireless spectrophotometer for fast and reliable measurements / K. Laganovska, A. Zolotarjovs, M. Vázquez, K. M. Donnell, J. Liepins, H. Ben-Yoav, V. Karitāns, K. Smits – Текст : электронный // HardwareX. – 2020. – V. 7. – Elsevier Inc. – URL: [https://www.hardware-x.com/article/S2468-0672\(20\)30016-X/fulltext](https://www.hardware-x.com/article/S2468-0672(20)30016-X/fulltext) (дата обращения: 10.03.2022).
  63. Baik, K.-J. Pharmaceutical tablet classification using a portable spectrometer with combinations of visible and near-infrared spectra / K.-J. Baik, J. H. Lee, Y. Kim, B.-J. Jang // 2017 Ninth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN) (Milan, Italy, 4-7 July 2017). – Italy: Milan, 2017. – P. 1011 – 1014. — DOI 10.1109/ICUFN.2017.7993951.
  64. García-Esteban, J. A. A digitalization strategy for quality control in food industry based on Artificial Intelligence techniques / J. A. García-Esteban, B. Curto, V. Moreno, I. González-Martín, I. Revilla, A. Vivar-Quintana // 2018 IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN) (Porto, Portugal, 18-20 July 2018). – IEEE, 2018. – P. 221-226. – DOI 10.1109/INDIN.2018.8471994.
  65. Buzura, L. Python based portable system for fast characterisation of foods based on spectral analysis / L. Buzura, M. L. Budileanu, A. Potarniche, R. Galatus // 27th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME) (Timisoara, Romania, 27-30 October 2021). – IEEE, 2021 – P. 275-280. – DOI 10.1109/SIITME53254.2021.9663677.

66. Nima, the world's first connected food sensor. – Текст : электронный // Nima Labs, Inc: [сайт]: – 2022. – URL : <https://blog.nimasensor.com> (дата обращения: 10.03.2022).
67. Nima Peanut Sensor's Final Performance Results. – Текст : электронный // Nima Labs, Inc: [сайт] – 2022. – URL : <https://blog.nimasensor.com/2018/08/15/nima-peanut-assessment/> (дата обращения: 10.03.2022).
68. Taylor, S.L. Evaluation of a Handheld Gluten Detection Device / S. L. Taylor, J. A. Nordlee, S. Jayasena, J. L. Baumert // Journal of Food Protection. – 2018. – V. 81. – № 10. – P. 1723–1728. – DOI 10.4315/0362-028X.JFP-18-184.
69. Lerner, B. A. Detection of Gluten in Gluten-Free Labeled Restaurant Food: Analysis of Crowd-Sourced Data / B. A. Lerner, L. T. Phan Vo, S. Yates, A. G. Rundle, P. Green, B. Lebwohl // The American journal of gastroenterology. – 2019. – V. 114(5). – P. 792–797. – DOI 10.14309/ajg.0000000000000202.
70. Nima: The Portable Food Sensor. – Текст : электронный // Google Play: [сайт] – 2022. – URL <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.nimasensor.android.nima> (дата обращения: 10.03.2022).
71. FOODsniffer – a smart kitchen tool to enjoy meals safely. – Текст : электронный // ARS Labs [сайт]. – 2021. – URL : <https://www.myfoodsniffer.com> (дата обращения: 10.03.2022).
72. SCiO – The World's First Pocket Sized Molecular Sensor. – Текст : электронный // Consumer Physics: [сайт]. – 2021. – URL : <https://www.consumerphysics.com> (дата обращения: 10.03.2022).
73. Li, M. Evaluating the performance of a consumer scale SCiO™ molecular sensor to predict quality of horticultural products / M. Li, Z. Qian, B. Shi, J. Medlicott, A. East // Postharvest Biology and Technology. –2018. – V. 145. – P. 183-192. – ISSN 0925-5214.

74. Donis-González, I. R. Performance Evaluation of Two Commercially Available Portable Spectrometers to Non-Invasively Determine Table Grape and Peach Quality Attributes / I. R. Donis-González, C. Valero, M. A. Momin, A. Kaur, D. C. Slaughter – Текст : электронный // Agronomy (MDPI) [сайт]. – 2020. – № 10(1). – URL : <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/1/148/htm> (дата обращения: 10.03.2022).
75. McVey, C. Assessment of the Analytical Performance of Three Near-Infrared Spectroscopy Instruments (Benchtop, Handheld and Portable) through the Investigation of Coriander Seed Authenticity / C. McVey, U. Gordon, S. A. Haughey, C. T. Elliott. – Текст : электронный // Foods (MDPI) [сайт]. – 2021. – № 10(5). – URL : <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/5/956/htm> (дата обращения: 10.03.2022).
76. Bickler, M. P. Accuracy of detection of carboxyhemoglobin and methemoglobin in human and bovine blood with an inexpensive, pocket-size infrared scanner / M. P. Bickler, L. J. Rhodes. – Текст : электронный // PLOS ONE : [сайт]. – 2018. – V. 13(3). – URL : <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0193891> (дата обращения: 10.03.2022).
77. Let's LinkSquare. – Текст : электронный // Stratio, Inc. : [сайт]. – 2020. – URL : <https://linksquare.io> (дата обращения: 10.03.2022).
78. Rife, T. W. Prospector: A mobile application for portable, high-throughput near-infrared spectroscopy phenotyping / T. W. Rife, C. Courtney, J. Hershberger, M. A. Gore, M. Neilsen, J. Poland. – Текст : электронный // The Plant Phenome Journal : [сайт]. – 2021. – URL : <https://doi.org/10.1002/ppj2.20024> (дата обращения: 10.03.2022).
79. You, H. Classification of food powders using handheld NIR spectrometer / H. You, Y. Kim, J. H. Lee, S. Choi // 2017 Ninth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN) (Milan, Italy, 4-7 July 2017). – IEEE, 2017. – P. 732-734. – DOI 10.1109/ICUFN.2017.7993887.

80. Tellspec scanner. Empowering a Healthier World with Real-Time AI-Analysis Using Portable Low-Cost Sensors. – Текст : электронный // Tellspec Inc : [сайт]. – 2020. – URL : <https://www.tellspec.com> (дата обращения: 10.03.2022).
81. Beć, K. B. Insect Protein Content Analysis in Handcrafted Fitness Bars by NIR Spectroscopy. Gaussian Process Regression and Data Fusion for Performance Enhancement of Miniaturized Cost-Effective Consumer-Grade Sensors / K. B. Beć, J. Grabska, N. Plewka, C. W. Huck. – Текст : электронный // Molecules (MDPI) : [сайт]. – 2021. – № 26(21). – URL : <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/21/6390/htm> (дата обращения: 10.03.2022).
82. Jahani, R. Novel Application of Near-infrared Spectroscopy and Chemometrics Approach for Detection of Lime Juice Adulteration / R. Jahani, H. Yazdanpanah, S. van Ruth, F. Kobarfard, M. Alewijn, A. Mahboubi, M. Faizi, M. AliAbadi Shojaei, J. Salamzadeh. – Текст : электронный // Iranian Journal of Pharmaceutical Research: [сайт]. – 2020. – № 19(2). – P. 34-44. – URL [http://ijpr.sbm.ac.ir/article\\_1101070.html](http://ijpr.sbm.ac.ir/article_1101070.html) (дата обращения: 10.03.2022).
83. Spectral Evolution : [сайт] / Spectral Evolution. – URL: <https://spectralevolution.com/products/hardware/field-portable-spectroradiometers-for-remote-sensing/> (дата обращения: 10.03.2022). – Яз. англ.. – Текст : электронный.
84. Zhang, H. Laser Applications in Food and Infectious Disease Monitoring / H. Zhang, H. Y. Lin, W. S. Li, T. Q. Li, S. Svanberg, K. Svanberg // Asia Communications and Photonics Conference (Wuhan, China, 2–5 November 2016). – Optica Publishing Group, 2016. – ISBN: 978-0-9600380-0-8.
85. Das, D. Discrimination of Various Clones of Black Tea Using NIR Spectroscopy // D. Das, S. Nag, H. Naskar, A. K. Hazarika, R. B. Roy, S. Sabhapondit, B. Tudu, R. Bandyopadhyay // 2020 International Conference

- on Emerging Frontiers in Electrical and Electronic Technologies (ICEFEET) (Patna, India, 10-11 July 2020). – 2020. – P. 1-3. – DOI 10.1109/ICEFEET49149.2020.9186954.
86. The 117th Canton Fair Changhong Make Your Imagination Fly. – Текст : электронный // Changhong : [сайт]. – 2022. – URL : <http://changhongglobal.net/newsInfo.aspx?id=120> (дата обращения: 10.03.2022).
  87. Changhong H2, World's First Molecular Identification and Sensing Smartphone with a Miniaturized, Integrated Material Sensor, Unveiled at CES. – Текст : электронный // Consumer Physics : [сайт]. – 2021. – URL : <https://www.consumerphysics.com/business/blog/changhong-h2-worlds-first-molecular-identification-sensing-smartphone-miniaturized-integrated-material-sensor-unveiled-ces-2/> (дата обращения: 10.03.2022).
  88. Нимейер, П. Программирование на Java / П. Нимейер, Д. Леук; [пер. с англ. М. А. Райтмана]. — Москва : Эксмо, 2014. — 1216 с. — (Мировой компьютерный бестселлер).
  89. ГОСТ Р 51433-99. Соки фруктовые и овощные. Метод определения содержания растворимых сухих веществ рефрактометром = Fruit and vegetable juices. Method for determination of soluble solids content with refractometer: государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 22 декабря 1999 г. N 588-ст: введен впервые : дата введения 2001-01-01 / разработан Всероссийским научно-исследовательским институтом консервной и овощесушильной промышленности (ВНИИКОП). — Москва : Стандартинформ, 2008. — IV, 7, с. ; 29 см. — Текст : непосредственный.
  90. ITU-T E.860. Framework of a service level agreement. — Appr. 2002-06-29. — Geneva: ITU-T. — 2002. — 30 p.



91. Strickland, E. Their bionic eyes are now obsolete and unsupported. Second Sight left users of its retinal implants in the dark / E. Strickland, M. Harris. – Текст : электронный // Spectrum : [сайт]. – 2022. – URL : <https://spectrum.ieee.org/bionic-eye-obsolete> (дата обращения: 10.03.2022).
92. ITU-T Recommendations by series: H series: Audiovisual and multimedia systems. – Текст : электронный // ITU : [сайт]. – 2022. – URL : <https://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=H> (дата обращения: 10.03.2022).
93. IEEE Approved Draft Standard for Mobile Health Data / IEEE P1752/D3. – Apr. 16 September 2021. – 24 p.
94. Galetsi, P. Assessing Technology Innovation of Mobile Health Apps for Medical Care Providers / P Galetsi, K. Katsaliaki, S. Kumar // IEEE Transactions on Engineering Management ( Early Access ). – 2022. – P. 1-18. – ISSN 0018-9391. – DOI 10.1109/TEM.2022.3142619.
95. Calado, M. P. Integrated System for Health Services Management / M. P. Calado, A. Ramos, D. Fabiano // 2018 IST-Africa Week Conference (IST-Africa) (Gaborone, Botswana, 09 - 11 May). – 2018. – P. 1-5.
96. Jerger, M. Memoirs of an ehealth device development / M. Jerger, R. Ganton, K. Senthil // 2011 IEEE 13th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Columbia, USA, 13-15 June 2011). – 2011. – P. 332-337. – DOI 10.1109/HEALTH.2011.6026774.
97. Campbell, D. A novel ontology-based approach to personalised mHealth application development / D. Campbell, E. Pereira // SAI Computing Conference (SAI) (London, United Kingdom, 13-15 July 2016) – London, UK: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016. – P. 985-989. – DOI 10.1109/SAI.2016.7556099.
98. Zakharov, M. Model networks for Internet of Things and SDN / R. Kirichek, A. Vladyko, M. Zakharov, A. Koucheryavy // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT) (Pyeongchang, South Korea,

- 31 January – 03 February 2016). – Pyeongchang, South Korea: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016. – P. 76-79. – DOI 10.1109/ICACT.2016.7423280.
99. Васильев, А. Б. Тестирование сетей связи следующего поколения / А. Б. Васильев, Д. В. Тарасов, Д. В. Андреев, А. Е. Кучерявый – М.: ФГУП ЦНИИС, 2008. – 140 с.
  100. Владимиров, С. С. Модельная сеть для исследования многоадресной передачи на основе методов сетевого кодирования / С. С. Владимиров, А. И. Фомин // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2021) : сборник научных статей: в 4 т., Санкт-Петербург, 24–25 февраля 2021 года / Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2021. – С. 173-178.
  101. Ермоленко, Д. В. Исследование модельной сети для оркестрации сервисов Интернета вещей на основе Kubernetes / Д. В. Ермоленко, К. Х. Киличева, А. А. Хакимов, А. С. А. Мутханна // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2020. – Т. 8. – № 4. – С. 69-82. – DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-4-69-82.
  102. Андреев, Д. В. Модельная сеть, как инструментарий для решения научно-технических задач / Д. В. Андреев, Д. В. Тарасов // Электросвязь. – 2008. – № 10. – С. 24-26.
  103. Кучерявый, А. Е. Модельная сеть для исследований и обучения в области услуг телеприсутствия / А. Е. Кучерявый, М. А. Маколкина, А. И. Парамонов, А. И. Выборнова, А. С. Мутханна, А. Ю. Матюхин, Р. А. Дунайцев, С. С. Владимиров, О. И. Ворожейкина, М. В. Захаров, В. Д. Фам, А. В. Марочкина, Л. С. Горбачева, Б. О. Паньков,

- Б. Н. Анваржонов // Электросвязь. – 2022. – № 1. – С. 14-20. – DOI 10.34832/ELSV.2022.26.1.001.
104. Захаров, М. В. Использование программного обеспечения EVE-NG для эмуляции телекоммуникационного оборудования при обучении студентов / М. В. Захаров, Р. В. Киричек // 73-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио : сборник трудов 73-я Всероссийской научно-технической конференции, посвященной Дню радио, Санкт-Петербург, 20–28 апреля 2018 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), 2018. – С. 211-212.
105. МСЭ-Т Q.3900. Методы тестирования и архитектура модельных сетей для тестирования технических средств СПП, используемых в сетях электросвязи общего пользования. – Введ. 2006-09-29. – М.: МСЭ-Т. – 2006. – 29 с.
106. Кучерявый, А. Е. Эволюция модельных сетей / А. Е. Кучерявый, Р. В. Киричек // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016. – № 3. – Т 4. – С. 58-64.
107. Захаров, М. В. Виртуальные модельные сети на базе эмулятора UNetLab / М. В. Захаров, Р. В. Киричек, А. Е. Кучерявый // 72-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио. – СПб.: СПбГЭУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2017. – С. 183-185.
108. Захаров, М. В. Разработка виртуальной гетерогенной модельной сети для тестирования оборудования и приложений Интернета вещей / М. В. Захаров, Р. В. Киричек // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016. – Т. 4. – № 4. – С. 24–32.
109. Шалагинов, В. А. Виртуальная лаборатория как инструмент для удаленного тестирования / В. А. Шалагинов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7. – № 7. – С. 135-137.

110. Copper Taps. – Текст : электронный // Keysight Technologies : [сайт]. – URL : <https://www.keysight.com/ru/ru/products/network-visibility/network-taps/copper-taps.html> (дата обращения: 10.03.2022).
111. ГОСТ 19.301-79. Единая система программной документации. Программа и методика испытаний. Требования к содержанию и оформлению : межгосударственный стандарт : дата введения 1981-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 3 с.
112. ГОСТ Р 2.106-2019. Единая система конструкторской документации. Текстовые документы : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2019-04-29/ Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 36 с.
113. ГОСТ Р 15.301-2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2017-07-01/ Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 15 с.
114. Комплексная методика тестирования фрагмента программно-конфигурируемой сети / А. Г. Владыко, Р. В. Киричек, М. А. Великоречин, Д. И. Думин // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – Т. 3. – № 2. – С. 20-29.
115. Кулик, В. А. Методы комплексного тестирования устройств Интернета вещей / В. А. Кулик, А. И. Выборнова // В сборнике: распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2016). – 2016. – Т. 3.– С. 305-312. – 499 с.
116. What Is Bluetooth HCI Snoop Log? – Текст : электронный // MyBluetoothReviews : [сайт]. – URL:

- <https://www.mybluetoothreviews.com/what-is-bluetooth-hci-snoop-log/> (дата обращения: 10.03.2022).
117. Sniffer Wicap Pro. – Текст :электронный // Google Play : [сайт]. – URL : <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.evbadroid.wicap> (дата обращения: 10.03.2022).
  118. Wireshark [сайт]: Wireshark Foundation, 2021. – URL : <https://www.Wireshark.org> (дата обращения: 10.03.2022). – Текст. Изображение : электронные.
  119. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Юбилейное издание. – СПб.: Питер, 2020. – 1008 с.: ил. – (Серия «Учебник для вузов»).
  120. Соколов, Н. А. Задачи планирования сетей электросвязи. – СПб.: Техника связи, 2012. – 432 с.
  121. Лихтциндер, Б. Я. Трафик мультисервисных сетей доступа (интервальный анализ и проектирование). – М.:Горячая Линия - Телеком, 2019. – 290 с.: ил. – ISBN 978-5-9912-0742-3.
  122. Поршневу, С. В. Математические модели информационных потоков в высокоскоростных магистральных интернет-каналах. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2016. – 232 с.: ил. – ISBN 978-5-9912-0508-5.
  123. Шелухин, О. И. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения / О. И. Шелухин, А. В. Осин, С. М. Смольский / Под ред. О. И. Шелухина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368 с. – ISBN 978-5-9221-0949-9.
  124. Захаров, М. В. Анализ трафика, генерируемого при предоставлении услуги молекулярного анализа на базе ССОП / М. В. Захаров, А. Е. Кучерявый, Р. В. Киричек // Электросвязь. – 2020. – № 9. – С. 58-63. – DOI 10.34832/ELSV.2020.10.9.007.

125. Вадзинский, Р. Н. Справочник по вероятностным распределениям / Р. Н. Вадзинский. – СПб.: Наука. – 2001. – 295 с.
126. Лемешко, Б. Ю. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим: Методические рекомендации. Часть II. Непараметрические критерии / Б. Ю. Лемешко, С. Н. Постовалов – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. – 85 с. (С. 90 – с дополнениями).
127. Hurst, H. E. Long-term storage capacity of reservoirs. / H. E. Hurst // Trans. Am. Soc. Civ. Eng. – 1951. – P. 116. – PP. 770-799.
128. Кожанов, Р. В. Показатель Хёрста как мера хаотичности временного ряда / Р. В. Кожанов, И. М. Ткаченко, Е. Р. Кожанова // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2020. – № 2(85). – С. 38-41.
129. Калущ, Ю. А. Показатель Херста и его скрытые свойства / Ю. А. Калущ, В. М. Логинов // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2002. – Т. 5. – № 4(12). – С. 29-37.
130. Шелухин, О. И. Причины самоподобия телетрафика и методы оценки показателя Херста / О. И. Шелухин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2007. – Т. 3. – № 1. – С. 5-14.
131. Боровиков, И. М. Показатель Хёрста: способы, расчеты и возможности использования в задачах портфельного инвестирования / И. М. Боровиков, Т. В. Куликова, В. И. Тинякова // Современная экономика: проблемы и решения. – № 10 (22). – 2011. – 181 с. – С. 125–143.
132. Теплов, С. Е. Применение R/S-анализа на фондовых рынках / С. Е. Теплов // Финансы и бизнес. – 2008. – № 1. – С. 129-137.
133. Шелухин, О. И. Мультифракталы. Инфокоммуникационные приложения / О. И. Шелухин. – М.: Горячая линия - Телеком. – 2014. – 579 с. – ISBN 978-5-9912-0142-1.
134. Contreras-Cristán, A. A Note on Whittle's Likelihood / A. Contreras-Cristán, E. Gutiérrez-Peña, S. G. Walker // Communications in Statistics – Simulation

- and Computation. – 2006. – V. 35. – № 4. – P. 857–875. – DOI 10.1080/03610910600880203.
135. Выборнова, А. И. Методы определения степени самоподобия и долговременной зависимости трафика / А. И. Выборнова, А. Е. Кучерявый / Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей (АПИНО 2014). – 2014. – 1291 с. – С. 230-235.
  136. Willinger, W. Bibliographical guide to self-similar traffic and performance modeling for modern high-speed network in «Stochastic networks: theory and applications» / W. Willinger, M. S. Taqqu, A. A. Erramilli. – Oxford: Claredon Press, 1996. – 286 p.
  137. Кулик, В. А. Программа для расчета коэффициента Хёрста // Облачная система контроля версий Bitbucket. — URL: <https://bitbucket.org/vslavk/luahurst/src/master/> (дата обращения 10.03.2022).
  138. Гольдштейн, Б. С. Сети связи: Учебник для ВУЗов / Б. С. Гольдштейн, Н. А. Соколов, Г. Г. Яновский. – СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2010. – 400 с., ил.
  139. Гольдштейн, Б. С. Сигнализация в сетях связи / Б. С. Гольдштейн. – Т. 1. 4-е издание – СПб.:БХВ–Санкт-Петербург, 2005. – 448 с.: ил.
  140. Mikosch, Th. Is network traffic approximated by stable Levy motion or fractional Brownian motion? / Th. Mikosch, S. Resnick, H. Rootzen, A. Stegeman // Annals of Applied Probability. – 2002. – V. 12, – № 1. – P. 23-68.
  141. Захаров, М. В. Особенности молекулярного анализа как услуги ССОП в реальном времени / М. В. Захаров // Электросвязь. – 2021. – № 11. – С. 26-31. – DOI 10.34832/ELSV.2021.24.11.002.
  142. Ивченко, Г. И. Теория массового обслуживания: Учеб. пособие для вузов / Г. И. Ивченко, В. А. Каштанов, И. Н. Коваленко. – М.: Высшая школа, 1982. – 256 с.

143. Кельтон, В., Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. / В. Кельтон, А. Лоу — СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. — 847 с.: ил. — ISBN 5-94723-981-7.
144. ns-3 Network Simulator // nsnam : [сайт]. — 2022. — URL : <https://www.nsnam.org> (дата обращения: 10.03.2022).
145. Riverbed Modeler — The fastest discrete event-simulator for network modeling. — Текст :электронный // Riverbed Technology : [сайт]. — 2022. — URL : <https://www.riverbed.com/en-gb/products/npm/riverbed-modeler.html> (дата обращения: 10.03.2022).
146. Mathcad: Math Software for Engineering Calculations // PTC, Inc [сайт]. — 2022. — URL : <https://www.mathcad.com/en> (дата обращения: 10.03.2022).
147. Simul8 — Intuitive simulation software packed with powerful features // Simul8 Corporation : [сайт]. — 2021. — URL : <https://www.simul8.com/software/> (дата обращения: 10.03.2022).
148. Scilab — Open source software for numerical computation // Scilab : [сайт]. — 2022. — URL <https://www.scilab.org> (дата обращения: 10.03.2022).
149. Якимов, И. М. Сравнение систем структурного и имитационного моделирования вероятностных объектов / И. М. Якимов, А. П. Кирпичников, В. В. Мокшин, З. Т. Яхина // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2017) : Материалы XVI Международной конференции имени А. Ф. Терпугова, Казань, 29 сентября — 03 октября 2017 года. — Казань: Издательство научно-технической литературы, 2017. — С. 204-215.
150. Журавлев, С. С. Краткий обзор методов и средств имитационного моделирования производственных систем / С. С. Журавлев // Проблемы информатики. — 2009. — № 3(4). — С. 47-53.
151. AnyLogic Simulation Software — Make intelligent decisions // The AnyLogic Company : [сайт]. — 2022. — URL <https://www.anylogic.com> (дата обращения: 10.03.2022).



152. Borshchev, A. Multi-method modelling: AnyLogic / A. Borshchev //in book: Discrete-Event Simulation and System Dynamics for Management Decision Making. – Wiley, 2014. – P. 248-279. – ISBN: 9781118349021. – DOI 10.1002/9781118762745.ch12.
153. Парамонов, А. И. Математические модели в сетях связи: Учебное пособие. Часть 1 / А. И. Парамонов, М. А. Маколкина, Р. В. Киричѐк, А. И. Выборнова, Е. Г. Богданова. – СПб ГУТ, 2018. – 111 с.
154. Климов, Г. П. Теория массового обслуживания / Г. П. Климов. – М.: МГУ, 2011. – 312 с.
155. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
156. Zakharov, M. Prototype Design and Experimental Evaluation e-Healthcare System based on Molecular Analysis Devices / M. Zakharov, A. Paramonov, A. Muthanna, R. Kirichek // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2021. – V. 12. – № 8. – P. 52-59. – DOI 10.14569/IJACSA.2021.0120807.
157. Кашкаров, Д. В. Анализ приложений и перспектив развития технологий граничных вычислений с множественным доступом в сетях связи / Д. В. Кашкаров, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2020. – Т. 8. – № 1. – С. 28-33. – DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-28-33.
158. Vladyko, A. Distributed edge computing to assist ultra-low-latency VANET applications / A. Vladyko, A. Khakimov, A. Muthanna et al. // Future Internet. – 2019. – V. 11. – № 6. – P. 128.
159. Mobile Edge Computing: Survey and Research Outlook / Y. Mao, C. You, J. Zhang, K. Huang, K. Letaief. – IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017. — ЭБС researchgate.net. — URL: [https://www.researchgate.net/publication/312061424\\_Mobile\\_Edge\\_Computing](https://www.researchgate.net/publication/312061424_Mobile_Edge_Computing)

- \_Survey\_and\_Research\_Outlook#fullTextFileContent (дата обращения: 10.03.2022). — Текст : электронный.
160. Mobile-Edge Computing : Introductory Technical White Paper / M. Patel, Y. Hu, P. Hédé, J. Joubert, C. Thornton, B. Naughton, J. Ramos, C. Chan, Y. Valerie, J. T. Soo, L. Daniel, N. Sprecher, T. Musiol, C. Cosimini, U. Manzanares, S. Rauschenbach, L. Abeta, K. Chen, A. Shimizu, P. Neal, A. Pollard, G. Klas // ETSI. – 2014. – 36 p.
  161. Mobile Edge Computing. A key technology towards 5G. ETSI White Paper / Y. Chao Hu, M. Patel, D. Sabella, N. Sprecher, V. Young. – ETSI, 2015. – ISBN 979-10-92620-08-5. – URL : [https://yucianga.info/wp-content/uploads/2015/11/Ref02-2015-09-etsi\\_wp11\\_mec\\_a\\_key\\_technology\\_towards\\_5g.pdf](https://yucianga.info/wp-content/uploads/2015/11/Ref02-2015-09-etsi_wp11_mec_a_key_technology_towards_5g.pdf) (дата обращения: 10.03.2022). – Текст : электронный.
  162. Collaborative Mobile Edge Computing in 5G Networks: New Paradigms, Scenarios, and Challenges / T. X. Tran, A. Hajisami, P. Pandey, D. Pompili // IEEE Communications Magazine. – 2017. – V. 55. – № 4. – P. 54–61. – DOI 10.1109/mcom.2017.1600863.
  163. 5G PPP Architecture Working Group - View on 5G Architecture, Version 3.0 / S. Redana, Ö. Bulakci, C. Mannweiler, L. Gallo, A. Kousaridas, D. Navrátil, A. Tzanakaki, J. Gutiérrez, H. Karl, P. Hasselmeyer, A. Gavras, S. Parker, E. Mutafulungwa. – 5GPPP Architecture Working Group, 2020. – P. 182. – ЭБС Zenodo.org. – URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3265031> (дата обращения: 10.03.2022). – Текст : электронный.
  164. Бородин, А. С. Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики / А. С. Бородин, А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2017. – № 5. – С. 45-49.
  165. Метод выбора размеров цифровых кластеров сетей с ультрамалыми задержками / Н. А. Чистова, А. И. Парамонов, А. И. Выборнова,

- А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2021. – № 4. – С. 43-48.  
– DOI 10.34832/ELSV.2021.17.4.005.
166. Кристофидес, Теория графов. Алгоритмический подход. / Н. Кристофидес  
– М.: Мир, 1978. – 432 с.
167. Майника, Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах / Э. Майника.  
– М.: Мир, 1981. – 324 с.
168. Johnson, D. B. Efficient algorithms for shortest paths in sparse graph /  
D. B. Johnson // Journal of the ACM (JACM). – 1977. – № 24. – P. 1–13.
169. Introduction to Algorithms. Third Edition / T. H. Cormen, C. E. Leiserson,  
R. L. Rivest, C. Stein – Cambridge, Massachusetts; London, England : The MIT  
Press, 2009. – 1313 p. – ISBN 978-0-262-03384-8.
170. Блинов, И. В. Обобщение алгоритма Флойда-Уоршалла на случай  
нескольких критериев / И. В. Блинов, Ю. В. Бугаев, С. В. Чикунов //  
Вестник Тамбовского государственного технического университета.  
– 2009. – Т. 15. – № 4. – С. 885-892.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВ МОБИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ЗДОРОВЬЯ (М-HEALTH) НА БАЗЕ МОДЕЛЬНОЙ СЕТИ**

### **1. Программа испытаний**

#### **1.1 Общие положения**

Программа и методика испытаний устройств мобильного электронного здоровья (m-Health)<sup>14</sup> на базе модельной сети разработана на основе ГОСТ 19.301-79 «Программа и методика испытаний, требования к содержанию и оформлению», ГОСТ Р 2.106-2019 «Единая система конструкторской документации. Текстовые документы», ГОСТ Р 15.301-2016 «Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство» и предназначена для проведения натурных испытаний, измерений технических характеристик, а также перехвата генерируемого в процессе предоставления услуги m-Health сетевого трафика на базе модельной сети.

При разработке методики также использовалась спецификация МСЭ-Т Q.3900 «Методы тестирования и архитектура модельных сетей для тестирования технических средств СПП, используемых в сетях электросвязи общего пользования».

Представленная программа и методика испытаний может быть использована учеными, исследователями, разработчиками, специалистами по тестированию и внедрению устройств и систем m-Health.

При необходимости методика может быть обобщена для проведения испытаний любых типов устройств и систем m-Health.

---

<sup>14</sup> Под устройством m-Health понимается комплект оборудования, поставляемый производителем, который включает само устройство и прикладное ПО, а также дополнительное оснащение, соединительные провода и кабели (при наличии).

## **1.2 Объект испытаний и его назначение**

Объектом испытаний являются персональные портативные устройства m-Health: инфракрасный микроспектрометр SCiO производства компании Consumer Physics, инфракрасный микроспектрометр Link Square производства компании Stratio, Inc.

Данные устройства предназначены для предоставления услуги молекулярного анализа автономно (во взаимодействии с терминалом пользователя) или во взаимодействии с сетевой и серверной инфраструктурой ССОП.

## **1.3 Цель и задачи испытаний**

Целью испытаний является исследование устройств m-Health, обеспечивающих предоставление услуги молекулярного анализа продуктов питания и т.д.

Задачами испытаний являются:

- Проверка заявленных производителем технических характеристик;
- Исследование особенностей работы устройств m-Health;
- Перехват генерируемого в процессе предоставления услуги m-Health сетевого трафика для последующего изучения.

## **1.4 Перечень предъявляемых на испытания документов**

Документация, используемая при проведении испытаний:

- Программа и методика испытаний;
- Протокол проведения испытаний;
- Описание и/или техническая документация на исследуемое оборудование;
- Описание и/или техническая документация на программное, аппаратное и программно-аппаратное обеспечение, используемое при проведении испытаний.

### **1.5 Место проведения испытаний**

На территории ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича" в лаборатории Интернета вещей кафедры Сетей связи и передачи данных.

### **1.6 Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний**

Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях по ГОСТ 22261-94.

Условия проведения испытаний:

- Температура окружающего воздуха:  $20 \pm 5$  °С;
- Относительная влажность: от 30 до 80%;
- Атмосферное давление: от 84 до 106 кПа;
- Частота питающей электросети:  $50 \pm 1$  Гц;
- Напряжение сети электропитания (переменного тока):  $220 \pm 22$  В.

### **1.7 Требования безопасности**

При проведении испытаний необходимо обеспечить соблюдение требований безопасности, установленных в ГОСТ 12.2.007.0-75 «Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей».

### **1.8 Материально-техническое обеспечение испытаний**

Для проведения испытаний используется следующее материально-техническое обеспечение:

- Смартфон на базе ОС Android 5.0 (и выше) или ОС iOS 10 (и выше);
- Wi-Fi маршрутизатор с поддержкой технологии IEEE 802.11 b/g/n;
- Ответвитель сетевого трафика с поддержкой технологии IEEE 802.3;

- ПК / ноутбук с ОС MS Windows 7 (и выше) или Mac OS V10.11 (и выше);
- Шлюз доступа в ССОП;
- ПО Wireshark, Wicap, Bluetooth HCI Logger.

Допускается замена компонентов материально-технического обеспечения на аналогичное, обеспечивающее проведение полного объема испытаний с необходимой точностью измерений.

## 1.9 Объем испытаний

Перечень испытаний и проверок устройств m-Health в рамках настоящей ПМИ приведен в табл. А1.

Таблица А1 – Перечень испытаний и проверок

№	Наименование испытаний и проверок	Пункт методики	Примечание <sup>15</sup>
1	Проверка комплектности	2.2	
2	Проверка соответствия технической документации	2.3	
3	Проверка схемы подключения	2.4	
4	Проверка возможности калибровки и самонастройки	2.5	*
5	Проверка электропитания и времени автономной работы	2.6	
6	Проверка работы устройства на базе модельной сети (с перехватом генерируемого сетевого трафика)	2.7	

## 2. Методика испытаний

### 2.1 Подготовка к испытаниям

Перед началом проведения испытаний необходимо проверить помещение лаборатории на соответствие требованиям к условиям, обеспечению и проведению испытаний, проверить перечень предъявляемых на испытания документов, а также материально-техническое обеспечение испытаний на соответствие требованиям настоящей ПМИ.

---

<sup>15</sup> \* – Испытание выполняется при наличии данной функции в исследуемом устройстве m-Health.

Следует убедиться в том, что все узлы модельной сети соединены согласно структурной схемы, находятся в исправном состоянии и функционируют в установленных режимах работы. Перед началом испытаний необходимо проверить уровень заряда аккумуляторных батарей используемых при проведении испытаний устройств, который должен составлять не менее 70% от максимального. Также необходимо проверить наличие доступа узлов модельной сети к ССОП.

Все замеченные в ходе подготовки и проведения испытаний особенности работы оборудования, измеренные значения, промежуточные итоги, общие результаты, а также другая информация о ходе проведения испытаний фиксируются в протоколе проведения испытаний.

## **2.2 Проверка комплектности**

Проверку комплектности устройства m-Health выполнить сличением состава наличного оборудования и дистрибутивов ПО с составом, заявленным производителем.

Проверку считать выполненной, если состав оборудования и дистрибутивов ПО соответствуют заявленным производителем.

## **2.3 Проверка соответствия технической документации**

Проверку выполнить сличением оборудования и дистрибутивов ПО, входящих в состав устройства m-Health, и технической документации. Также необходимо ценить качество сборки, проверить соответствие габаритных размеров, наличие органов управления и т.д. заявленным в технической документации.

Проверку считать выполненной, если устройство m-Health соответствует заявленной технической документации.

## **2.4 Проверка схемы подключения**

Для выполнения проверки включить устройство m-Health, активировать необходимые сетевые интерфейсы на устройстве и смартфоне, с помощью



прикладного ПО и органов управления устройства установить соединение между устройством m-Health и смартфоном.

Проверку считать выполненной, если произошла успешная установка соединения между устройством m-Health и смартфоном.

## **2.5 Проверка возможности калибровки и самонастройки**

Для выполнения проверки выбрать в прикладном ПО на смартфоне пункт меню, отвечающий за калибровку и самонастройку. Выполнить инструкции по калибровке и самонастройке устройства. При необходимости воспользоваться дополнительным оснащением, прилагающимся к устройству m-Health.

Проверку считать выполненной, если калибровка и самонастройка устройства m-Health прошли успешно.

## **2.6 Проверка электропитания и времени автономной работы**

Для выполнения проверки включить устройство m-Health. Подключить к устройству блок питания, который в свою очередь подключить к сети электропитания лаборатории. Проверить наличие заряда аккумуляторных батарей устройства m-Health от сети электропитания. После полного заряда аккумуляторных батарей отключить блок питания от устройства m-Health.

На устройстве m-Health с полным зарядом аккумуляторных батарей выполнить проверку времени автономной работы. Для этого необходимо зафиксировать время начала проведения проверки, после чего последовательно выполнять измерения до истечения заряда аккумуляторных батарей и зафиксировать время окончания проверки. Если производителем в технических характеристиках указывается количество возможных измерений на одном заряде аккумуляторных батарей, то в ходе проверки необходимо вести подсчет проведенных измерений.

Проверку считать выполненной, если максимальное время автономной работы (количество измерений) соответствует заявленному производителем.

## **2.7 Проверка работы устройства на базе модельной сети (с перехватом генерируемого сетевого трафика)**

Проверку провести следующим образом:

1. Перед началом проведения проверки на смартфоне отключить все сторонние сетевые приложения, убедиться, что уровень заряда аккумуляторных батарей составляет не менее 70% от максимального. Убедиться в наличии доступа к ССОП со смартфона.
2. Для перехвата IP-пакетов выполнить требуемое действие:
  - Для перехвата трафика на интерфейсе Wi-Fi в мобильном приложении Wiscar активировать функцию перехвата IP-пакетов;
  - Для перехвата трафика на интерфейсе Bluetooth активировать функцию перехвата трафика в мобильном приложении HCI Logger;
  - Для перехвата IP-пакетов при помощи TAP на узле анализа трафика запустить ПО Wireshark.
3. Установить соединение между смартфоном и устройством m-Health. При необходимости в прикладном ПО на смартфоне выбрать соответствующий анализируемому объекту апплет.
4. Провести серию измерений. Удостовериться, что устройство работает согласно инструкции и / или описания, производятся измерения, обработка поступающих данных и отображение результатов.
5. Удостовериться в генерации необходимого объема сетевого трафика, в противном случае повторить серию измерений. Накопленный сетевой трафик с помощью сохранить в отдельный файл. Наименование и текущее расположение файла внести в протокол проведения испытаний.

Настоящая ПМИ, как и структура модельной сети, могут корректироваться и дополняться при подготовке и в ходе проведения испытаний.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ДОКУМЕНТЫ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ВНЕДРЕНИЕ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ



УТВЕРЖДАЮ



Заместитель генерального директора  
ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ»

А.Б. Васильев

«29» февраля 2022 г.

### АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Захарова Максима  
Валерьевича на тему «Разработка моделей и методов предоставления услуги  
молекулярного анализа на базе сети связи общего пользования»

Настоящим актом подтверждаем, что научные результаты диссертационной работы Захарова Максима Валерьевича на тему «Разработка моделей и методов предоставления услуги молекулярного анализа на базе сети связи общего пользования», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, внедрены в ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ» при разработке «Рекомендаций по моделям трафика для планирования сетей связи пятого и последующих поколений (в части предоставления mHealth услуги молекулярного анализа)».

При разработке были использованы следующие новые научные результаты из диссертации М.В. Захарова:

- Модель агрегированного потока сетевого трафика, генерируемого микроспектрометрами при предоставлении услуги молекулярного анализа,


использование которой позволяет повысить точность оценки времени обслуживания на 12%.

- Метод построения сети с применением граничных вычислений для предоставления услуги молекулярного анализа, который позволяет сократить время передачи данных при предоставлении услуги на величину до 40%.

**Председатель комиссии:**

Заместитель директора

Департамента – начальник отдела



А.А. Иванов

**Члены комиссии:**

Главный специалист



Ю.А. Нопина

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,  
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
(СПбГУТ)

Юридический адрес: набережная реки Мойки,  
д. 61, литера А, Санкт-Петербург, 191186

Почтовый адрес: пр. Большевиков, д. 22, корп. 1,  
Санкт-Петербург, 193232

Тел.(812) 3263156, Факс: (812) 3263159

<http://sut.ru>

E-mail: [rector@sut.ru](mailto:rector@sut.ru)

ОКПО 01179934 ОГРН 1027809197635

ИНН 7808004760 КПП 784001001

ОКТМО 40909000

*25.02.2022* № *349/54*  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Утверждаю

Проректор по научной работе,

Д.Т.Н., С.Н.С.,

*Шестаков А.В.*



### Акт

о внедрении научных результатов, полученных Захаровым Максимом Валерьевичем  
в диссертационной работе «Разработка моделей и методов предоставления услуги  
молекулярного анализа на базе сети связи общего пользования»

Комиссия в составе декана факультета Инфокоммуникационных сетей и систем Д.В. Окуневой, профессора кафедры сетей связи и передачи данных М.А. Маколкиной и заведующей лабораторией кафедры сетей связи и передачи данных О.И. Ворожейкиной составила настоящий акт в том, что научные результаты, полученные Захаровым Максимом Валерьевичем, использованы:

1. При чтении лекций и проведении практических занятий по курсу «Современные проблемы науки в области инфокоммуникаций» (Рабочая Программа № 21.05/134-Д, утверждена Первым проректором-проректором по учебной работе Г.М. Машковым 30.06.2021), раздел Программы:

- Концепции развития сетей связи. Текущее состояние развития сетей.  
Прогнозы развития сетей связи;



- Самоорганизующиеся сети. Примеры самоорганизующихся сетей, услуги и приложения таких сетей.

2. При чтении лекций и проведении практических занятий по курсу «Введение в наносети» (Рабочая Программа № 21.05/138-Д, утверждена Первым проректором-проректором по учебной работе Г.М. Машковым 30.06.2021), раздел Программы:

- Молекулярные коммуникации. Нейронные сети.

В указанных дисциплинах используются следующие новые научные результаты, полученные Захаровым Максимом Валерьевичем в диссертационной работе:

- Модель агрегированного потока сетевого трафика, генерируемого микроспектрометрами при предоставлении услуги молекулярного анализа, использование которой позволяет повысить точность оценки времени обслуживания на 12%;

- Модель и метод предоставления услуги молекулярного анализа, которые позволяют сократить время передачи данных при предоставлении услуги в среднем на 13%;

- Метод построения сети с применением граничных вычислений для предоставления услуги молекулярного анализа, который позволяет сократить время передачи данных при предоставлении услуги на величину до 40%.

Декан факультета ИКСС

к.т.н., доцент

Профессор кафедры ССиПД

д.т.н., доцент

Зав. лабораторией кафедры ССиПД



Д.В. Окунева

М.А. Маколкина

О.И. Ворожейкина