

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

Шарлаева Мария Владимировна

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ВНЕДРЕНИЯ УСЛУГ
ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ В СЕТЯХ СВЯЗИ ПЯТОГО И ПОСЛЕДУЮЩИХ
ПОКОЛЕНИЙ**

2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, доцент
Маколкина Мария Александровна

Санкт Петербург – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. РОЛЬ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ В СЕТЯХ СВЯЗИ С УЛЬТРАМАЛЫМИ ЗАДЕРЖКАМИ	11
1.1. Сети связи с ультрамалыми задержками	11
1.2. Направления развития сетей связи 2030 для предоставления медицинских услуг	13
1.3. Варианты развертывания телемедицинской сети.....	23
1.4. Прогноз доли пользователей телемедицинских услуг	31
1.5. Выводы.....	37
ГЛАВА 2. СЕТИ СВЯЗИ КАК ОСНОВА СОКРАЩЕНИЯ ЦИФРОВОГО РАЗРЫВА НА ТЕРРИТОРИИ РФ.....	39
2.1. Цифровой разрыв в мире и РФ. Пути решения.	39
2.2. Анализ взаимосвязи ВРП, плотности населения и числа медицинских учреждений на душу населения	46
2.3. Типизация территорий РФ для внедрения телемедицинских услуг.....	63
2.4. Новая мера для оценки цифрового разрыва.....	70
2.5. Выводы.....	73
ГЛАВА 3. МОДЕЛЬ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ УСЛУГ	75
3.1. Введение.....	75
3.2. Постановка задачи	76
3.3. Алгоритм выбора характеристик сети.....	78
3.4. Проектирование телемедицинской сети.....	91
3.5. Модель сети	99
3.6. Выводы.....	104
ГЛАВА 4. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРА ЦИФРОВОГО КЛАСТЕРА НА ОСНОВАНИИ ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ.....	106
4.1. Введение.....	106
4.2. Постановка задачи	107

4.3. Плотность населения и территориальная удаленность населенных пунктов на территории планируемых цифровых кластеров	108
4.4. Выводы.....	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	120
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	123
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	126
ПРИЛОЖЕНИЕ	135

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В последние десятилетия отмечается значительный рост внедрения информационных технологий во всех областях человеческой деятельности. Интенсивное развитие информационно-коммуникационных технологий спровоцировало появление термина «цифровая экономика», который прочно закрепился в нашем обществе. Очевидно, что базовыми технологиями цифровой экономики являются искусственный интеллект, Интернет Вещей, сверхплотные сети с ультрамалыми задержками, дополненная реальность, медицинские сети, облачные вычисления.

Изменения в области систем и сетей телекоммуникаций напрямую влияют на изменения архитектуры сети и перечень предоставляемых услуг. Новые требования во многом были спровоцированы появлением Интернета Вещей и Тактильного Интернета [1]. Так, появление сетей связи пятого поколения как новой ветки развития инфокоммуникаций является не просто закономерным эволюционированием существующих сетей, а вынужденной мерой для обеспечения высокой плотности устройств (1 млн. на 1 кв. м) и величины круговой задержки 1 мс.

Первое требование сформировано именно благодаря тому, что к Интернету подключаются не только пользователи, но и устройства, так в 2008 году наступил момент, когда число вещей, подключенных к Интернету, превысило число жителей Земли [1]. И по прогнозам, это отношение будет только расти, достигая десятки миллиардов.

Тактильный Интернет, предполагая передачу тактильных ощущений по сети, потребовал критически низкую задержку для обеспечения требуемого качества обслуживания и качества восприятия. В данном случае ограничение по скорости распространения света и особенности его распространения в волоконно-оптических кабелях по рекомендации МСЭ-Т делают возможным предоставление данных услуг только в пределах радиуса 50 км. Это означает, что ресурсы

оператора в сетях связи с ультрамалыми задержками должны предполагать существенную децентрализацию.

Помимо этого, требования по обеспечению низкой задержки предъявляются к приложениям дополненной реальности – круговая задержка 5 мс, беспилотным автомобилям и медицинским сетям, где из-за предоставления услуг реального времени необходимо обеспечивать задержку 10 мс.

Исследования качества предоставления услуг дополненной реальности на основании субъективной оценки пользователей показали, что задержки в 5 мс не оказывают негативного влияния на качество восприятия [2]. При этом большие значения задержки ухудшают восприятие скорости движения объекта за счет уменьшения частоты обновления кадра, а при задержке более 25 мс трафик не является самоподобным, и предсказать его поведение и произвести оценку качества восприятия довольно сложно.

Что касается наиболее перспективных на текущий момент времени областей внедрения инфокоммуникаций, внедрение новых технологий в сферу здравоохранения способно повысить доступность получения медицинских услуг, а значит, в некоторой степени сократить цифровой разрыв между регионами Российской Федерации. При этом с точки зрения требований к предоставляемым услугам необходимо обеспечивать задержку, как и в приложениях дополненной реальности, т.к. они могут применяться в целях дистанционного оказания медицинских услуг, т.е. при проведении телеконсультаций и телеобучения.

Именно поэтому в основе сетей связи пятого и последующих поколений лежат сверхплотные сети и сети связи с ультрамалыми задержками. Исходя из вышесказанного, тема диссертационной работы, посвященная исследованию влияния внедрения телемедицинских услуг и в целом сетей связи с ультрамалыми задержками на цифровой разрыв между регионами Российской Федерации, а также созданию нового подхода для кластеризации территорий в сетях с учетом плотности пользовательских устройств является актуальной.

Степень разработанности темы. В области сетей связи с ультрамалыми задержками исследованиями занимаются ряд ученых, в частности, В.М.

Вишневский, Р.В. Киричек, А.Е. Кучерявый, Б.С. Гольдштейн, В.Г. Карташевский, М.О. Колбанев, А.И. Парамонов, К.Е. Самуйлов, А.С. Ковтуненко, С.Н. Степанов, Е.А. Кучерявый, Ю.В. Гайдамака, М.А. Маколкина, Д.А. Молчанов, А.Н. Волков, А.С.А. Мутханна, А.А.А. Ateya, M. Dohler, G.P. Fettweis, Z. Li, M. Maier, P. Popovski, T. Taleb, M. Uusitalo и другие авторы, в том числе принимающие участие в разработке рекомендаций по построению сетей 2030.

Указанные авторы в своих работах рассматривают значимые вопросы по организации сетей связи с высокими требованиями по задержке при предоставлении услуг Тактильного Интернета, Дополненной Реальности и т.д. Однако, в них практически не затрагивается вопрос решения проблемы цифрового разрыва между территориями посредством предоставления новых видов услуг или изменения структуры сети. На текущий момент вопрос организации сетей с использованием нового подхода является актуальным, поскольку обеспечение ультрамалых задержек возможно на ограниченных расстояниях между точками предоставления услуг и пользователями. Сложившаяся ситуация требует децентрализации сети и разделения территорий на цифровые кластеры с учетом плотности населения, что определяет цель, задачи, объект и предмет исследования диссертационной работы. При этом решается научная задача по прогнозированию числа пользователей телемедицинских услуг на горизонте планирования до 2030 года и разработке метода построения цифровых кластеров сети для первого набора телемедицинских услуг с учетом требований по качеству обслуживания.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются сети связи пятого и последующих поколений, а предметом – методы внедрения услуг телемедицины.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы состоит в исследовании и разработке методов формирования цифровых кластеров при внедрении услуг телемедицины в сетях связи пятого и последующих поколений и оценке влияния распространения этих услуг на цифровой разрыв между территориями Российской Федерации.

Для достижения заданной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Анализ услуг телемедицины и направлений развития сетей связи пятого и последующих поколений для предоставления данных услуг.

2. Анализ принципов построения сетей связи пятого и последующих поколений, в том числе сетей с ультрамалыми задержками для предоставления услуг телемедицины.

3. Прогнозирование доли пользователей услуг телеприсутствия или телемедицинских услуг в сетях связи пятого и последующих поколений.

4. Разработка первого набора телемедицинских услуг в сетях связи пятого и последующих поколений.

5. Анализ взаимосвязи Валового Регионального Продукта, плотности населения и числа медицинских учреждений на душу населения.

6. Типизация территорий РФ для внедрения телемедицинских услуг.

7. Анализ способов проектирования телемедицинской сети и разработка алгоритма для выбора характеристик, удовлетворяющих требованиям при предоставлении услуг.

8. Разработка модели сети связи пятого и последующих поколений для телемедицинских услуг с учетом показателей качества предоставления услуг.

9. Разработка метода формирования цифровых кластеров для использования в сетях с ультрамалыми задержками с учетом плотности населения и территориального расположения населенных пунктов.

Научная новизна. Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

– Разработан прогноз развития услуг на сетях связи пятого и последующих поколений на горизонте планирования до 2030 года, отличающийся от известных тем, что получены результаты прогнозирования для числа пользователей услуг телемедицины.

– В отличие от известных научных результатов получены зависимости задержки от интенсивности трафика и длительности обслуживания пакетов для первого набора телемедицинских услуг в сетях связи пятого и последующих поколений.

– В отличие от существующих алгоритмов кластеризации предложенный метод позволяет выбрать размер цифрового кластера в зависимости от плотности расположения пользователей.

Теоретическая и практическая значимость диссертации. Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в выявлении взаимосвязи между Валовым Региональным Продуктом, плотностью населения в областях и числом медицинских организаций. Расположение центров обработки данных в областных или региональных центрах способно обеспечить повсеместное предоставление первого набора телемедицинских услуг, таких как телеконсультации, телемониторинг и телеобучение, в сетях связи пятого и последующих поколений. За счет формирования цифровых кластеров повышается доступность обращений за медицинской помощью, что позволяет частично сократить цифровой разрыв без необходимости расширения числа медицинских организаций и увеличения численности кадров в удаленных населенных пунктах.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в доказательстве зависимости величины задержки от плотности населения, интенсивности трафика и длительности обслуживания пакетов для первого набора телемедицинских услуг. Весомую практическую ценность имеет создание нового метода кластеризации территорий, учитывающего плотность расположения пользователей телемедицинских услуг, а также алгоритм действий для формирования технического задания по проектированию телемедицинской сети.

Полученные в диссертационной работе результаты использованы в ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ» при разработке «Методики планирования сетей связи при внедрении первого набора телемедицинских услуг», в ООО «НТЦ АРГУС» при проектировании систем технического учета «Аргус NRI», в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ) при чтении лекций и проведении практических занятий по курсам «Архитектура построения и принципы проектирования сетей связи 5G/6G», «Технологические принципы организации

инфокоммуникационных услуг», а также при выполнении Соглашения о предоставлении из федерального бюджета гранта в форме субсидий, выделяемого для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных организациях высшего образования, научных учреждениях и государственных научных центрах Российской Федерации от «06» июля 2022 г. № 075-15-2022-1137 по приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации 20а – Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных в диссертации задач использовались методы системного анализа, теории телетрафика и теории массового обслуживания, теории фракталов, математической статистики.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Прогноз числа пользователей телемедицинских услуг сети на горизонте планирования до 2030 года, выполненный методом экспоненциального сглаживания, доказывает, что с учетом доверительной вероятности $P=95\%$ число пользователей телемедицинских услуг на сети связи общего пользования составит не менее 40 млн, что составит 22% от общего числа пользователей сети.

2. С использованием модели сети с произвольным распределением интервала поступления между заявками и произвольным распределением длительности обслуживания получены зависимости задержки от интенсивности трафика и длительности обслуживания пакетов для первого набора телемедицинских услуг в сетях связи пятого и последующих поколений.

3. Метод формирования цифровых кластеров для первого набора телемедицинских услуг, основанный на комбинации методов C-means и DBSCAN, позволяет сократить время выполнения алгоритма не менее чем на 30% по

сравнению с классическим вариантом DBSCAN, увеличив точность выделения кластеров методом C-means за счет плотностного подхода.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность основных результатов диссертации подтверждается корректным применением математического аппарата, результатами имитационного моделирования и широким спектром публикаций и выступлений как на российских, так и на международных конференциях. Основные положения диссертационной работы были представлены и обсуждались на следующих конгрессах, конференциях и семинарах: XXI Международной научно-практической конференции «Технологии ИС в цифровой трансформации экономики и социальной сферы» (Москва, 2021), Всероссийской научно-технической и научно-методической конференции магистрантов и их руководителей «Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2020)» (Санкт-Петербург, 2020), Международных научно-технических и научно-методических конференциях «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» АПИНО (Санкт-Петербург, 2019-2022), региональных научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна» (Санкт-Петербург, 2018-2021).

Публикации по теме диссертации. Всего по теме диссертации опубликовано 9 работ, из них 3 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень изданий, рекомендуемых ВАК Министерства высшего, образования и науки Российской Федерации, 6 статей в других изданиях и материалах конференций.

Личный вклад автора. Все основные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. Экспериментальные исследования проведены при его непосредственном участии и под научным руководством.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационная работа выполнена по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций и соответствует следующим пунктам паспорта специальности: 3, 4, 7, 19.

ГЛАВА 1. РОЛЬ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ В СЕТЯХ СВЯЗИ С УЛЬТРАМАЛЫМИ ЗАДЕРЖКАМИ

1.1. Сети связи с ультрамалыми задержками

На сегодняшний день, учитывая историю сетей связи и большой опыт в разработке новых алгоритмов их эффективного проектирования, наиболее перспективной является концепция сетей с ультрамалыми задержками, которая основана на концепции Тактильного интернета. Поскольку ей не удалось в полной мере быть воплощенной в сетях связи пятого поколения, которые находятся на этапе внедрения по всему миру, она положена в основу сетей связи шестого поколения и сетей 2030. Концепция получила название uRLLC (ultra Reliable and Low Latency Communications). Зарубежные исследователи, в большинстве, понимают словосочетание «Ultra Reliable» как очень малые потери. Однако, часть авторов при этом солидарна с исследованиями данной формулировки в нашей стране в направлении коэффициента готовности сети.

Начало исследований в области сетей 2030 положено Сектором стандартизации телекоммуникаций Международного Союза Электросвязи (МСЭ-Т). На 13 заседании Исследовательской Комиссии «Сети будущего и облачные вычисления» в июле 2018 года была сформирована исследовательская группа, занимающаяся работой в данном направлении. Перед группой поставлено несколько задач: формирование рекомендаций по построению сетей 2030, создание принципиально новой архитектуры сетей связи и создание новой версии Интернета. Вице-представителями группы являются представители Китайской Народной Республики, США, Японии, Кореи и Российской Федерации. Отсутствие среди них европейских представителей объясняется тем, что Европейский Институт Стандартов для Телекоммуникаций обладает собственными представлениями по развитию сетей до 2030 года.

Работа специальной группы производилась в рамках заседаний, проходящих в различных странах: Нью-Йорк (Университет Бруклина, 3-4 октября 2018),

Гонконг (Политехнический университет Гонконга, 19-20 декабря 2018), Лондон (Национальная физическая лаборатория, 19-20 февраля 2019), в том числе и на территории Российской Федерации, в Санкт-Петербурге.

При создании сетей 2030 следует выделить несколько ключевых пунктов, которые следует обеспечить и предусмотреть:

- В качестве основы сетей связи прийти к сетям связи с ультрамалыми задержками в 1 мс и менее.

- Переход на принципиально новую версию Интернета.

- Голографические коммуникации и телепортация за счет технологий дополненной реальности.

- Использование распределенных вычислений в качестве основы архитектуры сети.

- Проблемы использования спутниковой связи при широкомасштабном внедрении услуг сетей связи с ультрамалыми задержками.

- Безопасность на основе квантовых ключей.

Можно утверждать, что сети 2030 в преобладающей степени будут представлены сетями с ультрамалыми задержками. Это позволит сократить цифровой разрыв между регионами РФ во многих узконаправленных областях, т.е. разрешит или поспособствует решению главной проблемы Цифровой экономики.

Сети связи 2030 имеют существенные отличия от сетей 6G: круговая задержка не должна превышать 1 мс, пиковая скорость 1 Тбит/с, коэффициент готовности 0.999999 (сверхвысоконадежность), недоступность сети не более 4 мс в сутки, персонализация сети, наносети, более масштабная реализация концепции Индустрия 4.0 с использованием промышленных роботов (4-я промышленная революция), голографические копии человека.

Однако, именно за счет предъявляемых требований к сетям 2030 и предоставляемого перечня услуг наблюдается впервые противоречие фундаментальным ограничениям по скорости распространения света, что делает невозможным передачу данных на большие расстояния с ультрамалыми задержками. Это требует децентрализации сети.

Создание голографических копий и человеческих аватаров позволяет обеспечить реализацию основных услуг телеприсутствия за счет удаленного решения задач человеком. Помимо этого, важно выделить также возможность применения указанного функционала в медицинской области, т.е. медицинских сетях и услугах телемедицины.

1.2. Направления развития сетей связи 2030 для предоставления медицинских услуг

Современная экономика предполагает разделение всех услуг, предоставляемых населению, на 4 группы: producer, consumer, social, distributive – производственные, потребительские, социальные и распределительные соответственно. Такая классификация была предложена в 70-х годах XX века Дж. Зингельманном [3]. Производственные услуги включают инжиниринг, консалтинг, финансовые и банковские операции, страхование, т.е. это та сфера, которая служит источником роста производительности труда и повышает эффективность производства. Потребительские услуги, как правило, оплачиваются за счет личных средств клиентов, и предназначаются для личного потребления. Примерами выступают ресторанные, гостиничные, бытовые или домашние услуги. Социальные и распределительные услуги выделены в отдельные группы, т.к. имеют общественную направленность в плане оказания образовательных, медицинских или благотворительных услуг, и обеспечения торговых сделок, транспортных операций и связи. Рост ВВП на территории Российской Федерации обеспечивается главным образом отраслями сферы услуг. По данным о структуре ВВП по видам экономической деятельности за 1 квартал 2022 года можно судить о том, что среди лидирующих сфер выделяют горнодобывающую промышленность, обрабатывающую промышленность, оптовую и розничную торговлю, транспорт и склад, операции с недвижимостью, государственное управление и оборону, здравоохранение и социальные услуги, а также образование [4].

Ввиду того, что в последние годы наблюдается тенденция по обеспечению доступности предоставления медицинских услуг населению, к примеру, в рамках Национального проекта «Здравоохранение» (2019-2024 гг.), в работе предлагается более подробно рассмотреть вопросы расширения обслуживаемых территорий региональными центрами и повышения качества оказываемой помощи.

Ранее было отмечено, что расширение спектра решаемых задач для территориально отдаленных сторон возможно за счет развития услуг телеприсутствия. Как замечает Ховард Личман, на текущий момент толкование термина «телеприсутствие» является довольно проблематичным, поскольку в него вкладываются разные составляющие. Но в общем можно выделить, что «телеприсутствие» – набор технологий, позволяющий пользователю с использованием вспомогательных средств каким-либо образом повлиять на обстановку или получить определенные ощущения в пространстве в месте, отличном от его физического положения.

В работах R.L. Daft, R.H. Lengel 1984–1990 гг. согласно «media richness model» [5] сформулированы характеристики эффективной коммуникации:

- Наличие обратной связи.
- Многочисленность возможностей для ответных откликов различного характера.
- Возможность варьировать язык общения, языковое многообразие.
- Средства выражения – устный, письменный, паралингвистика, мультимедиа.
- Личная направленность.

Чем большему количеству перечисленных критериев соответствует технология, тем более эффективной она считается с коммуникативной точки зрения.

Полное телеприсутствие подразумевает собой получение в точности тех ощущений, что были бы получены при реальном присутствии человека в удаленной локации [6].

Согласно Международной классификации товаров и услуг в 11 редакции 2021 года – классификации, используемой для регистрации товарных знаков, решения телеприсутствия («Роботы телеприсутствия») относятся к 9 классу, к которому в основном отнесены научно-исследовательские аппараты и инструменты, оборудование для аудиовизуальных и информационных технологий, а также спасательное оборудование и средства защиты [7].

Устройства телеприсутствия имеют довольно широкую область применения, поскольку главным образом решают проблему оказания дистанционной помощи людям, передачи опыта, обучения и даже совместных развлечений.

В 1985 году американским ученым Марвином Ли Минским были выделены основные направления:

- Горное дело и петрология.
- Ядерные технологии.
- Исследование и разработка подводных ресурсов.

На текущий момент своё применения указанная технология нашла в более широком перечне сфер деятельности и исследований [8], что актуально и для внедрения на территории Российской Федерации:

– Медицина – роботы в данном случае выступают средством для возможности общения врача и пациента. В архитектуру робота включено дополнительное оборудование, требуемое для диагностики определенных функций здоровья пациента, а также несколько камер для передачи полной картины происходящего врачу. Существуют роботы, способные фиксировать сердечный ритм, кровяное давление, температуру тела, записывать электрокардиограмму и выполнять ультразвуковые исследования.

– Работа в офисе – основные функции робота телеприсутствия в данном случае заключаются в проведении онлайн-мероприятий с эффектом реального присутствия пользователя. Офисный робот должен иметь HD-камеру для обеспечения широкого поля зрения, несколько микрофонов, акустическую систему для возможности работы в шумном помещении и светодиодное освещение для работы в условиях низкой освещенности.

– Сфера услуг – представлена широким набором мест, где можно встретить устройство телеприсутствия. Например, в банках в виде робота-консультанта, управляемого из центрального отделения для связи руководства с сотрудниками или первичной консультации клиентов, а также в ресторанах, торговых центрах, отелях, аэропортах и вокзалах. Робот способен заочно консультировать клиентов, демонстрировать интересующую информацию, оказывать помощь и даже принимать оплату. Более того, роботы обладают интуитивно понятным интерфейсом, благодаря чему пользователь может разобраться с устройством без сторонней помощи.

– Изучение подводного мира – примерами применения техники в области изучения мирового океана являются дистанционно-управляемые морские транспортные средства, функционирующие как в подводном пространстве для выполнения работы на глубине, опасной для погружения дайверов, так и на поверхности воды.

– Образование – применение роботов телеприсутствия возможно как в школе для удаленного посещения уроков в условиях невозможности очного посещения, так и в высших учебных заведениях, главным образом с целью обеспечения физического отсутствия на занятии преподавателя. Это открывает возможность одновременного предоставления знаний нескольким группам учащихся по всему миру.

– Космос – поскольку долгое нахождение человека в космическом пространстве невозможно, а если и возможно, то за счет сложного обмундирования, на МКС нашли применение роботы-аватары, передающие человеку-оператору картинку, звук и в целом весь спектр ощущений, включая тактильные. Благодаря управлению роботом, имеющим руки-манипуляторы и системы зрения, подобные человеческим, открывается возможность проведения ремонтных работ в пространстве.

– Охрана и безопасность – использование роботов телеприсутствия в данном случае способно качественно заменить реальные кадры в ситуациях, где необходим контроль за окружающей обстановкой. Такими местами могут выступать как

общественные места, торговые центры, так и специализированные заведения, учреждения для больных или места лишения свободы. Принцип работы устройств также базируется на использовании камер, перемещении с помощью колесной платформы и преодолении препятствий благодаря ультразвуковым датчикам.

– Виртуальная реальность – в связи с ростом популярности AR/VR-решений, работы телеприсутствия могут быть использованы для погружения человека в виртуальный мир, в котором предоставляется возможность лучшего ощущения окружающей среды. В частности, практическим применением работа может быть вариант применения в чрезвычайных ситуациях для обеспечения максимальной визуальной осведомленности.

С точки зрения сопровождающих документов на территории Российской Федерации на рынке услуг связи таковым выступает Федеральный закон «О связи», принятый в 2003 году. Непосредственно оказание телематических услуг между абонентом и оператором регулируется постановлением правительства РФ «Об утверждении правил оказания телематических услуг связи» [9].

Среди причин появления телемедицины как самостоятельного направления развития технологий выделяется:

– Высокий уровень развития медицинских и телекоммуникационных технологий.

– Повышение потребности населения в получении высококвалифицированной помощи в территориально удаленных районах Российской Федерации.

– Требования к медицинским работникам в регулярном повышении квалификации и подтверждении профессионального статуса.

– Высокая стоимость проезда до ближайших медицинских учреждений, предоставляющих необходимые услуги.

– Необходимость коллективного принятия решений в сложных случаях, когда требуется участие сотрудников из разных регионов.

Развитие телемедицины насчитывает более 120 лет. Первые проекты для внедрения были созданы на территории Норвегии, что объяснялось большим

числом труднодоступных регионов для оказания медицинских услуг. Позднее свои попытки в создании собственной инфраструктуры телемедицинской сети предприняли специалисты из Франции для оказания медицинской помощи работникам гражданского и военного флота.

В связи с развитием информационных технологий в 90-е годы 20 века разработка телемедицинских решений переходит в более активную фазу, что обеспечило появление наиболее значимых проектов, которые были призваны стандартизировать подходы к телемедицинским системам и составляющие которых применяются по сей день:

– В рамках AIM (Advanced Informatics in Medicine) реализовано более 40 проектов, для работы над которыми объединилось более 3000 практикующих медицинских работников, исследователей, а также положено начало для внедрения на государственном уровне.

– EPIC (European Prototype for Integrated Care) – европейская модель для интегрированного лечения, предлагающая подход обмена информацией о пациентах и их местоположении за счет использования общей информационной системы здравоохранения, справочной информации о клиентах, их потребностях. Одним из ключевых моментов проекта является работа над стандартизацией на европейском уровне, обеспечивающая основу системы планирования и управления персоналом [10].

– FEST (Framework for European Services in Telemedicine) – база знаний для Европейской службы телемедицины. Основная цель разработки – создание основы для общего понимания правил создания служб телемедицины и применения в бизнес-планировании. FEST представляет собой структурированное руководство, состоящее из 4 блоков: набор вопросов, компонента рекомендаций, основная информация и описательная модель [11].

– ISAAC (Integrated Support Communication System) – интегрированная телекоммуникационная система.

– NUCLEUS (Customisation Environment for Multimedia Integrated Patient Dossier) – проект, в рамках которого велась разработка интегрированной

медицинской карты пациента и среды, позволяющей задавать настройки для адаптации содержимого карты различных категорий граждан. Рассмотрены вопросы защиты информации и контроля доступа. Практическими результатами являются внедрение рабочих систем в три крупные европейские больницы и готовые для внедрения службы для всех операционных систем [12].

– SHINE (Strategic Health Informatics Network for Europe) – стратегическая информационная сеть здравоохранения Европы, к целям которой относится построение инфраструктуры для развития региональных телематических систем. В содержание проекта входит методология, определяющая бизнес-процессы здравоохранения и стратегию работы над ИТ-решениями, а также открытая среда помощи населению. Результатами работы над проектом являются созданные прототипы информационных стандартов, спецификации, отчетность, общие модели и приложения для предоставления услуг [13].

– Semantic HEALTH – проект, посвященный созданию платформы для организаций здравоохранения с целью развития и повышения мобильности домашней медицины, повышения качества документации, оптимизации расходов и обеспечения доступа в режиме реального времени. Базируется на глубоком обучении и структурировании данных.

– Q-REC – проект, нацеленный на конкретную стратегию интегрированной биомедицинской информации для улучшения здоровья населения. К задачам программы относится оценка качества и сертификация программного обеспечения для телемедицины. Основное ограничение заключается в сфере применения – проверка электронных медицинских карт на соответствие, в остальном же на национальные дорожные карты и общие вопросы функциональной совместимости электронного здравоохранения использовать созданную программу нельзя [14].

– Панафриканский проект электронной сети – ИКТ-проект, предназначенный для соединения 55 государств между Индией и африканскими государствами. Конечная цель – обеспечение доступа и организация обмена данными в области телеобучения, телемедицины, а также передача голоса по IP, картографических ресурсов, работа метрологических служб, электронное

управление и коммерческие сервисы. Является одним из крупнейших в Африке для сокращения цифрового разрыва и предоставляет также возможности расширения инфраструктуры ИКТ на сельскую местность и труднодоступные территории. Первоначально идея зародилась в 2005 году, финансирование лежало на правительстве Индии, поскольку именно она преследовала свои дипломатические цели для продвижения собственных интересов на территории других государств. Проект позволил передать навыки студентам и специалистам Африки в области здравоохранения, побудил власти создать Виртуальный университет Индии, а также был награжден премией «Hermes» за инновации [15].

– eHealth for Safety – продукт для обеспечения безопасности электронного здравоохранения, управления лекарственными средствами, учета и анализа врачебных ошибок и прочих негативных инцидентов, допущенных в процессе лечения пациентов с тяжелыми заболеваниями, а также развития концепции риск-менеджмента в здравоохранении.

С течением времени сформировались основные направления применения телемедицины для внедрения на сетях связи Российской Федерации:

– Медицинские консультации – сущность указанного вида заключается в передаче информации о здоровье по телекоммуникационным каналам связи. Консультации возможны как в формате «врач-врач», так и «врач-пациент». Выделяют 2 подкатегории в зависимости от формата проведения консультаций:

- Отложенные телеконсультации – заключаются в оказании консультативных услуг без эффекта личного присутствия и отсутствия необходимости экстренного реагирования на проблему. Метод является довольно простым и малозатратным, но может быть эффективно использован при правильной организации процесса.
- Консультации в режиме реального времени – одно из самых перспективных вариантов использования технологии, однако, требовательны к техническому оснащению. Выделяют плановые, экстренные видеоконсультации и видеоконсилиумы. Ключевой особенностью является непосредственное взаимодействие между

участниками процесса: между специалистами или пациентом и лечащим врачом.

– Телеобучение – подразумевает собой проведение мероприятий с использованием телекоммуникационного оборудования, в процессе которых появляется возможность интерактивного контакта с аудиторией. Таким образом, у специалистов появилась возможность непрерывного образования без отрыва от основной работы. Важным преимуществом является возможность проведения трансляций в разных частях света одновременно.

- Теленаставничество – как один из вариантов телеобучения предполагает дистанционный контроль проведения лечебных процедур более опытным специалистом в режиме реального времени. Как пример, в процессе трансляции выполнения медицинских операций.

– Контроль состояния здоровья сотрудников предприятий – в некоторых компаниях присутствует тенденция регулярного контроля за здоровьем сотрудников, порой даже без их ведома, но, безусловно, с согласия. Бесконтактные термометры измеряют температуру тела, магнитокардиограммы (МКГ) или магнитоэнцефалограммы (МЭГ) записывают электромагнитные сигналы, вызванные мышечными сокращениями, что, как и другие датчики, способно обеспечить регулярный контроль за функционированием организма. В случае обнаружения какого-либо нарушения, информация, поступающая от центров обработки, незамедлительно передается медицинским работникам для принятия решения об оказании помощи, либо отстранении человека от службы.

– Мобильные телемедицинские комплексы – могут быть представлены в переносном варианте, реализованы на базе реанимобиля или альтернативных вариантов. Основные условия применения – там, где отсутствуют полноценные телемедицинские кабинеты и центры, т.е. в условиях выездных мероприятий по помощи пострадавшим, в удаленных больницах. Современные комплексы с точки зрения архитектуры включают в себя мощный компьютер, который совместим с

ПО различных подключаемых устройств диагностики, средства дальней беспроводной связи, видеоконференции и IP-вещания.

– Системы дистанционного биомониторинга или «Телемониторинг» – системы применяются для регулярного наблюдения за пациентами, имеющими хронические заболевания, для того чтобы избежать личного посещения клиник, а также на промышленных объектах с целью контроля состояния здоровья сотрудников [16]. Наиболее перспективными в данном направлении является применение датчиков, интегрированных в одежду, и технические средства, без которых сложно представить современного человека, такие как смартфоны. В любом случае собранные данные передаются в телемедицинские центры для анализа, контроля и формулировки рекомендаций [17].

– Программная составляющая организованного хранения и передачи данных между медицинскими учреждениями – раздел включает в себя ведение и хранение данных о здоровье пациента, доступ к личному кабинету, интеграцию данных между клиниками, возможность удаленной записи к специалисту, удаленный контроль за состоянием оборудования для диагностики пациентов [18].

Первый набор услуг телемедицины включает в себя телеконсультации, телемониторинг, телеобучение. Перечисленные базовые типы телемедицинских услуг породили целый перечень узкоспециализированных направлений, таких как телепатология, телехирургия, телерентгенология, теледерматология, телепсихиатрия и др., каждое из которых использует услуги из первоочередного набора с учетом специфических особенностей. Соответственно, при проектировании сети следует опираться на требуемый функционал при выборе телемедицинских объектов.

По характеру предоставления услуги они разделяются на синхронные и асинхронные. Синхронные услуги предоставляются в режиме реального времени при участии всех сторон в режиме онлайн или оффлайн. Асинхронные услуги предусматривают обмен медицинскими данными между сторонами процесса в разное время.

Для каждой телемедицинской услуги первого набора определены типы наборов данных [19, 20], с которыми выполняется работа. Информация приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Типы медицинских данных, используемых при предоставлении телемедицинских услуг

№	Телемедицинская услуга	Типы медицинских данных
1.	Телеконсультация	<ul style="list-style-type: none"> – Медицинская запись – Данные – Поток аудио, видео
2.	Телемониторинг	<ul style="list-style-type: none"> – Медицинская запись – Данные – Черно-белое или цветное статическое 2D изображение – Трёхмерные изображения (3D-модели) – Поток аудио, видео
3.	Телеобучение	<ul style="list-style-type: none"> – Данные – Черно-белое или цветное статическое 2D изображение – Поток аудио, видео

На основании перечня предоставляемых телемедицинских услуг и используемых типов данных на практике формируются требования по качеству, чтобы обеспечить удовлетворенность пользователей. Это в свою очередь определяется характеристиками развернутой сети. Соответственно, необходимо рассмотреть варианты построения телемедицинской сети, её компоненты и способы реализации на территориях с различным техническим обеспечением и требованиями.

1.3. Варианты развертывания телемедицинской сети

Телемедицинские технологии должны занять свое место в системе оказания медицинской помощи на различных уровнях классификации территорий, от

локального районного до федерального, к каждому из которых предъявляются свои требования.

На федеральном уровне к задачам Министерства здравоохранения РФ относится:

– Взаимодействие с окружными координационными центрами по здравоохранению, органами управления здравоохранением на уровне субъектов РФ, органами санитарно-эпидемиологического контроля, фондом обязательного медицинского страхования, а также существующими научными и образовательными учреждениями, занимающимися разработками и исследованиями в области медицины, с целью дистанционного обсуждения существующих в здравоохранении проблем.

– Информационная поддержка положения на территориях РФ на базе контроля медико-демографических показателей состояния здоровья и эпидемиолого-экологических данных.

– Оперативное реагирование и управление действиями по оказанию медицинской помощи в чрезвычайных ситуациях.

– Обмен информацией с ФОМС, медицинскими службами других министерств и ведомств.

К задачам на уровне федеральных округов относится обеспечение связи представителям Министерства здравоохранения РФ и окружному координационному совету по здравоохранению связи с Министерством здравоохранения РФ, органами управления здравоохранением на уровне субъектов РФ, а также ведущими научными и образовательными организациями с целью обсуждения проблем здравоохранения в рамках ФО и решения повседневных вопросов. Помимо этого, требуется предоставить оперативную реакцию в вопросах оказания медицинской помощи в условиях ЧС и обеспечить информационно-технологическую поддержку анализа состояния санитарно-эпидемиологического благополучия граждан и принятия управленческих решений.

На уровне субъектов РФ требуется обеспечить взаимодействие местных организаций здравоохранения с Министерством здравоохранения, окружным

координационным советом по здравоохранению, органами управления здравоохранением и органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора городского и районного уровней, научными и образовательными медицинскими учреждениями. На телемедицинскую сеть возлагаются функции по управлению региональной телемедицинской сетью, реагированию на чрезвычайные ситуации, регулярному контролю эпидемиологической ситуации и существующих критериев состояния здоровья населения разных возрастных категорий, информационному взаимодействию с Территориальным Фондом Обязательного Медицинского Страхования.

На районном уровне телемедицинские системы предусмотрены для получения консультаций, дистанционного обучения и повышения квалификации врачей районных и участковых больниц. При построении сети следует учитывать географические особенности территорий, а также инфраструктуру связи субъектов РФ и отдельных районов.

В 2019 году Международным союзом электросвязи были сформулированы рекомендации по построению телемедицинских сетей на локальном (отдельные населенный пункты), региональном (районы, области) и национальном уровнях с учетом особенностей стран.

Рассматривая иерархию телемедицинской сети, можно выделить взаимодействие удаленных телемедицинских пунктов (УТП), мобильных телемедицинских пунктов (МТП), телемедицинских центров (ТЦ), с которыми с разной степенью подчинения могут быть связаны телемедицинские пункты (ТП), с потребителями (Рисунок 1).

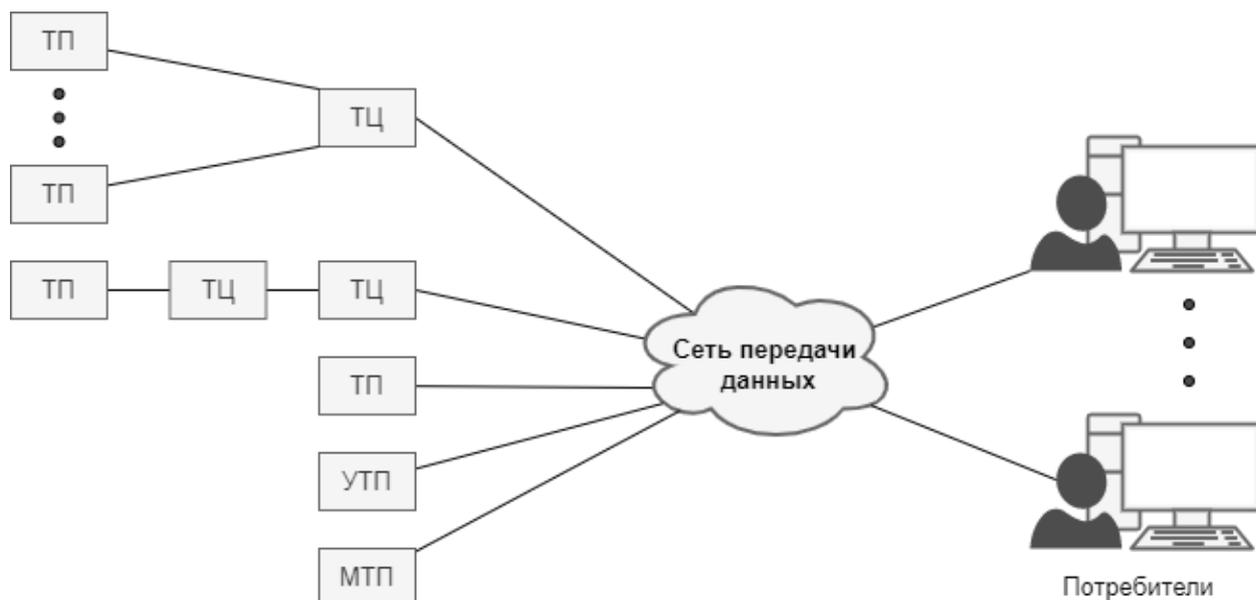


Рисунок 1 – Иерархия объектов телемедицинской сети

С точки зрения ИКТ выделяют внутренний и внешний сегменты, LAN и WAN соответственно. LAN-сегмент отвечает за подключение рабочих станций к сети и передачу данных внутри объекта телемедицины (ТЦ, ТП, УТП, МТП). WAN-сегмент обеспечивает подключение перечисленных объектов к внешней сети передачи данных для взаимодействия с иными объектами телемедицинской сети.

К элементам LAN-сегмента относятся телемедицинские рабочие станции, сервера, оборудование абонентского доступа, оборудование коммутации информационных потоков, каналы передачи данных. К иерархии сегмента относятся 2 уровня: уровень абонентского доступа (подключение телемедицинских рабочих станций к сети), уровень агрегации информационных потоков (распределение потоков внутри сети).

Элементами WAN-сегмента являются оборудование интеграции с сетью провайдера, который предоставляет услугу доступа к внешней сети передачи данных, каналы передачи данных. Иерархия сегмента представлена уровнем интеграции, обеспечивающим подключение сегмента LAN к внешней сети передачи данных.

При этом реализация уровней LAN и WAN может быть представлена одним типом оборудования, но это необязательно.

Исходя из расположения оборудования провайдера услуги доступа, выделяют 2 варианта: оборудование провайдера размещено непосредственно на территории объекта телемедицинской сети (Рисунок 2); оборудование размещено на технической площадке провайдера, и объект телемедицинской сети подключается к нему (Рисунок 3).

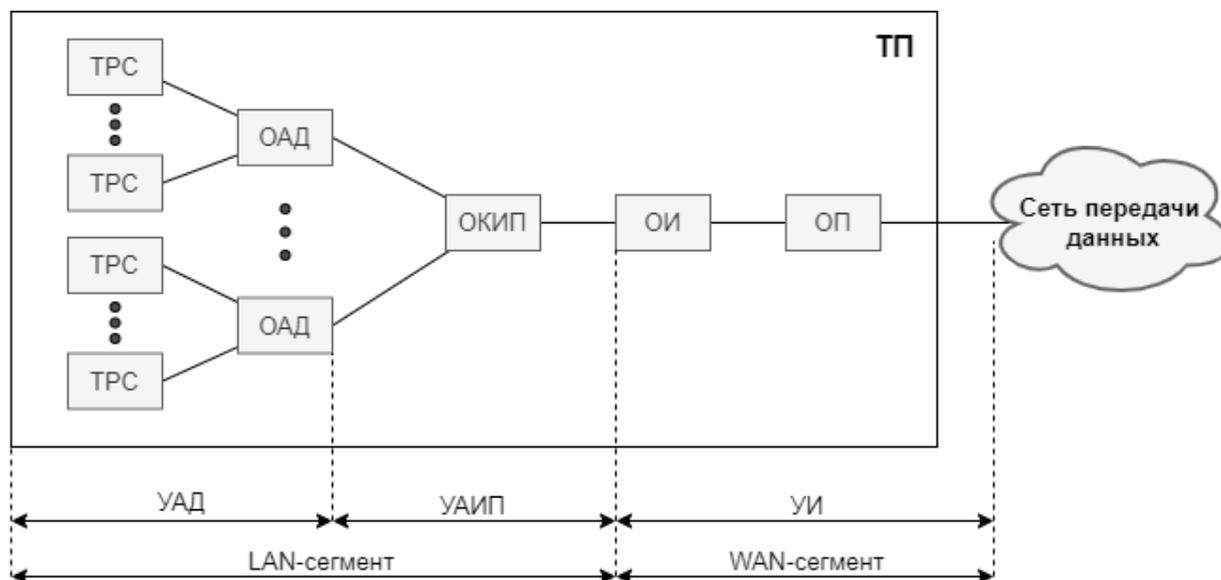


Рисунок 2 – Вариант организации WAN-сегмента при размещении оборудования провайдера на стороне телемедицинской сети

В рассмотренном варианте организации иерархии сети выделяется 3 уровня: уровень абонентского доступа (УАД), уровень агрегации информационных потоков (УАИП), уровень интеграции (УИ). Первые два относятся к LAN-сегменту, третий – к WAN-сегменту. Уровень абонентского доступа представлен телемедицинскими рабочими станциями (ТРС) и оборудованием абонентского доступа (ОАД). Функции уровня агрегации информационных потоков выполняет специальное оборудование коммутации информационных потоков (ОКИП). К третьему уровню относится оборудование интеграции (ОИ) и оборудование провайдера (ОП). Перечисленные элементы являются компонентами телемедицинского пункта (ТП).

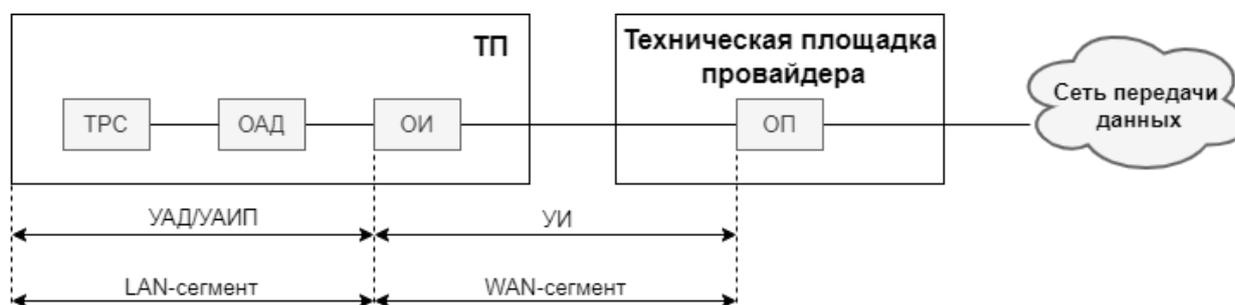


Рисунок 3 – Вариант организации WAN-сегмента при размещении оборудования провайдера на стороне провайдера

При размещении оборудования на стороне провайдера уровни абонентского доступа (УАД) и агрегации информационных потоков (УАИП) объединены и относятся к LAN-сегменту, уровень интеграции (УИ) соответствует WAN-сегменту. В состав телемедицинского пункта входят телемедицинские рабочие станции (ТРС), связанные с оборудованием абонентского доступа (ОАД), которое в свою очередь взаимосвязано с оборудованием интеграции (ОИ). Оборудование интеграции относится к WAN-сегменту и предназначено для обмена данными с оборудованием провайдера (ОП), расположенным на технической площадке провайдера.

С точки зрения подхода к хранению данных при построении телемедицинской сети возможна как централизованная (Рисунок 4), так и децентрализованная схема (Рисунок 5). Централизованная архитектура предусматривает хранение всех медицинских данных, таких как персональные данные врачей и пациентов, результаты обследований и анализов, история обращений в медицинские учреждения, график консультаций, в едином организованном хранилище. Явным преимуществом данного подхода является управляемость сети за счет отсутствия дублирования экземпляров одной информации. Однако, подобная система больше подвержена рискам взлома, требует больших затрат на масштабирование, не исключает потерю данных или их недоступность в случае аппаратного или сетевого сбоя.

Децентрализованная или распределенная архитектура предусматривает хранение медицинских данных на разных узлах с той лишь разницей, что в распределенных сетях владение данными и вычислительные ресурсы равномерно

распределяются по всей сети [21]. Для обеспечения избыточности создается несколько копий фрагментов данных на локальных ресурсах телемедицинской сети или телемедицинских рабочих станциях специалистов, за счет чего исключается вероятность того, что информация будет недоступна. Поскольку при такой организации данные шифруются, фрагментируются и хранятся на разных узлах, снижаются риски несанкционированного доступа. Помимо этого, использование данного подхода позволяет существенно сократить время задержки за счет возможности получения данных с ближайших узлов и является экономически выгодным в случае масштабирования сети. Безопасность данных обеспечивается за счет специального программного обеспечения, используемого на узлах для управления доступом и разрешениями, сквозного шифрования как при хранении, так и при передаче. Для проверки целостности данных могут быть использованы криптографические хэши или деревья Меркла.

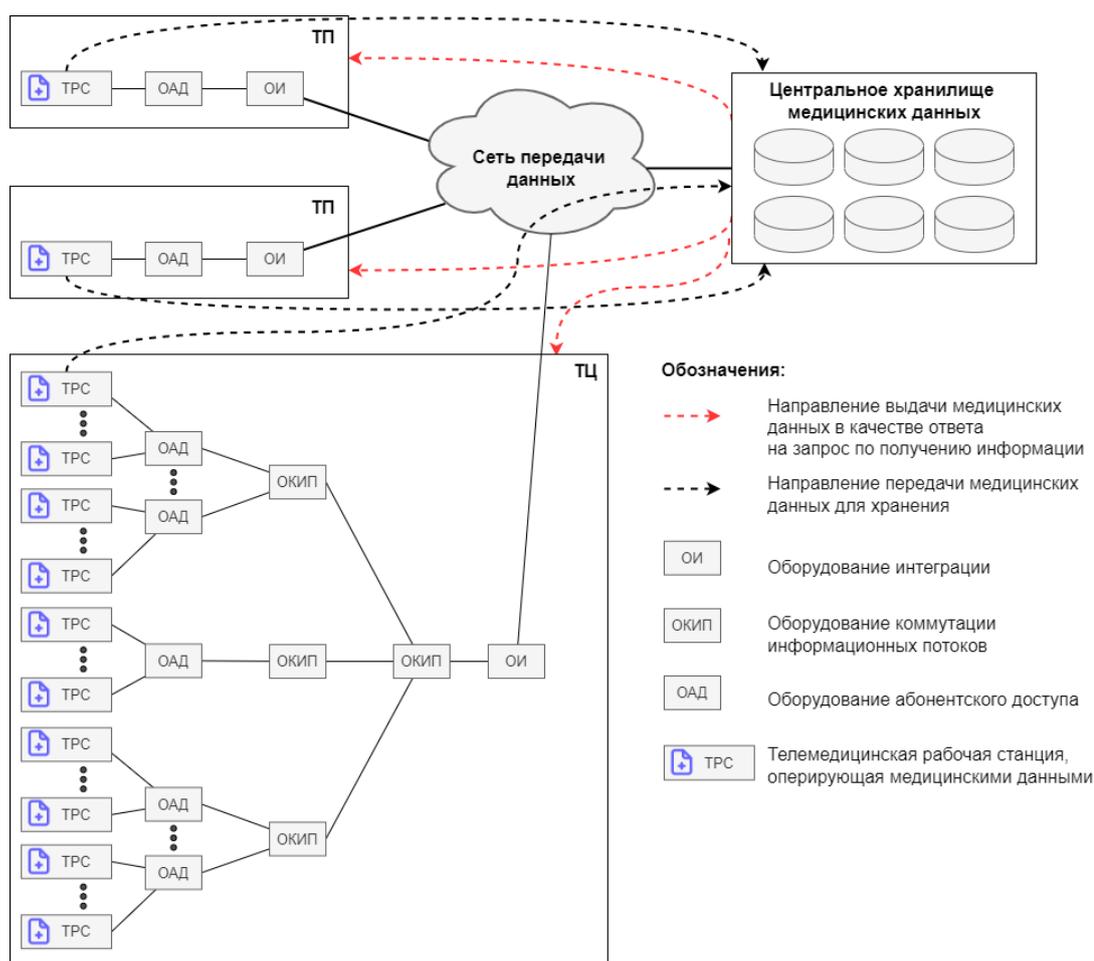


Рисунок 4 – Централизованная схема построения телемедицинской сети

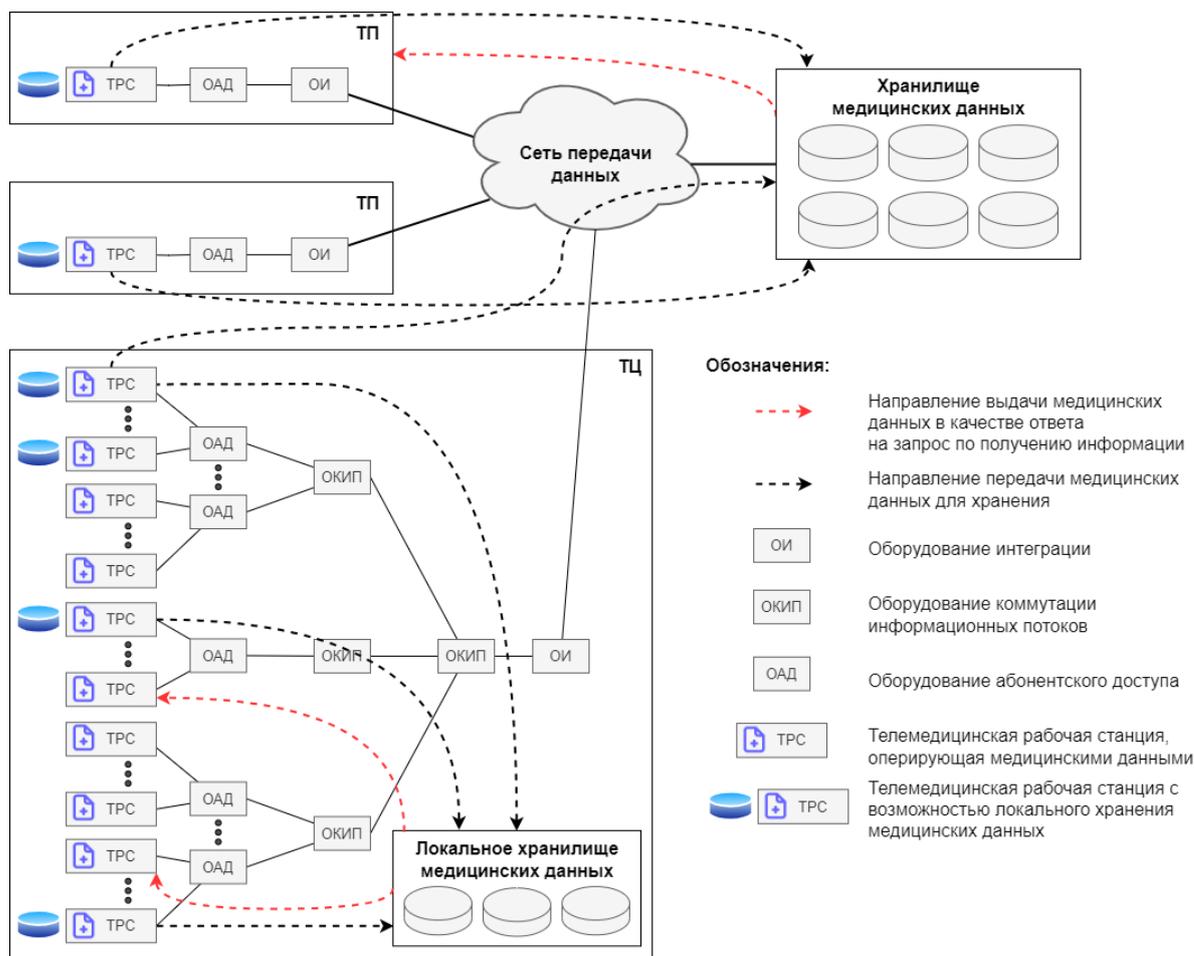


Рисунок 5 – Децентрализованная схема построения телемедицинской сети

На современном этапе развития ИКТ используют технологии, приведенные в таблице 2. Выбор используемых сетевых технологий на практике будет исходить из того, используется ли какое-либо проводное соединение в рассматриваемой области, какой должен быть охват и нагрузка на сеть.

Таблица 2 – Характеристики сетевых технологий

№	Сетевая технология	Скорость, Мбит/с	LAN-сегмент		WAN-сегмент
			Уровень абонентского доступа	Уровень агрегации информационных потоков	Уровень интеграции
1.	Fast Ethernet	100	+		
	Gigabit Ethernet	1000	+	+	
	10 Gigabit Ethernet	10000		+	

№	Сетевая технология	Скорость, Мбит/с	LAN-сегмент		WAN-сегмент
			Уровень абонентского доступа	Уровень агрегации информационных потоков	Уровень интеграции
2.	Wi-Fi	до 500	+		
3.	Спутниковая технология доступа	100			+
4.	4G (LTE)	30	+		+
5.	ADSL	25			+
	VDSL	50			+
6.	Пассивная оптическая сеть (PON)	до 1000			+
7.	Активная оптическая сеть	1000			+

Таким образом, приведенная в разделе информация демонстрирует варианты построения архитектуры телемедицинской сети, раскрывая её компоненты, пункты обслуживания пациентов, обработки данных и элементы хранения.

1.4. Прогноз доли пользователей телемедицинских услуг

Совокупный среднегодовой темп роста рынка роботов телеприсутствия оценивается в 11,53% на период 2018-2026 годы [22]. Одним из ключевых направлений, стимулирующих рост рынка, является индустрия здравоохранения, которая предусматривает:

- Телемедицину.
- Использование роботизированной техники для удаленного наблюдения за пациентами в условиях сельской местности с незамедлительным оповещением медицинского персонала об изменении состояния пациента.

– Роботов телеприсутствия в условиях запрета прямого контакта с пациентами с целью помощи в реабилитации, доставки расходных медицинских материалов сотрудникам, дезинфекции помещений.

– Обеспечение связью пациентов, находящихся в изоляции, с близкими.

До начала 2018 года на территории РФ существовала возможность использования только одного сегмента услуг телемедицины – консультаций «врач-врач». Но принятие Федерального закона № 242-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья» предоставило возможность удаленного оказания помощи пациентам.

Согласно данным, предоставленным Счетной палатой, внедрение телемедицинских технологий позволит сократить тарифные издержки на 8%, уровень плановых госпитализация на 14%, количество койко-мест на 14%, число обращений за экстренной помощью на 15% [23], что подчеркивает эффективность применения технологий.

На текущий момент основная часть оказываемых телемедицинских услуг приходится на расшифровку описаний и интерпретацию данных электрокардиографических исследований (80,4%) и расшифровку рентген-исследований (16%).

Территориально лидерами по применению телемедицинских технологий являются Сибирский и Уральский федеральные округа.

По прогнозам компании «VEB Ventures» среднегодовой темп прироста объема рынка телемедицины в России до 2025 года составит около 116%, достигнув 96 млрд. рублей (Рисунок 6). Мировой рынок телемедицины растет еще более стремительно, за первый квартал 2020 года инвестиции в телемедицину выросли в 3,6 раза по сравнению с аналогичным периодом 2019 года, достигнув суммы в 788 млн. долларов. К 2026 году прогнозируют рост мирового рынка телемедицины до 175 млрд. долларов.

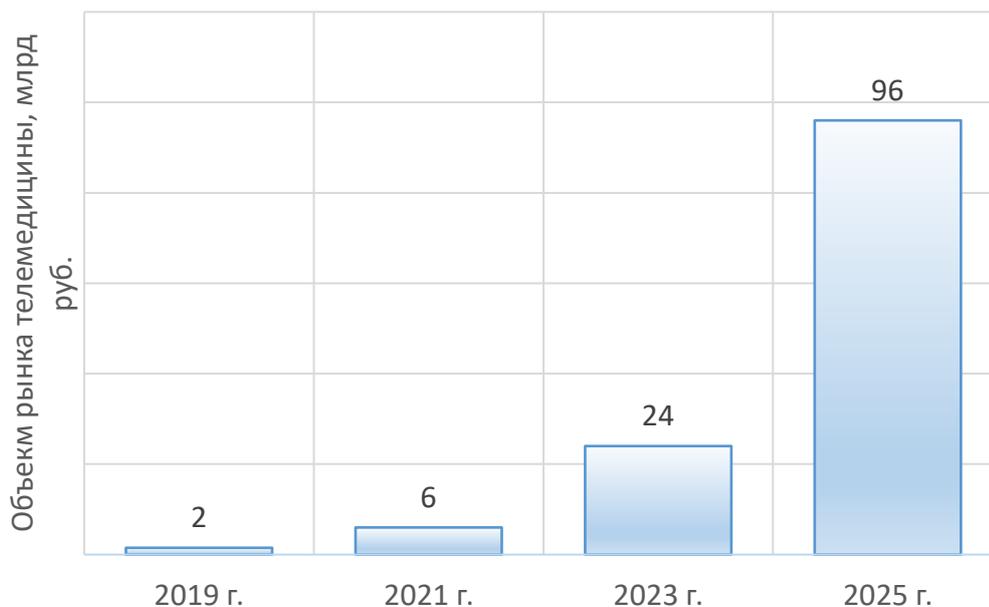


Рисунок 6 – Перспективы развития рынка телемедицины на территории РФ

В качестве ключевых факторов стремительного роста выделяют возможность контроля за здоровьем пациентов с хроническими заболеваниями, предоставление телемедицинских услуг в удаленные районы с низкой плотностью медицинских учреждений, в частности работу с узкоспециализированными врачами, а также совершенствование правовой базы оказания удаленной медицинской помощи [24].

Опираясь на увеличение объема инвестиций в область решений телемедицины, а также на реальные данные по количеству пользователей за период с 2016 по 2022 год (на 2022 год более 20% населения страны пользовались услугами телемедицины) можно судить о том, что телемедицинские технологии являются одним из приоритетных направлений развития цифровой экономики и востребованы на территории РФ (Рисунок 7).



Рисунок 7 – Проникновение телемедицины в РФ

Однако следует отметить препятствия на пути развития указанной технологии. Во-первых, отмечается отсутствие системного механизма для расчета тарифов предоставляемых телемедицинских услуг. На текущий момент в госсекторе предусмотрена оплата за счет средств ОМС на основании соглашений, принятых на региональном уровне ТФОМС органами власти и страховыми организациями. Во-вторых, отсутствует нормативная база и стандарты для установки соответствия используемого оборудования для предоставления услуг. Это влечет за собой вероятность приобретения устройств, не способных обеспечить требования для проведения удаленных медицинских операций. В-третьих, не сформулированы и не утверждены требования к государственным информационным системам медицинских и фармакологических организаций, порядок и сроки предоставления электронных документов и выписок по результатам проведения телемедицинских консультаций, порядок создания электронных согласий на медицинское вмешательство и отказа от него.

Для прогнозирования числа пользователей телемедицинских решений на территории РФ на горизонте до 2030 года рассмотрим два варианта алгоритмов прогнозирования: метод линейной регрессии и использование версии ААА алгоритма экспоненциального сглаживания.

Уравнение метода линейной регрессии имеет вид [25]:

$$y = ax + b \quad (1.1)$$

Расчет коэффициентов выполняется по формулам:

$$a = Y_{\text{ср}} - bX_{\text{ср}}, \quad (1.2)$$

$$b = \frac{\sum(x - X_{\text{ср}})(y - Y_{\text{ср}})}{\sum(x - X_{\text{ср}})^2}, \quad (1.3)$$

где $Y_{\text{ср}}$ и $X_{\text{ср}}$ – среднее арифметическое чисел из выборок известных значений y и x .

Согласно выполненным расчетам, к 2030 году число пользователей телемедицинских услуг превысит 60 млн. (Рисунок 8).

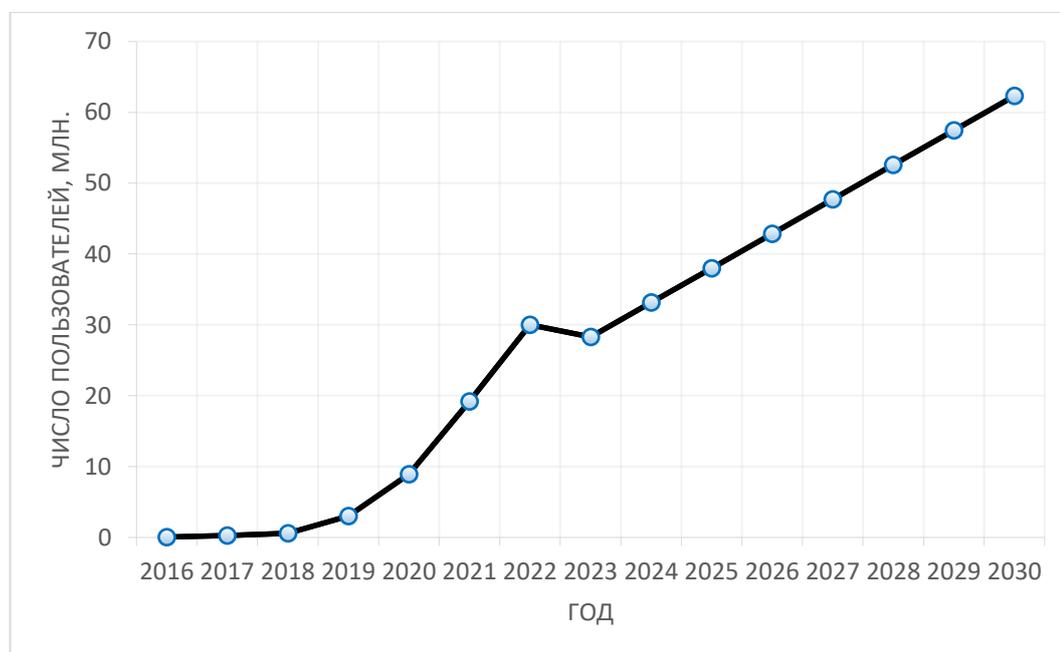


Рисунок 8 – Прогноз числа пользователей телемедицинских услуг методом линейной регрессии

Для увеличения точности прогнозирования решено использовать алгоритм машинного обучения, а именно модель ETS экспоненциального сглаживания с учетом доверительной вероятности $P=95\%$. Содержание данного метода заключается в том, что для вычисления прогноза используются все значения исходного ряда, но с экспоненциальной потерей веса с течением времени. Это повышает степень реагирования на новейшие изменения данных, при этом не теряя историческое поведение ряда. Математически прогноз на период $T + 1$ по

значениям от y до t с использованием экспоненциального сглаживания выглядит так [26]:

$$\hat{y}_{T+1|T} = \alpha \sum_{i=0}^{\infty} (1 - \alpha)^i y_{t-i}, \quad (1.4)$$

где α – калибруемый параметр, y_t – значение переменной y в момент t .

От значения калибруемого параметра зависит вес влияния предыдущих наблюдений: чем выше значение, тем меньше сказывается влияние предшествующих периодов; чем ближе оно к нулю, тем медленнее убывают веса уровней временного ряда, а значит большее влияние имеют прошлые наблюдения.

Для алгоритма ETS на основании исходных данных за период времени до 2022 года рассчитаны некоторые статистические показатели:

– Параметр "альфа" = 0,998. Значение параметра базы: чем оно больше, тем больше вес более новых точек данных.

– Параметр "бета" = 0,001. Значение параметра тренда: чем оно больше, тем больше вес более нового тренда.

– Параметр "гамма" = 0. Значение параметра сезонности: чем оно больше, тем больше вес более нового сезонного периода.

– Показатель MASE = 0,485. Средняя абсолютная масштабированная погрешность – мера точности прогноза.

– Показатель SMAPE = 0,018. Симметричная средняя абсолютная процентная погрешность – мера точности на основе процентных погрешностей.

– Показатель MAE = 2,512. Средняя абсолютная ошибка – мера точности на основе ошибок на прогнозных шагах.

– Показатель RMSE = 3,233. Среднеквадратическая погрешность – мера расхождения между спрогнозированными и наблюдаемыми значениями.

Полученный результат прогнозирования с использованием экспоненциального сглаживания представлен на рисунке 9.

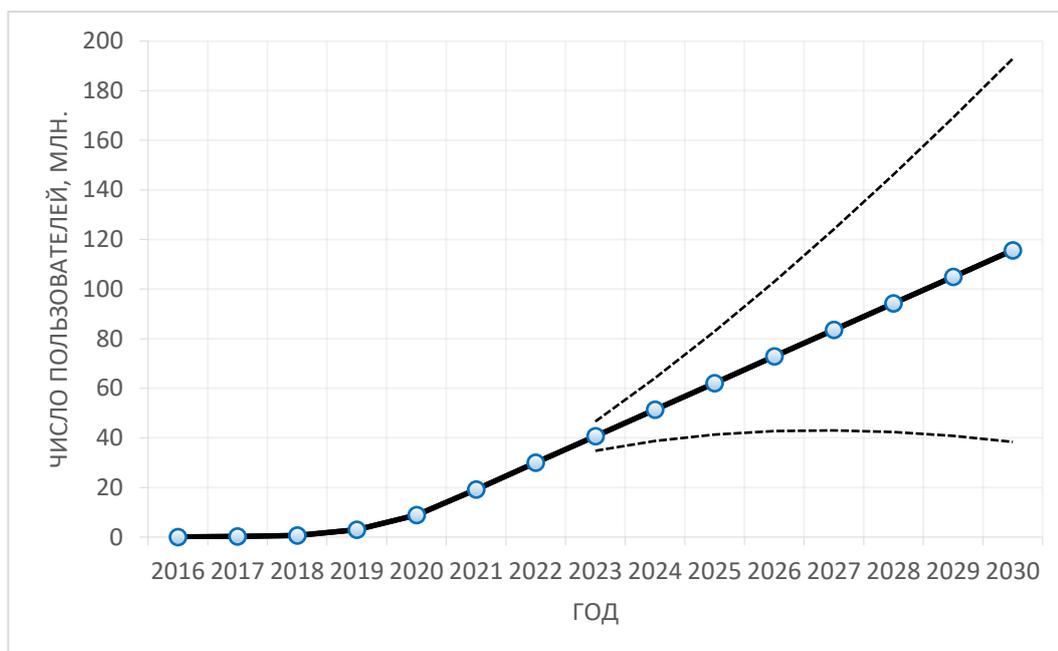


Рисунок 9 – Прогноз числа пользователей телемедицинских услуг методом экспоненциального сглаживания

Помимо кривой прогноза, пунктиром выведены границы доверительного интервала. Можно заметить, что на более ранние периоды прогноза после уже известных, используемых в качестве исходных статистических данных, точность прогноза выше и диапазон разброса возможных значений ниже. Однако, несмотря на это, можно заметить тенденцию стремительного роста числа пользователей телемедицинских услуг до точки, превышающей 100 млн.

1.5. Выводы

1. Анализ требований к сетям на горизонте планирования до 2030 года позволил выделить концепцию сетей связи с ультрамалыми задержками uRLLC как основное направление для реализации услуг телеприсутствия и решений телемедицины. Существующие фундаментальные ограничения по скорости распространения света требуют децентрализации сети, что может способствовать сокращению цифрового разрыва на территории РФ.

2. На основании исторически сформированного перечня потребительских услуг выделены наиболее перспективные сферы применения роботов телеприсутствия, а также отдельно приведена классификация телемедицинских

услуг с разделением в зависимости от функциональных требований на консультации, мониторинг здоровья и обучение.

3. Продемонстрированы варианты построения архитектуры телемедицинской сети по централизованной и децентрализованной схеме, а также с различными сочетаниями подчинения объектов телемедицинской, организацией LAN и WAN сегментов, расположением оборудования провайдера, способами локализации элементов хранения данных и рекомендованными сетевыми технологиями.

4. На основании линейной регрессии и алгоритма экспоненциального сглаживания получен прогноз доли пользователей телемедицинских услуг на горизонте планирования до 2030 года, что показывает в обоих случаях увеличение потребности среди населения с достижением охвата более 100 млн. человек.

ГЛАВА 2. СЕТИ СВЯЗИ КАК ОСНОВА СОКРАЩЕНИЯ ЦИФРОВОГО РАЗРЫВА НА ТЕРРИТОРИИ РФ

2.1. Цифровой разрыв в мире и РФ. Пути решения.

Согласно статистическим данным, полученным из информации о переписи населения РФ от 2021 года, процесс урбанизации продолжается, процент проживающих в сельской местности составляет 25,2%, что составляет более 37 миллионов граждан [27].

В последние годы происходит стремительное развитие информационно-коммуникационных технологий, в связи с чем растет и становится более заметен разрыв между городской и сельской местностями, иначе говоря, цифровой разделение или цифровой барьер [28, 29]. Данное явление можно смело назвать новой формой социального неравенства, единого подхода к объяснению которого не существует. Автор работы [30] предлагает трехуровневое расчленение на основании следующих критериев:

– Наличие материальной базы. Данный этап получил своё развитие с момента появления сети Интернет, когда анализ предполагал использование наличия или отсутствия доступа и количества времени, проведенного в сети. Для возможности использования сети требовалось два аспекта: наличие устройства, поддерживающего выход, и канала связи. Исследования международных организаций, таких как Международный союз электросвязи, Всемирный экономический форум, Всемирный банк (The World Bank), Всероссийский омнибуса GfK, и т.д. доказывают устойчивую тенденцию к сокращению разрыва первого уровня. По состоянию на начало 2022 года общая численность населения Российской Федерации составила 149,5 млн. человек. Из них зафиксировано 129,8 млн. пользователей сети Интернет, т.е. 89% от общей численности населения, что превышает показатели 2021 года на 5,8 млн., т.е. на 4,7%. Если рассматривать данный критерий в более длительной перспективе, можно заметить, что наблюдается уверенный рост числа интернет-пользователей. Например, по данным

2017 года в РФ зафиксирована активность 109,5 млн человек (76,4% населения) [30]. Рассматривая данный вопрос в мировом масштабе, оценив обстановку за последнее десятилетие, также наблюдается тенденция роста числа пользователей Интернет: на начало 2012 года доля от общего числа жителей планеты составляла 30,7%, по данным на начало 2022 года значение достигло 62,5%, т.е. аудитории в 4,95 млрд пользователей. График числа пользователей Интернет за период 2012-2022 гг. представлен на рисунке 10. Согласно полученным данным, наблюдается ежегодное снижение прироста, это объясняется тем, что большая часть территорий уже обеспечена каналами связи и люди различных возрастных категорий обладают навыками работы в сети [31].

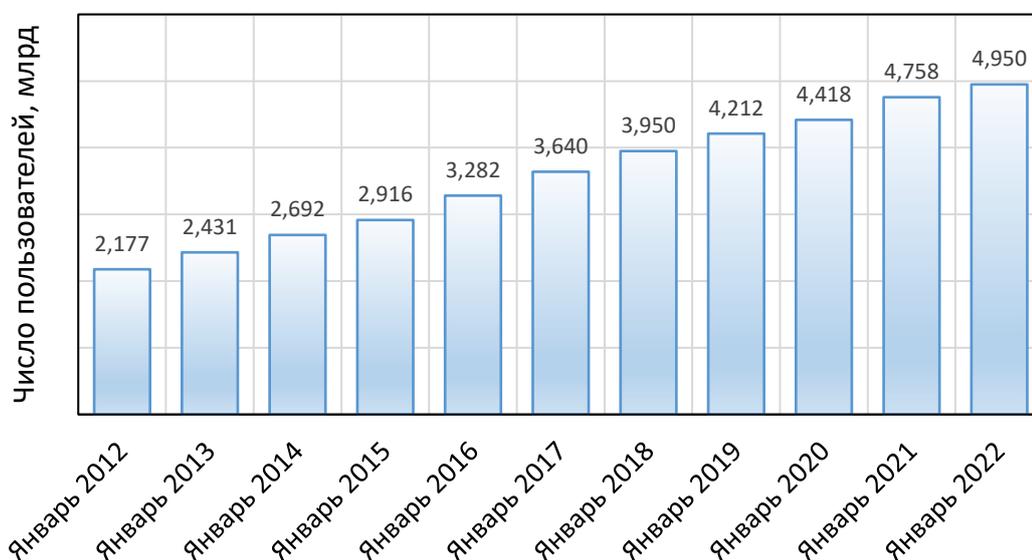


Рисунок 10 – Число пользователей Интернет за период 2012-2022 гг.

Если рассмотреть причины использования интернета у российских граждан, то наиболее часто люди в возрасте от 16 до 64 лет обращаются к ресурсам для поиска информации (84,3% пользователей), на втором месте располагается общение с друзьями и родственниками (66,4%), затем граждане руководствуются интересом к новостям. Полная статистика приведена на рисунке 11.



Рисунок 11 – Распределение частоты использования Интернета для различных целей

Согласно отчету о здравоохранении за 2022 год компании Bain [32], в период пандемии COVID-19, то есть с 2019 по 2021 годы, использование телемедицины в некоторых странах Азиатско-Тихоокеанского региона увеличилось более чем в два раза. Также компания прогнозирует рост спроса на услуги телемедицины к 2024 году примерно у 70% всего населения [31]. Использование телемедицины увеличилось почти вдвое как для потребителей, так и для врачей.

Однако, ввиду разного экономического положения и прочих политических, технологических и социальных факторов, прогресс в цифровом здравоохранении происходит с разной скоростью. Так, в странах Африки лишь 7,6% населения пользуются цифровыми услугами для доступа к получению медицинских сведений.

По данным исследования CfK к началу 2019 года зафиксировано, что 61% от числа всех пользователей Интернет на территории РФ для выхода в сеть использовали мобильные устройства [33]. Наиболее активными являются пользователи в возрасте до 34 лет, старшее поколение отдает предпочтение просмотру контента, в не его созданию.

Однако, высокий показатель общей доступности сетевых ресурсов по стране не гарантирует указанный уровень повсеместно. Так, рассматривая данные о количестве выходов в Интернет по типу местности, ситуация следующая: в городской местности 91% от общей численности населения обращался к интернет-ресурсам, в то время как в сельской местности этот показатель составил 81,2% [34]. Информация по федеральным округам во многом зависит от стоимости фиксированного и мобильного интернета предоставляемых услуг, так максимальная цена зафиксирована в Дальневосточном ФО и превышает минимальные показатели в Крымском и Поволжском ФО, за фиксированный безлимитный доступ на скорости более 3 Мбит/с и мобильный доступ с включённым трафиком соответственно, более чем в два раза [23].

– Навыки использования технологий. Переход к указанному уровню обосновывается переходом к оценке различий в навыках пользования ИКТ. В связи с ростом объема информации и ростом зависимости от неё интернет-навыки становятся чрезвычайно важны и влияют на увеличение социального неравенства. Важно учитывать то, что доступ к сети Интернет предоставляет людям разные возможности в зависимости от их интересов и способностей эффективно использовать полученную информацию. Соответственно, перед учеными встал вопрос комплексного анализа последствий распространения и использования ИКТ, для чего создавались разнообразные сложные аналитические конструкции, что породило иерархическую структуру концепции цифрового разрыва с учетом уровня грамотности, уровня образования, гендерной принадлежности, возраста, знания иностранных языков и т.п. Попытки оценить связь характеристик личности и умение пользоваться ИКТ проводились как с точки зрения знаний английского языка, оценки уровня дохода, пола и возраста, так и через уровень образования. Но данные критерии являются не совсем корректными, т.к. знание какой-либо области не гарантирует умение пользоваться ИКТ, а главным образом постоянное развитие технологий требует регулярную адаптацию и навыков пользователей под новые требования, что возможно либо посредством самообразования, либо в системе дополнительного образования. В связи с чем наиболее правильным подходом

является оценка измерения навыков владения ИКТ, исходя из целей использования сети Интернет.

– Возможности и жизненные шансы. По-настоящему цифровой разрыв стал проблемой в последние годы, когда большая часть людей получила требуемую базу по двум ранее описанным уровням, но остро встал вопрос о том, что различные социальные группы преследуют различные цели, используя ИКТ. Согласно Стратегии развития информационного общества РФ на 2017-2030 гг., принятой 9 мая 2017 года, преодоление разрыва в наличии материальной базы и необходимых навыков решается принудительной цифровизацией основных социальных институтов – образования и медицины, в том числе и за счет цифровизации экономики. С ростом технологического прогресса и развития цифровизации невозможно не заметить появляющиеся риски и негативные последствия такого роста: например, рост случаев мошенничества, рост безработицы, появление технологического разрыва и цифрового рабства. На текущий момент экономика РФ не является цифровой и отстает от стран-лидеров, таких как Япония, Сингапур, США, Израиль. Исследования показывают, что использование новейших ИКТ в ближайшие годы поспособствует улучшению телемедицинской базы, при этом требуемые инвестиции на обновление устройств и их нематериальной составляющей будут минимальны [35].

Проблема цифрового разрыва является одной из наиболее важных, поскольку доступность базовых благ, являющихся для одних обыденной, для значительного процента населения Земли является неизвестной и недоступной.

Пути преодоления рассматриваются на международном уровне и считается, что для его преодоления требуется тесное сотрудничество всех сторон, включая органы власти, институты гражданского общества, общественность и частный сектор экономики. В реализации деятельности по преодолению цифрового разрыва учитывается принцип свободы информации, провозглашенный Генеральной Ассамблеей ООН в ст. 19 Всеобщей декларации прав человека 1948 года, а также ст.29 Всеобщей декларации прав человека.

Опираясь на задачи «Плана действий по построению открытого информационного общества», было решено сделать упор в своей деятельности на:

– Разработку политических решений, направленных на развитие и популяризацию информации как публичное достояние и важнейший международный инструмент содействия к доступу населения к информации.

– Призыв органов государственного управления к обеспечению надлежащего доступа к официальной информации посредством сетевых ресурсов, а также поощрение разработок, нацеленных на доступ и сохранение информации главным образом в области новых технологий.

– Поддержка научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности с целью содействия доступности ИКТ для всех групп населения, вне зависимости от социального статуса, региона проживания и условий существования.

– Призыв органов государственного управления к созданию пунктов коллективного доступа, предоставляющих средства и каналы для бесплатного доступа или по приемлемым ценам к различным сетевым ресурсам. Главным образом, речь о сети Интернет при условии соблюдения прав интеллектуальной собственности и с упором на грамотное применение полученной информации и обмен знаниями.

– Поддержку исследований и содействие в осведомленности граждан о разновидностях программного обеспечения, устройств функционирования любого приложения, средствах создания для того, чтобы расширить конкуренцию на рынке, расширить выбор решений.

– Содействие к применению населением и местными органами власти ИКТ в качестве основного рабочего инструмента.

– Поощрение исследований в вопросах информационного общества, создания инновационных решений в проектировании сетей, адаптации инфраструктуры ИКТ, инструментов на базе ИКТ, направленных на общедоступность ИКТ всем группам населения.

– Поддержание идеи создания и развития единой архивной и библиотечной цифровой системы с адаптацией на информационное общество, что позволило бы объединить все подобные структуры мира и облегчить обмен информацией.

– Содействие в поддержании открытого и разумного в ценовом сегменте доступа к журналам, книгам и архивам научной информации.

– Поддержку научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности, направленной на создание инструментов на широкую аудиторию заинтересованных граждан с целью повышения осведомлённости, анализа и оценки различных разработанных моделей программного обеспечения, которое соответствовало бы оптимальному варианту для использования в определенных условиях местности.

Рассматривая достижения в решении указанной проблемы на мировом уровне, все страны можно разделить на 4 группы, опираясь на темпы развития цифровой экономики: лидеры, страны с замедляющим ростом, перспективные страны и проблемные. Опираясь на рейтинг экономики за 12 лет (с 2008 по 2019 гг.), базирующийся на двух показателях, текущее состояние цифровизации в стране и её скорость [36], к числу стран-лидеров относятся Южная Корея, Гонконг, Сингапур. Китай, Индонезия, Индия, Россия относятся к перспективным странам. А наиболее развитые с технологической точки зрения страны Европы, Азии и Северной Америки приостанавливают свой рост, такие как Япония, Новая Зеландия, Франция [30]. Проблемными считаются страны Африки, такие как Египет, Нигерия, ЮАР, часть Европейских стран (Греция, Хорватия, Венгрия) и страны Южной, Северной и Центральной Америки (Бразилия, Мексика, Коста-Рика).

Существующие государственные программы нацелены на устранение цифрового неравенства, в частности указ президента РФ от 21.07.2020 года «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» определяет национальные цели, включающие сохранение населения, здоровья и благополучия граждан; предоставление возможностей для самореализации и развития талантов; обеспечение комфортной и безопасной среды для жизни;

достойный, эффективный труд и успешное предпринимательство; цифровую трансформацию [37]. С точки зрения сферы телекоммуникационных услуг ключевым пунктом является цифровая трансформация, т.е. внедрение новых цифровых технологий, способных оптимизировать существующие системы управления основными технологическими процессами.

Поскольку создание инновационных решений в проектировании сетей связи и адаптация инфраструктуры ИКТ, инструментов на базе ИКТ, направленных на общедоступность ИКТ всем группам населения, выделяется как одно из ключевых направлений для создания информационного общества и сокращения цифрового разрыва, решено рассмотреть вопрос внедрения сетей связи для предоставления телемедицинских услуг на территории РФ с целью сокращения разрыва.

2.2. Анализ взаимосвязи ВРП, плотности населения и числа медицинских учреждений на душу населения

Очевидно, что характер помощи гражданам отличается в зависимости от заболеваний: хронические нарушения требуют регулярного планового контроля, острые нарушения требуют незамедлительной реакции и госпитализации. Но порой ближайшее учреждение здравоохранения, где могли бы оказать требуемую помощь, располагается далеко, особенно остро проблема стоит в сельской местности, т.к. профильные специалисты и дорогостоящее оборудование локализовано в региональных центрах.

Рассматривая классификацию медицинских учреждений, исходя из уровней оказания медико-санитарной помощи, существует следующее деление [38]:

– Первый уровень – учреждения, осуществляющие первичный контакт с пациентами. К ним относятся фельдшерско-акушерские пункты, здравпункты, станции скорой медицинской помощи, амбулатории, поликлиники различного типа, травмпункты, женские консультации, консультативно-диагностические центры, часть диспансеров, отделы санитарии на предприятиях и даже розничные аптеки.

– Второй уровень – учреждения амбулаторного обслуживания, способные оказать специализированную помощь, а также имеющие в составе стационары, госпитали, клиники медицинских вузов или специализированные и многопрофильные учреждения.

– Третий уровень – учреждения, в которых оказывается специализированная высокотехнологичная помощь. Примерами являются медицинские центры, научно-исследовательские институты, диспансеры.

Ключевой особенностью приведенной иерархии является то, что учреждения более высокого уровня в случае необходимости способны оказать помощь более низкого.

Опираясь на данные статистики Росстата, можно оценить число медицинских организаций, разделенных на больничные и амбулаторно-поликлинические.

Больничные медицинские организации – ключевое звено в системе здравоохранения, осуществляющее медицинскую помощь в условиях стационарного лечения. В рамках предоставления услуг происходит осуществление всех видов лечебно-диагностической высококвалифицированной стационарной помощи с применением сложных методик и дорогостоящего оборудования. В рамках мероприятий, проводимых указанным видом организаций, осуществляются мероприятия профилактического, противоэпидемического и социально-экономического плана [39].

Амбулаторно-поликлинические организации – учреждения, как правило оказывающие медицинскую помощь по территориально-участковому принципу [40]. В число группы относятся организации, осуществляющие первичный контакт с пациентами и неспособные оказывать помощь в условиях стационара. При этом именно в поликлиниках проводится лечение 80% больных по всей стране. Также амбулаторно-поликлинические организации выполняют важную функцию по проведению диспансеризации населения и проведению профилактических мероприятий.

Поскольку для решения проблемы цифрового разрыва важно оценить экономическую ситуацию по регионам и определить регионы с наибольшими

проблемами в плане территориальной доступности медицинских учреждений первого уровня. В качестве основного анализируемого показателя использован Валовой региональный продукт (ВРП), величина, характеризующая уровень экономической активности и качества жизни населения за счет стоимости всех товаров и услуг, произведенных в конкретном регионе [41]. Помимо этого, предлагается оценить взаимосвязь ВРП с плотностью размещения амбулаторно-поликлинических организаций на 1 км², исходя из общего числа организаций и площади субъектов по данным на 01.01.2022 г.

В таблице 3 представлены данные, полученный посредством сопоставления информации о размере Валового регионального продукта на душу населения, плотности размещения амбулаторно-поликлинических организаций и плотности населения по субъектам РФ [42, 43].

Таблица 3 – ВРП на душу населения, значения плотности амбулаторно-поликлинических организаций и плотности населения на 1 км² по субъектам РФ

№ п/п	Субъект Российской Федерации	Валовой Региональный Продукт на душу населения (руб.)	Плотность амбулаторно-поликлинических организаций (число организаций на км ²)	Плотность населения чел/км ²
1	Сахалинская область	2400858	0,003021779	5,61
2	Тюменская область	2384622	0,000368126	9,6
3	Чукотский автономный округ	1898635	3,742302E-05	0,07
4	Москва	1555587	0,996095275	4956,06
5	Магаданская область	1518067	9,08179E-05	0,3
6	Республика Саха (Якутия)	1258707	2,9836E-05	0,31
7	Санкт-Петербург	950587	0,503920171	3843,9
8	Красноярский край	938017	0,000225621	1,21
9	Камчатский край	891049	9,69253E-05	0,67

№ п/п	Субъект Российской Федерации	Валовый Региональный Продукт на душу населения (руб.)	Плотность амбулаторно-поликлинических организаций (число организаций на км ²)	Плотность населения чел/км ²
10	Республика Коми	873159	0,000547059	1,97
11	Мурманская область	828366	0,001083491	5,12
12	Архангельская область	780624	0,000418706	1,93
13	Республика Татарстан	716746	0,008740254	57,52
14	Московская область	670800	0,034762796	173,42
15	Ленинградская область	657680	0,00359918	22,36
16	Иркутская область	645519	0,000471061	3,09
17	Белгородская область	617427	0,005896661	57,03
18	Хабаровский край	608978	0,000415168	1,67
19	Астраханская область	596388	0,003447291	20,52
20	Свердловская область	586468	0,003566521	22,19
21	Томская область	577551	0,000601162	3,43
22	Пермский край	573894	0,002758431	16,22
23	Оренбургская область	564898	0,00317699	15,81
24	Приморский край	561643	0,001961463	11,51
25	Калужская область	541870	0,004768781	33,59
26	Вологодская область	541319	0,00150145	8,02
27	Самарская область	530579	0,008139643	59,35
28	Республика Карелия	527846	0,000836472	3,4
29	Амурская область	521060	0,000453154	2,18
30	Калининградская область	515933	0,009190083	66,93
31	Нижегородская область	505460	0,008287221	41,81

№ п/п	Субъект Российской Федерации	Валовый Региональный Продукт на душу населения (руб.)	Плотность амбулаторно-поликлинических организаций (число организаций на км ²)	Плотность населения чел/км ²
32	Новосибирская область	504043	0,001608947	15,74
33	Липецкая область	499587	0,006819978	47,39
34	Ярославская область	482945	0,006716975	34,64
35	Удмуртская Республика	479563	0,007631773	35,69
36	Республика Хакасия	478781	0,001851581	8,68
37	Тульская область	462903	0,008684139	57,09
38	Новгородская область	457123	0,002385277	10,94
39	Краснодарский край	453882	0,004901636	75,22
40	Курская область	449289	0,004967163	36,77
41	Республика Башкортостан	447535	0,001497058	28,25
42	Челябинская область	445277	0,006370794	39,15
43	Воронежская область	431037	0,007947755	44,5
44	Кемеровская область	416501	0,005682946	27,76
45	Омская область	399371	0,001310755	13,65
46	Владимирская область	394560	0,010383716	46,71
47	Рязанская область	392304	0,005100366	28
48	Ростовская область	389933	0,005397803	41,55
49	Волгоградская область	384677	0,003623413	22,07
50	Тверская область	383529	0,001923968	14,97
51	Смоленская область	370820	0,003897226	18,78
52	Орловская область	360732	0,00531397	29,76

№ п/п	Субъект Российской Федерации	Валовый Региональный Продукт на душу населения (руб.)	Плотность амбулаторно-поликлинических организаций (число организаций на км ²)	Плотность населения чел/км ²
53	Еврейская автономная область	355546	0,001268231	4,37
54	Тамбовская область	350323	0,003453079	29,22
55	Забайкальский край	343033	0,000238486	2,45
56	Пензенская область	342251	0,004959402	30,1
57	Ульяновская область	340581	0,0029585	33,07
58	Саратовская область	333877	0,003526274	23,92
59	Брянская область	332443	0,005881172	34,21
60	Республика Мордовия	332155	0,003789039	30,27
61	Республика Калмыкия	327149	0,000588778	3,63
62	Костромская область	319405	0,002424806	10,52
63	Псковская область	313959	0,001426019	11,3
64	Севастополь	306892	0,056712963	519,48
65	Республика Марий Эл	300163	0,006631016	29,05
66	Ставропольский край	295436	0,006348247	42,37
67	Кировская область	292192	0,001993786	10,49
68	Республика Бурятия	290301	0,00023055	2,81
69	Курганская область	280971	0,001664615	11,57
70	Чувашская Республика	278359	0,014174344	66,39
71	Алтайский край	271320	0,001238125	13,79
72	Республика Алтай	268657	0,00024757	2,37
73	Ивановская область	249592	0,006204226	46,52
74	Республика Северная Осетия - Алания	248172	0,015400025	87,27
75	Республика Крым	245412	0,012231126	73,31
76	Республика Тыва	243052	0,000237242	1,94

№ п/п	Субъект Российской Федерации	Валовый Региональный Продукт на душу населения (руб.)	Плотность амбулаторно-поликлинических организаций (число организаций на км ²)	Плотность населения чел/км ²
77	Республика Адыгея	231886	0,008213552	59,48
78	Республика Дагестан	231886	0,005370997	61,89
79	Карачаево-Черкесская Республика	197658	0,003922393	32,61
80	Кабардино-Балкарская Республика	197218	0,013231756	69,62
81	Чеченская Республика	164617	0,004328737	91,35
82	Республика Ингушетия	145723	0,015369837	162,24

Исходя из данных таблицы, видно, что разброс между первой позицией и последней по уровню плотности размещения амбулаторно-поликлинических учреждений огромный. Плотность амбулаторно-поликлинических организаций по Москве, Санкт-Петербургу, Севастополю и Московской области соизмерима с плотностью населения в перечисленных субъектах, что подтверждает необходимость размещения учреждений с повышенной частотой и на других территориях. По остальным субъектам также наблюдается тенденция зависимости числа мед. учреждений первого уровня от плотности населения.

Наиболее высокие показатели отношения амбулаторно-поликлинических организаций к численности населения наблюдаются в Сахалинской области, Чукотском автономном округе и Еврейской автономной области. Это обосновано тем, что ввиду низкой плотности населения на указанных территориях количество построенных медицинских учреждений способно принять большее число граждан.

Нехватка медицинских учреждений первого уровня наблюдается в Тюменской, Белгородской, Новосибирской, Ульяновской областях, Якутии, Краснодарском, Алтайском и Забайкальском крае, Башкортостане, Бурятии, Дагестане, Чеченской Республике и Ингушетии (Рисунок 12). Однако, число медицинских учреждений не позволяет однозначно судить о качестве и количестве предоставляемых медицинских услуг, ведь важно учитывать численность сотрудников и их специализацию.

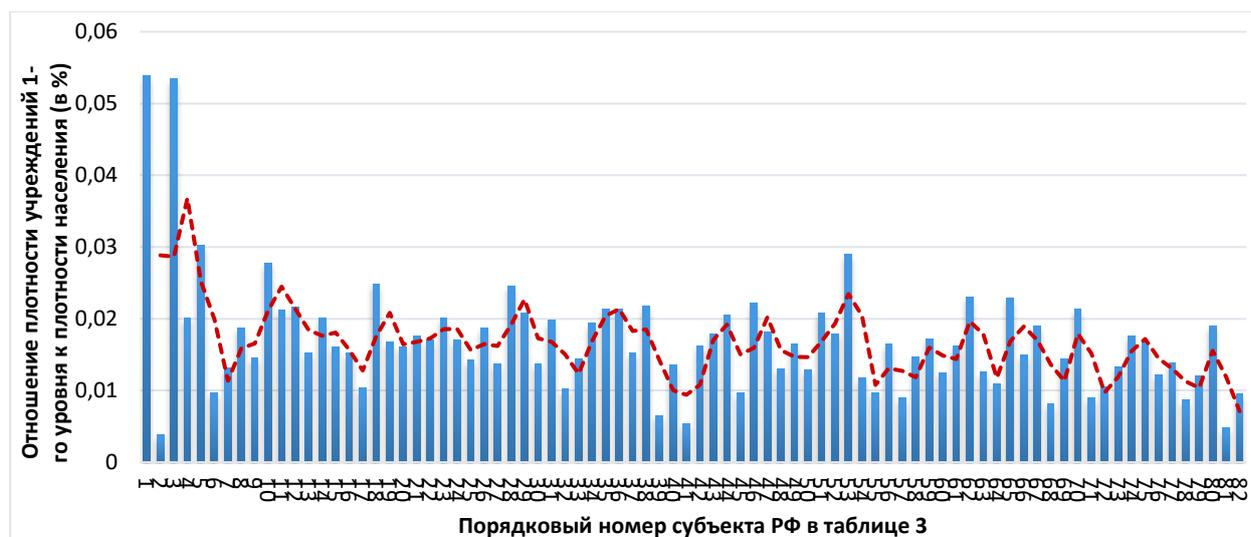


Рисунок 12 – График отношения плотности амбулаторно-поликлинических организаций к плотности населения по субъектам РФ

Оценивая отношение Валового Регионального Продукта на душу населения к численности медицинских учреждений, можно сделать вывод, что территории с более высокой плотностью амбулаторно-поликлинических организаций на км² имеют меньшие значения, чем субъекты с недостатком медицинских учреждений (Рисунок 13), а значит очевидна зависимость указанных параметров друг от друга.

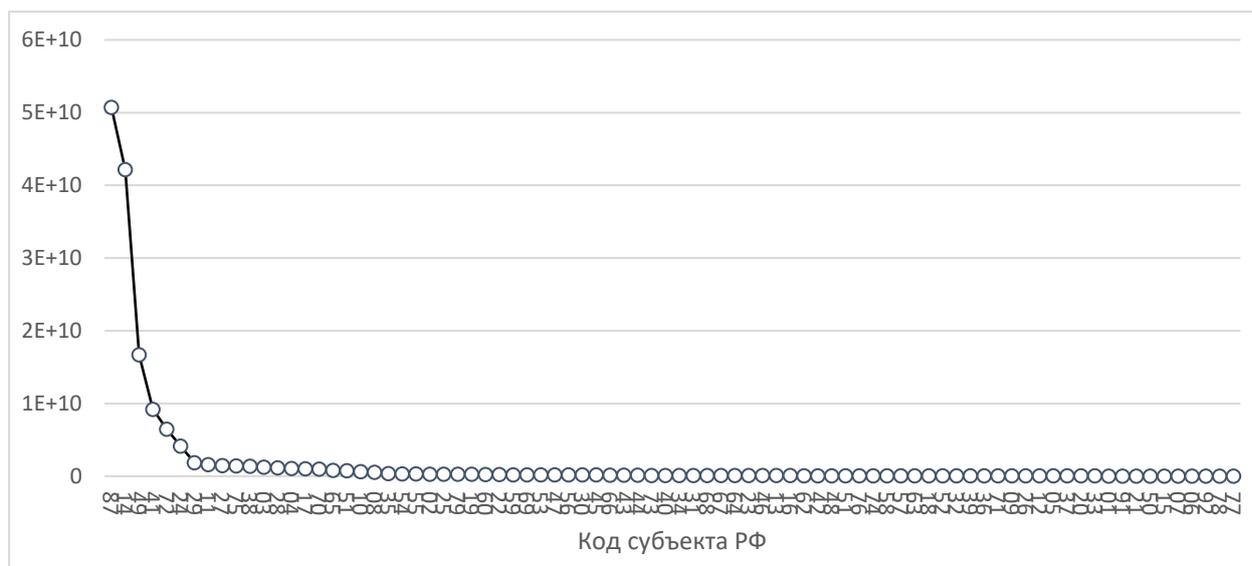


Рисунок 13 – Отношения ВРП к числу амбулаторно-поликлинических организаций для субъектов РФ

Поскольку часть регионов РФ демонстрирует проблему нехватки медицинских организаций при высоких показателях суммарной добавленной стоимости производимых товаров и предоставляемых услуг, для получения полной картины следует оценить численность медицинского персонала и мощность, т.е. количество посещений в смену, амбулаторно-поликлинических организаций. Данная информация отражена в таблице 4, где указана тенденция изменения числа мед. работников с высшим и средним специальным образованием за период 20 лет. Число педиатров указано на 10 000 детей в возрасте 0 – 17 лет, до 2012 г. – на 10 000 детей в возрасте 0 – 14 лет. Число акушерок и акушер-гинекологов на 10 000 женщин.

Таблица 4 – Число медицинского персонала с высшим и средним образованием на 10 000 человек населения за 20 лет.

	2000	2010	2018	2019	2020
Численность врачей	46,8	50,1	47,9	48,7	50,4
терапевтического профиля	11,0	11,5	11,8	12,0	12,4
хирургического профиля	4,3	4,9	5,1	5,2	5,4
акушеры-гинекологи	5,4	5,7	5,6	5,6	5,6
педиатры	28,2	31,6	20,2	20,3	20,5
офтальмологи	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3

	2000	2010	2018	2019	2020
оториноларингологи	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0
неврологи	1,6	1,9	1,9	2,0	2,0
психиатры и наркологи	1,6	1,7	1,5	1,5	1,5
фтизиатры	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5
дермато-венерологи	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
рентгенологи и радиологи	1,3	1,3	1,5	1,5	1,6
врачи по лечебной физкультуре и спортивной медицине	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
врачи санитарно- противоэпидемической группы и врачи по общей гигиене	1,9	1,2	0,9	0,9	0,9
стоматологи	3,8	4,2	4,3	4,3	4,5
Численность среднего медицинского персонала	107,6	105,6	101,6	101,6	102,0
фельдшеры	12,7	11,2	9,2	9,3	9,3
акушерки	9,9	8,5	7,0	7,0	6,6
медицинские сестры	69,8	72,7	72,5	72,7	73,1
лаборанты, медицинские лабораторные техники	7,3	7,1	6,0	6,0	5,9
рентгенолаборанты	2,0	2,3	2,6	2,7	2,8

Общее число специалистов с высшим образованием растет, несмотря на некоторые временные диапазоны падений. Однако, если оценить ситуацию по профилям, заметно значительное сокращение числа педиатров, это объясняется низкой заинтересованностью специалистов в должности в связи с большой ответственностью, необходимостью проведения участковых приемов и регулярных выездов на дом.

Хоть число терапевтов, приходящихся на взрослое население, ниже, немаловажно отметить число вызовов и обращений, а также количество коек, предназначенных для приема граждан в условиях стационара. Статистика в разрезе федеральных округов представлена в таблице 5. Для удобства анализа данных решено визуализировать и соотнести данные по федеральным округам и областям,

а также привести информацию о численном соотношении числа амбулаторно-поликлинических организаций к больничным. Это позволит наиболее объективно выделить регионы с повышенной нагрузкой по обслуживанию населения. Общее число специалистов среднего профиля сокращается, это объясняется сокращением акушерок и лабораторных техников.

Таблица 5 – Число больничных коек и мощность амбулаторно-поликлинических организаций.

	Число больничных коек на 10 000 человек	Мощность амбулаторно- поликлинических организаций за смену	Отношение числа амбулаторно- поликлинических организаций к числу больничных
Российская Федерация	81,3	283,7	4,52
Центральный федеральный округ	79,4	291	6,66
Белгородская область	69,5	271,8	3,81
Брянская область	75,5	300,6	4,18
Владимирская область	84,4	361,6	5,21
Воронежская область	79,1	255,7	5,46
Ивановская область	82,2	256,7	2,71
Калужская область	84	299,8	5,07
Костромская область	96,3	289,4	3,48
Курская область	86,7	272,5	2,76
Липецкая область	83,2	353,2	3,73
Московская область	84	239,7	10,14
Орловская область	78	293,4	3,54
Рязанская область	77,1	273,8	4,70
Смоленская область	94,4	303,8	4,04
Тамбовская область	73,9	295,5	2,77
Тверская область	92	239,9	2,28
Тульская область	86,1	274,1	4,37
Ярославская область	91,5	290,5	5,28

	Число больничных коек на 10 000 человек	Мощность амбулаторно- поликлинических организаций за смену	Отношение числа амбулаторно- поликлинических организаций к числу больничных
г. Москва	71,6	328	17,47
Северо-Западный федеральный округ	80,8	333,2	4,62
Республика Карелия	78,4	298,3	4,72
Республика Коми	96,4	407	4,85
Архангельская область	80,6	401,8	4,12
в том числе:			
Ненецкий автономный округ	74,1	303	5,00
Архангельская область без автономного округа	80,8	405,9	4,09
Вологодская область	77,1	315,7	4,25
Калининградская область	77,8	268,5	2,96
Ленинградская область	59,6	256,1	6,29
Мурманская область	103,6	302	4,13
Новгородская область	81,3	396,3	3,82
Псковская область	94,4	311,2	2,55
г. Санкт-Петербург	82,8	354,6	5,80
Южный федеральный округ	78,6	239,5	3,94
Республика Адыгея	67,9	264,1	3,20
Республика Калмыкия	77,3	282,9	1,91
Республика Крым	83,1	186,9	6,51
Краснодарский край	73	231,6	2,47
Астраханская область	86,7	281,3	4,97
Волгоградская область	87,3	271,2	4,81
Ростовская область	78,3	246,1	4,22

	Число больничных коек на 10 000 человек	Мощность амбулаторно- поликлинических организаций за смену	Отношение числа амбулаторно- поликлинических организаций к числу больничных
г. Севастополь	80,5	188,6	4,90
Северо-Кавказский федеральный округ	76,4	228,8	3,33
Республика Дагестан	70	242,5	2,29
Республика Ингушетия	48,7	200,3	3,00
Кабардино-Балкарская Республика	77,8	221,3	4,85
Карачаево-Черкесская Республика	83,5	229,4	2,67
Республика Северная Осетия - Алания	96,4	276,6	3,97
Чеченская Республика	62,9	181,2	1,71
Ставропольский край	89,4	234,4	4,94

Из таблицы видно, что в большей степени обеспечен больничными койками Северо-Западный федеральный округ. Средний показатель по Российской Федерации – 81,3. Значительно ниже среднего обеспеченность больничных организаций местами для размещения пациентов в Белгородской и Ленинградской областях, Республике Адыгея и Республике Ингушетия, а также в Чеченской Республике. Соответственно, указанные территории особенно остро нуждаются в финансировании бюджетных медицинских учреждений и открытии дополнительных мест размещения пациентов.

Наибольшая нагрузка на амбулаторно-поликлинические организации лежит на Северо-Западном федеральном округе. При этом значительное превышение среднего показателя по Российской Федерации наблюдается в Республике Коми, Владимирской, Архангельской и Новгородской областях, а также в г. Санкт-Петербург. Подобное превышение может быть обосновано высоким числом

специалистов, за счет чего за смену предоставляется возможность обслуживания большего числа пациентов. Но также проблема может заключаться и в чрезмерной нагрузке на персонал. Поэтому следует оценить обеспеченность населения врачами и средним медицинским персоналом с разделением по регионам (Рисунки 14-17).



Рисунок 14 – Статистика числа больничных коек и количества обслуженных пациентов за одну смену мед. персонала в амбулаторно-поликлинической организации по ЦФО

По г. Москва, Липецкой и Владимирской областям большую нагрузку по приему пациентов берут на себя амбулаторно-поликлинические организации. Калужская и Смоленская области хорошо обеспечены местами стационарного размещения при средних показателях мощности поликлинического персонала за смену.



Рисунок 15 – Статистика числа больничных коек и количества обслуженных пациентов за одну смену мед. персонала в амбулаторно-поликлинической организации по СЗФО

По Северо-Западному федеральному округу большим числом обращений в организации амбулаторно-поликлинического профиля обладают Республика Коми, Архангельская и Новгородская области, г. Санкт-Петербург. Мурманская область демонстрирует наиболее удачное соотношение числа больничных коек для размещения пациентов к мощности амбулаторно-поликлинического персонала за смену.



Рисунок 16 – Статистика числа больничных коек и количества обслуженных пациентов за одну смену мед. персонала в амбулаторно-поликлинической организации по ЮФО

Большая средняя нагрузка на амбулаторно-поликлинические организации в ЮФО наблюдается в Республике Адыгея, Республике Калмыкия, Астраханской и Волгоградской областях. При этом все области федерального округа обладают примерно одинаковыми условиями для размещения граждан в стационаре (средний показатель 67-81 место на 10 000 населения).



Рисунок 17 – Статистика числа больничных коек и количества обслуженных пациентов за одну смену мед. персонала в амбулаторно-поликлинической организации по СКФО

На Республику Северная Осетия – Алания приходится большее число обращений населения за смену, при этом на Республику выделено и большее число больничных коек. Ставропольский край также обладает высоким числом коек для приема пациентов, но мощность амбулаторно-поликлинических организаций за смену ниже.

На основании полученной информации и приведенной в данном разделе статистике можно сделать вывод, что для повышения доступности обращений за медицинской помощью нецелесообразно открывать новые поликлиники, закупать оборудование и увеличивать штат сотрудников, заполнив территории субъектов РФ. Решением ситуации является повсеместное внедрение телемедицинских технологий, что позволит сократить цифровой разрыв.

2.3. Типизация территорий РФ для внедрения телемедицинских услуг

Как было отмечено ранее, внедрение телемедицинских услуг имеет высокую важность в связи с территориальной удаленностью некоторых населенных пунктов от ближайших региональных и областных центров, низкой плотностью населения, малым числом медицинских учреждений и неполным спектром предоставляемых медицинских услуг.

Рассмотрим классификацию территорий с точки зрения их заселенности, географического расположения и состава. Муниципальные образования РФ разделяются на муниципальные районы и городские округа, в первую ветвь которого входят сельские поселения, городские поселения и межселенная территория, а представителями городского округа являются городские поселения [44].

Сельское поселение представляет собой один или несколько объединенных общей территорией сельских населенных пунктов (поселок, село, станица, деревня, хутор, кишлак, аул и др.), местное самоуправление в которых осуществляется непосредственно населением или выборными органами местного самоуправления. Количество жителей, проживающих на объединяемых территориях, также влияет на его состав, так в случае включения одного населенного пункта в состав поселения число граждан должно превышать 1000 человек, а в ситуации с высокой плотностью населения – более 3000 человек. Если сельское поселение состоит из нескольких населенных пунктов, каждый должен включать менее 1000 граждан, для территорий с высокой плотностью населения – менее 3000 человек. Общее число жителей, как правило, не превышает 15-20 тысяч, однако, существуют исключения (по состоянию на 2013 год в Орджоникидзевском сельском поселении насчитывалось более 60000 граждан, но позднее эта территория вошла в состав городского округа Сунжа). Границы сельских поселения определяются с учетом расположения его административного центра так, чтобы у каждого жителя была возможность добраться пешком. Исключения составляют лишь территории с низкой плотностью населения, отдаленный и труднодоступные местности. С

течением времени наблюдается сокращение числа сельских поселений, так по состоянию на начало 2008 года существовало 19 861 поселение, а на текущий момент зафиксировано 16 248.

К категории муниципального района «городское поселение» относятся только те, которые не являются городскими округами. В состав указанного вида поселений входит строго один город или один поселок, а также территории, предназначенные для развития его транспортной, социальной или иной инфраструктуры, не являющиеся самостоятельно муниципальными образованиями. По данным Росстата также наблюдается сокращение числа городских поселений (на 01.01.2008 1734 поселения, на начало 2021 году 1336). Упразднение городских поселений, как правило, связано с преобразованием в иные виды муниципальных образований РФ. В некоторых областях указанный вид поселений полностью отсутствует, в частности, городские поселения Калининградской, Магаданской, Московской и Сахалинской областей в 2020 году были преобразованы в городские округа, городские поселения Ставропольского края, Удмуртии и Ямало-Ненецкого автономного округа были упразднены.

К межселенной территории в муниципальном праве РФ относятся территории, находящиеся вне границ сельских и городских поселений. По законодательству к указанной категории могут быть отнесены площади с низкой плотностью сельского населения, за исключением случаев, когда плотность населения субъекта или отдельного муниципального района более чем в три раза ниже среднего показателя плотности населения по РФ. На таких территориях регулировка вопросов местного значения производится органами местного самоуправления муниципального района, доходы поступают также в бюджет муниципального района. Площадь межселенных территорий варьируется в разных областях РФ, а их роль в общей структуре страны регулируется. Так, территории Амурской, Псковской, Тюменской области, Красноярского края, Хакасии, Республики Коми и Ненецкого автономного округа выделены как отдельные объекты административно-территориального устройства. Статистика изменения числа межселенных территорий отсутствует.

Городской округ представляет собой один населенный пункт или объединение нескольких по признаку общей территории, не входящие в состав муниципального района, а также где местное самоуправление реализует полномочия ФЗ от 6 октября 2003 года № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» и способно осуществлять полномочия иных выпускаемых федеральных законов и законов субъектов РФ. По данным Росстата наблюдается постоянный рост числа городских округов: в 2008 году был зафиксирован 521, по состоянию на 01.01.2021 633 городских округа. Городские округа, как правило, включают в своем названии наименования административных центров в именительном падеже или в производной форме, однако, есть исключения.

Поскольку в 1 главе замечено, что наиболее важным вопросом в построении сетей 2030 является обеспечения ультрамалых задержек, а в предыдущем разделе сделан вывод, что наиболее правильным решением для решения проблемы цифрового разрыва является распространение телемедицинских услуг, дополнительно произведем оценку расстояний между сельскими населенными пунктами (СНП) и районными центрами (РЦ), а также между районными и областными центрами (ОЦ).

На рисунках 18-24 приведены средние показатели расстояний по федеральным округам РФ.

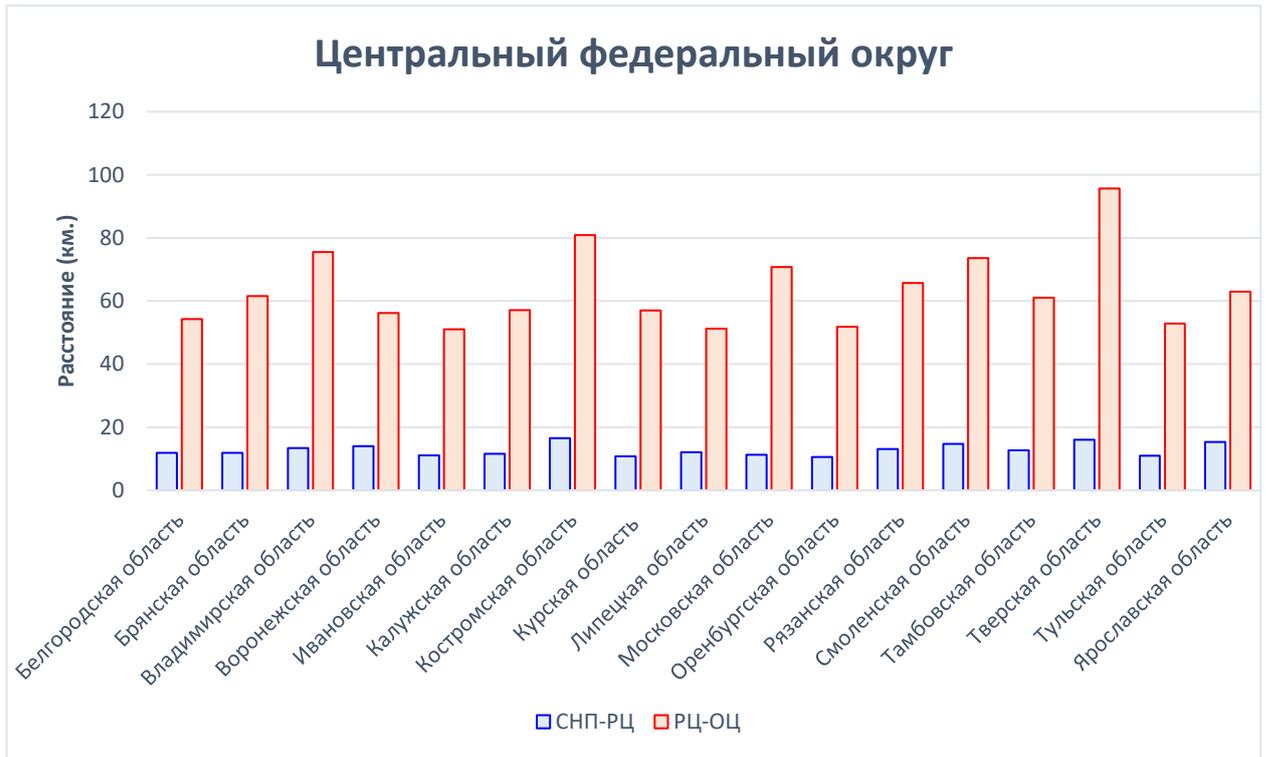


Рисунок 18 – Средние расстояния между СНП – ОЦ и РЦ – ОЦ для Центрального федерального округа



Рисунок 19 – Средние расстояния между СНП – ОЦ и РЦ – ОЦ для Северо-Западного федерального округа

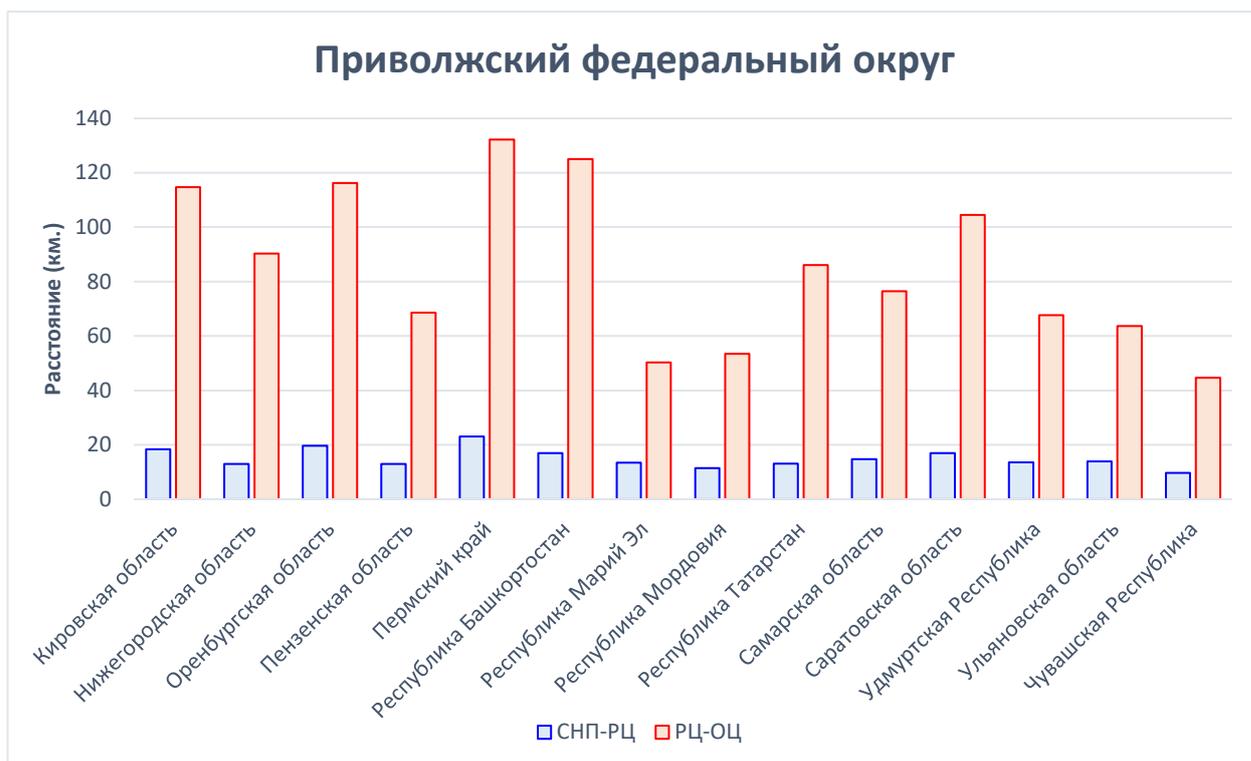


Рисунок 20 – Средние расстояния между СНП – ОЦ и РЦ – ОЦ для Приволжского федерального округа в км



Рисунок 21 – Средние расстояния между СНП – ОЦ и РЦ – ОЦ для Южного федерального округа

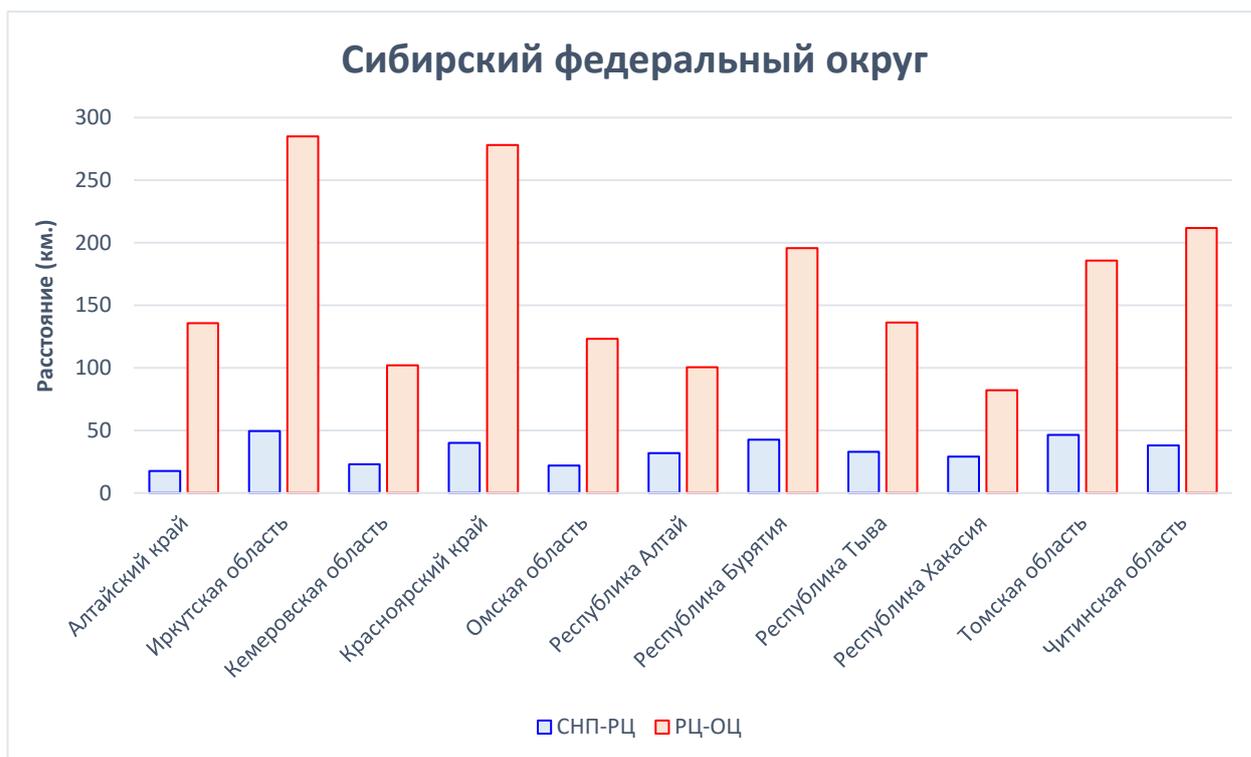


Рисунок 22 – Средние расстояния между СНП – ОЦ и РЦ – ОЦ для Сибирского федерального округа

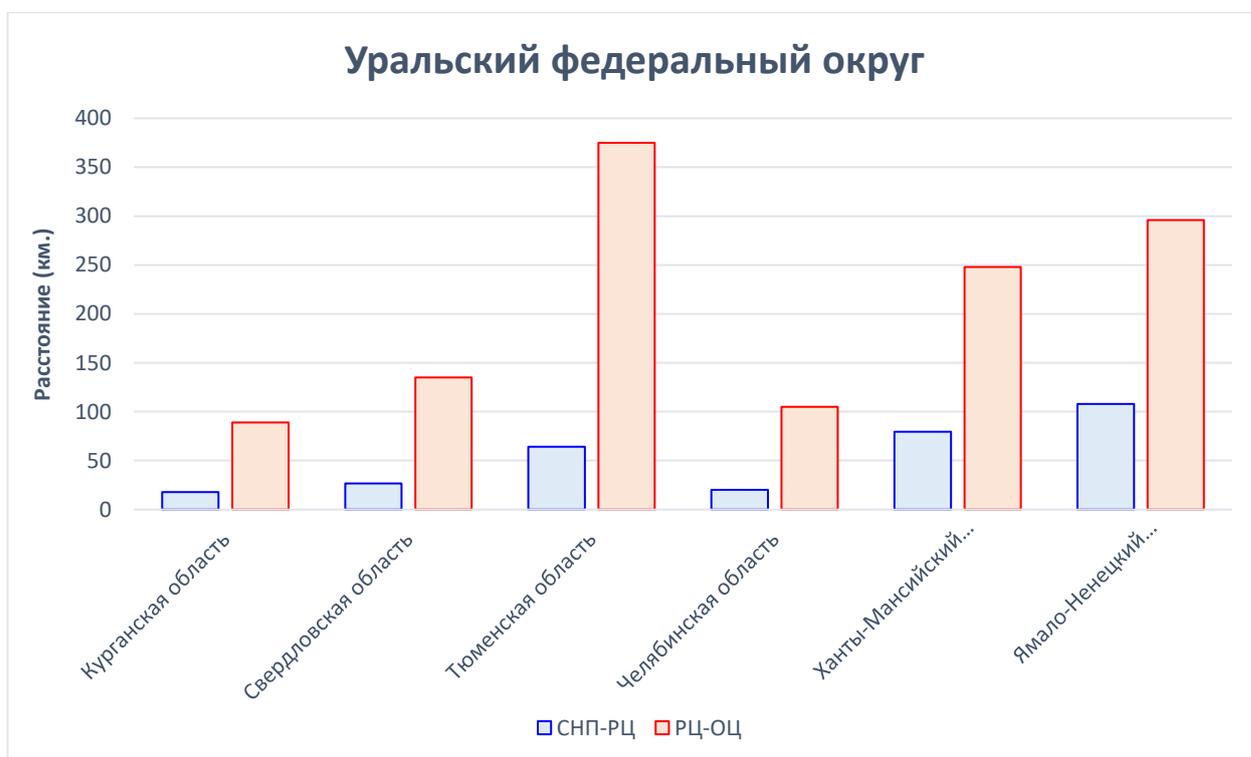


Рисунок 23 – Средние расстояния между СНП – ОЦ и РЦ – ОЦ для Уральского федерального округа



Рисунок 24 – Средние расстояния между СНП – ОЦ и РЦ – ОЦ для
Дальневосточного федерального округа

Полученная информация позволяет условно разделить федеральные округа на 2 группы, предусматривающие структурные отличия для внедрения сетей с ультрамалыми задержками ввиду имеющихся требований по круговой задержке при предоставлении услуг.

1 группа: Центральный федеральный округ, Приволжский федеральный округ и Южный федеральный округ. Поскольку средние расстояния между сельскими населенными пунктами и районными центрами не превышают значения 16.5 км, 23 км и 25 км, даже учитывая поправку на прокладку оптоволоконных кабелей, при размещении ЦОД в районных центрах возможно обеспечение круговой задержки в 1 мс.

Значения средних расстояний между районными и областными центрами, не превышающие 95.7 км, 132.2 км и 114.4 км, соответственно, позволяют сделать вывод, что размещение ЦОД в областных центрах позволит обеспечить предоставление услуг с требованиями по задержке не менее 5 мс.

Требования при предоставлении телемедицинских услуг будут рассмотрены в следующей главе, однако их показатели не превышают значения, предъявляемые

для Тактильного Интернета или дополненной реальности, т.е. задержка не превышает 1 и 5 мс соответственно.

2 группа: Северо-Западный федеральный округ, Сибирский федеральный округ, Уральский федеральный округ и Дальневосточный федеральный округ. Поскольку максимальное среднее расстояние между сельскими населенными пунктами и районными центрами превышает 50 км, нельзя судить о возможности повсеместного предоставления услуг Тактильного Интернета, а значит и о круговой задержке в 1 мс при расположении ЦОД в районных центрах.

Для предоставления услуг дополненной реальности и других услуг с требованиями по задержке не менее 5 мс целесообразно использовать ЦОД районных центров, т.к. расстояния между районными и областными центрами слишком велики и превышают 250 км. Для предоставления услуг с задержкой в 1 мс необходимо прибегнуть к сегментированию территорий и расположению нескольких ЦОД, как на уровне районных центров, так и областных. Это позволит обеспечить соответствие требованиям по качеству обслуживания и качеству восприятия при предоставлении услуг.

2.4. Новая мера для оценки цифрового разрыва

На рисунках 25-28 приведены аппроксимации статистических данных таблицы 3 прямой, экспонентой, логарифмической функцией и полиномиальной второй степени.

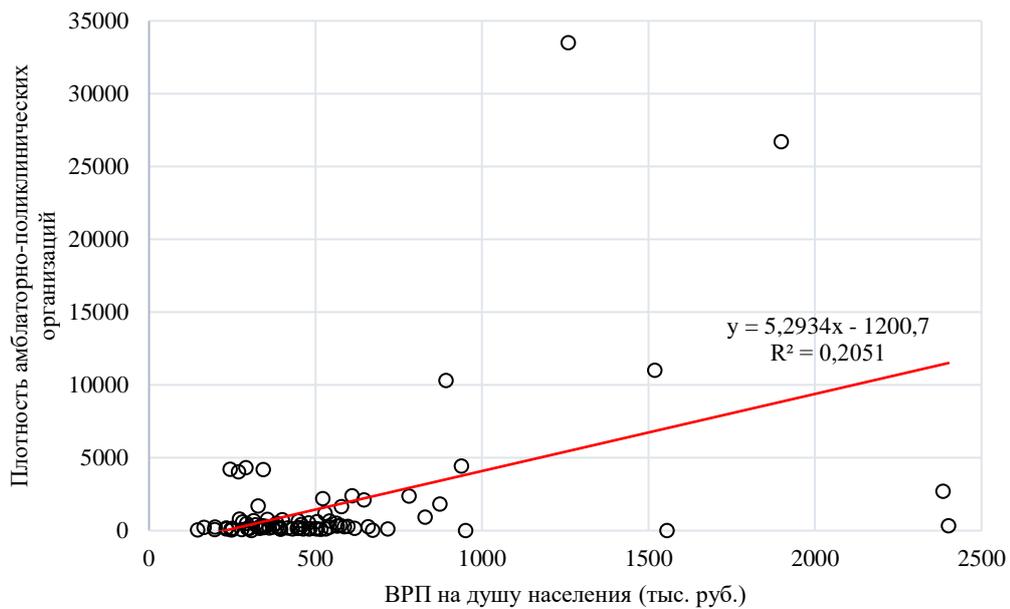


Рисунок 25 – Аппроксимация статистических данных линейной функцией

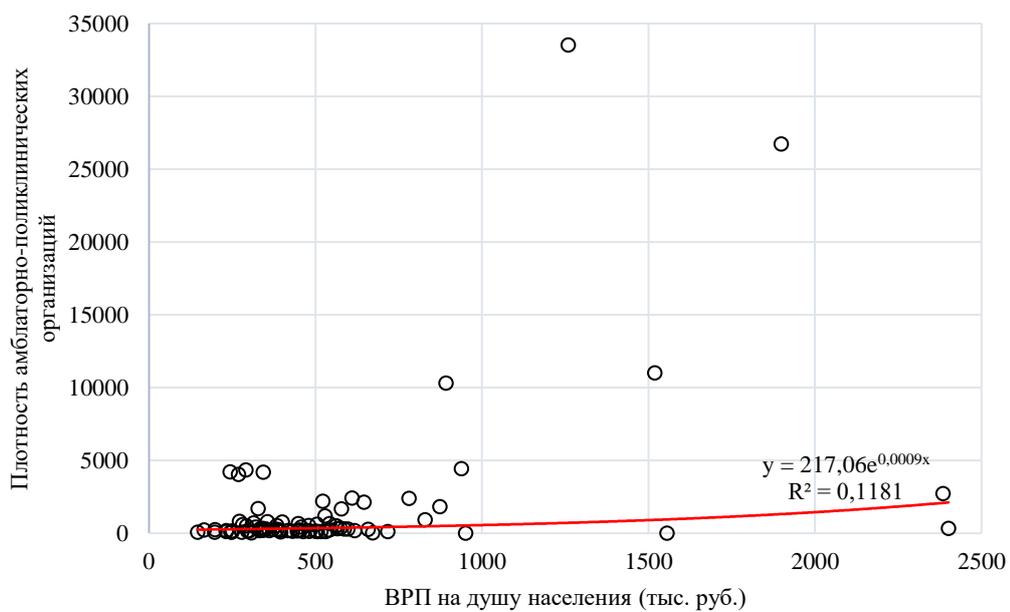


Рисунок 26 – Аппроксимация статистических данных экспоненциальной функцией

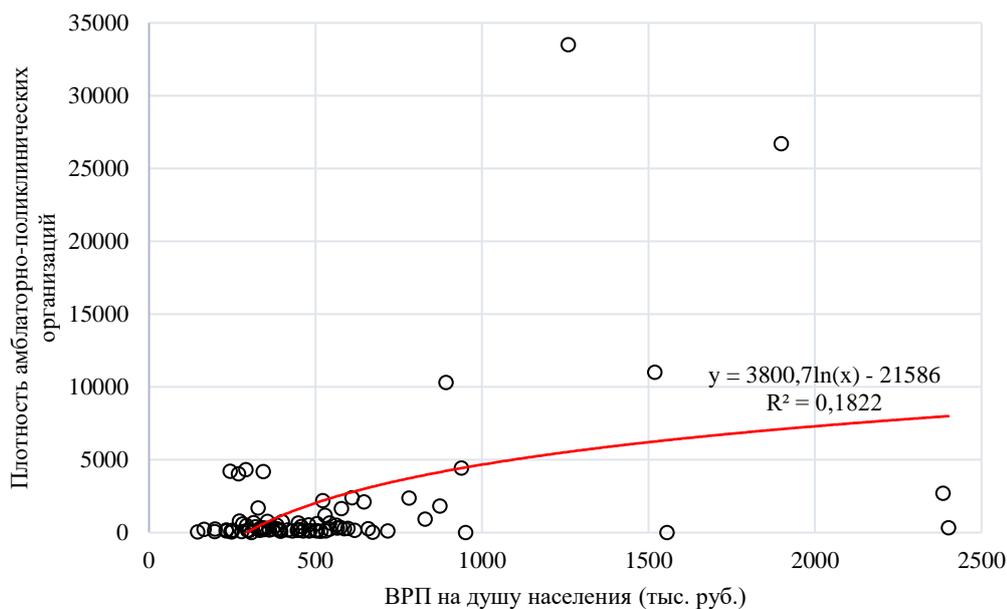


Рисунок 27 – Аппроксимация статистических данных логарифмической функцией

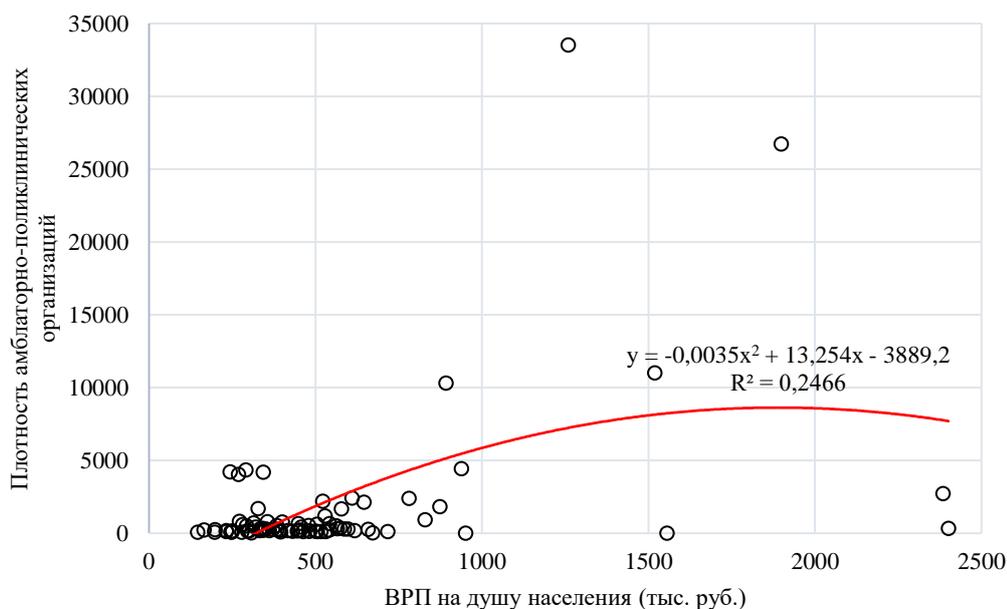


Рисунок 28 – Аппроксимация статистических данных полиномом 2 степени

Приведенные рисунки характеризуют наличие цифрового разрыва между субъектами РФ. Аппроксимация в данном случае применены с целью исследования числовых характеристик разрыва, и в дальнейшем оценки их влияния на ситуацию в стране. На графиках помимо уравнения линии тренда выведен показатель достоверности аппроксимации, R^2 . Чем его значение выше, тем надежнее линия тренда аппроксимирует исследуемый процесс. Таким образом, среди

используемых аппроксимирующих функций наиболее достоверные результаты демонстрирует полином 2 степени.

Помимо этого, по данным таблицы 3 был рассчитан коэффициент корреляции Пирсона, демонстрирующий связи рядов с данными, т.е. влияние плотности размещения амбулаторно-поликлинических организаций на ВРП.

Коэффициент корреляции между числом больничных организаций и амбулаторно-поликлинических составляет 0,68. А коэффициент корреляции по данным, приведенным на рисунках выше, составил 0,46. Для получения качественной оценки по рассчитанным значениям можно использовать шкалу Чеддока, которая позволяет охарактеризовать силу связи между рассматриваемыми величинами. Так, показатель 0.46 свидетельствует об умеренной, а 0.68 о заметной силе связи. Первый факт позволяет сделать вывод, что сокращение цифрового разрыва возможно посредством перераспределения ресурсов между территориями РФ. Ресурсами в данном случае выступают как медицинские учреждения, так и сетевая инфраструктура для предоставления телемедицинских услуг, что в свою очередь тоже повышает доступность мед. учреждений.

Данная задача может быть решена в процессе развития и внедрения сетей с ультрамалыми задержками, которые предусматривают множество центров обработки данных, расположенных в областных и районных центрах, для предоставления услуг в соответствии с требованиями.

2.5. Выводы

1. Сформулирована проблема цифрового разрыва на мировом уровне и на территории Российской Федерации. Определены пути решения и имеющиеся программы по его устранению. В частности, одним из наиболее эффективных методов является использование информационно-коммуникационных технологий при предоставлении медицинских услуг, что позволит не только сократить цифровой разрыв, но и создать информационное общество.

2. Для покрытия площади Российской Федерации телемедицинской сетью рассмотрена зависимость числа медицинских учреждений амбулаторно-поликлинического характера и плотности населения от Валового регионального продукта (ВРП) как меры оценки цифрового разрыва, а также выявлена необходимость проектирования сетей связи для внедрения на территориях с низкой плотностью населения с сохранением требований, предъявляемых и в наиболее заселенных субъектах.

3. Приведена классификация территорий РФ и выполнено разделение федеральных округов РФ, обоснованное имеющимися расстояниями между сельскими населенными пунктами, районными и областными центрами. Это позволило сделать выводы по частоте расположения центров обработки данных в районных или областных центрах для обеспечения требуемых показателей качества обслуживания и восприятия, в частности для услуг Тактильного Интернета, услуг дополненной реальности и телемедицинских услуг, которые являются ключевыми в сетях 2030.

4. В отличие от известных результатов установлена взаимосвязь между плотностью амбулаторно-поликлинических организаций и ВРП на душу населения. Аппроксимированы статистические данные, на основании чего представляется возможным частично решить проблему цифрового разрыва посредством перераспределения медицинских ресурсов в стране или изменением сетевой инфраструктуры для предоставления новых услуг.

ГЛАВА 3. МОДЕЛЬ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ УСЛУГ

3.1. Введение

На протяжении времени развития сетей связи происходили изменения как с точки зрения используемых технологий, так и в плане методов коммутации и различных подходов к построению структуры сети. Начиная с одноранговой полносвязной структуры, произошел переход на многоуровневую иерархическую с различным количеством узлов и линий связи, таким образом избавившись от связи «каждый с каждым» и объединив станции в некоторые кластеры. Стремительный рост числа пользователей сети Интернет изменил характер трафика, который из одномерного стал многомерным.

Позднее в результате интеграции вычислительных систем в сети связи образовалась интегрированная инфокоммуникационная среда. В основе этой концепции лежит ряд международных стандартов, открытых архитектур и коммерческих продуктов обмена данными. Телекоммуникационная среда является одной из главных компонент при рассмотрении ИНИС в качестве основы единого информационного пространства [45].

Появление центров обработки данных (ЦОД) открыло новые возможности в плане расширения перечня предоставляемых услуг, которые потенциально могут предоставляться самими ЦОД. Поскольку указанные точки являются сами по себе местами концентрации трафика, важно обеспечить грамотное их географическое распределение на обслуживаемой территории, что определяет структуру сети. Однако, идея создания высокопроизводительных ЦОД отчасти противоречит требованиям к устойчивости функционирования, а также к требованиям со стороны современных услуг. Это повлекло за собой появление «облачных» услуг, относящихся как к самим ЦОД, так и к другим элементам инфокоммуникационной сети.

Так, для реализации Тактильного Интернета с целью уменьшения задержки используются мини-облака и микро-облака на уровне базовых станций, которые связываются между собой высокоскоростными оптическими или лазерными каналами связи. Помимо этого, существует и третий уровень облака – операторское в ядре сети, но для операторских компаний также возникает целый ряд территориальных ограничений по оказанию услуг Тактильного Интернета.

Телемедицинские услуги, являющиеся по области своего применения жизненно важными для населения, предъявляют собственные требования для качественного их использования. Поскольку на текущий момент встречаются локальные внедренные проекты в медицинских учреждениях, необходимо сформулировать единый подход к построению телемедицинской сети, который бы позволил беспрепятственно осуществлять обмен данными на всей территории РФ, а также вне зависимости от географического положения пользователей услуг получать высококвалифицированную помощь на едином качественном уровне.

3.2. Постановка задачи

Как для любой сети, для моделирования телемедицинской сети следует выделить основные факторы, определяющие её структуру. Известно, что взаимное расположение узлов имеет ключевое значение в плане потенциальных возможностей сети. Помимо этого, следует учитывать абонентский трафик, свойства каналов связи, показатели качества обслуживания трафика и объем ресурсов сети.

Во-первых, это абонентский трафик, который будет зависеть от вида предоставляемой услуги, спроса на неё и количества пользователей. Так, от характера трафика зависят и требования к качеству передачи. Например, голосовой трафик в отличие от видеопотока предъявляет требования по более низкой пропускной способности, при этом она должна быть постоянной. Поэтому при проектировании сети и её внедрении необходимо ориентироваться на перечень предоставляемых услуг.

Во-вторых, следует учесть распределение пользователей по территории. Так большая часть ресурсов современных сетей связи локализована в зонах наибольшего числа пользователей. Но поскольку одним из ключевых моментов распространения телемедицины является предоставление возможности своевременного получения помощи даже в труднодоступных и малонаселенных территориях, необходимо предусмотреть наиболее оптимальное распределение ресурсов.

Третьим фактором выступают требования по качеству обслуживания, которые выражаются в определении нормативных значений показателей, отражающих качество восприятия услуги пользователем. В рекомендации ITU-T Y.1540 [46] в качестве наиболее важных с точки зрения влияния на качество обслуживания выделены следующие сетевые характеристики: пропускная способность, надежность сети, задержка при передаче пакета и джиттер задержки, потери пакетов (%), возможность сохранения работоспособности сети при выходе из строя каких-либо элементов. Под качеством восприятия согласно Рекомендации МСЭ Р.10/G.100 понимается общая приемлемость работы приложения или предоставления услуги, т.е. показатель оценивается пользователями субъективно.

При предоставлении телемедицинских услуг будут проанализированы услуги, имеющие наиболее жесткие требования к вероятностно-временным показателям обслуживания трафика, в частности, вероятность потери пакетов данных и задержка доставки.

Следует заметить, что предоставляемые услуги можно разделить на 2 группы, отличающиеся по востребованности на рынке и условиям технического обеспечения и уровня развития ИКТ для предоставления в необходимом качестве. При проведении отложенных телеконсультаций и консультаций в режиме реального времени, но без высокой важности присутствия обеих сторон и срочного реагирования, равно как и при телемониторинге и телеобучении, вопрос минимальных задержек, потерь и надежности сети стоит менее остро, чем при сопровождении оперативных действий или прочих мероприятиях, результат проведения которых зависит от удаленного сопровождения. Собственно, именно

первая группа и будет рассмотрена ниже, и может быть решена грамотным проектированием и моделированием. При реализации услуг второй группы в соответствии с жесткими предъявляемыми требованиями возникает проблема их предоставления на большие расстояния ввиду фундаментальных ограничений по скорости распространения света.

3.3. Алгоритм выбора характеристик сети

Для формирования технического задания по проектированию телемедицинской сети следует определить её основные параметры, затрагивающие не только саму сеть, но и сопутствующие внешние условия. Для визуализации общего алгоритма действий использованы блок-схемы, результат представлен на рисунках 29-31.

Необходимо определить территорию, на которой будут предоставляться телемедицинские услуги, её географическое положение, площадь, численность населения и статус населенных пунктов. В зависимости от перечня услуг, можно определить требования для их предоставления в необходимом качестве и оборудование, которое следует поставить в локальные медицинские учреждения.

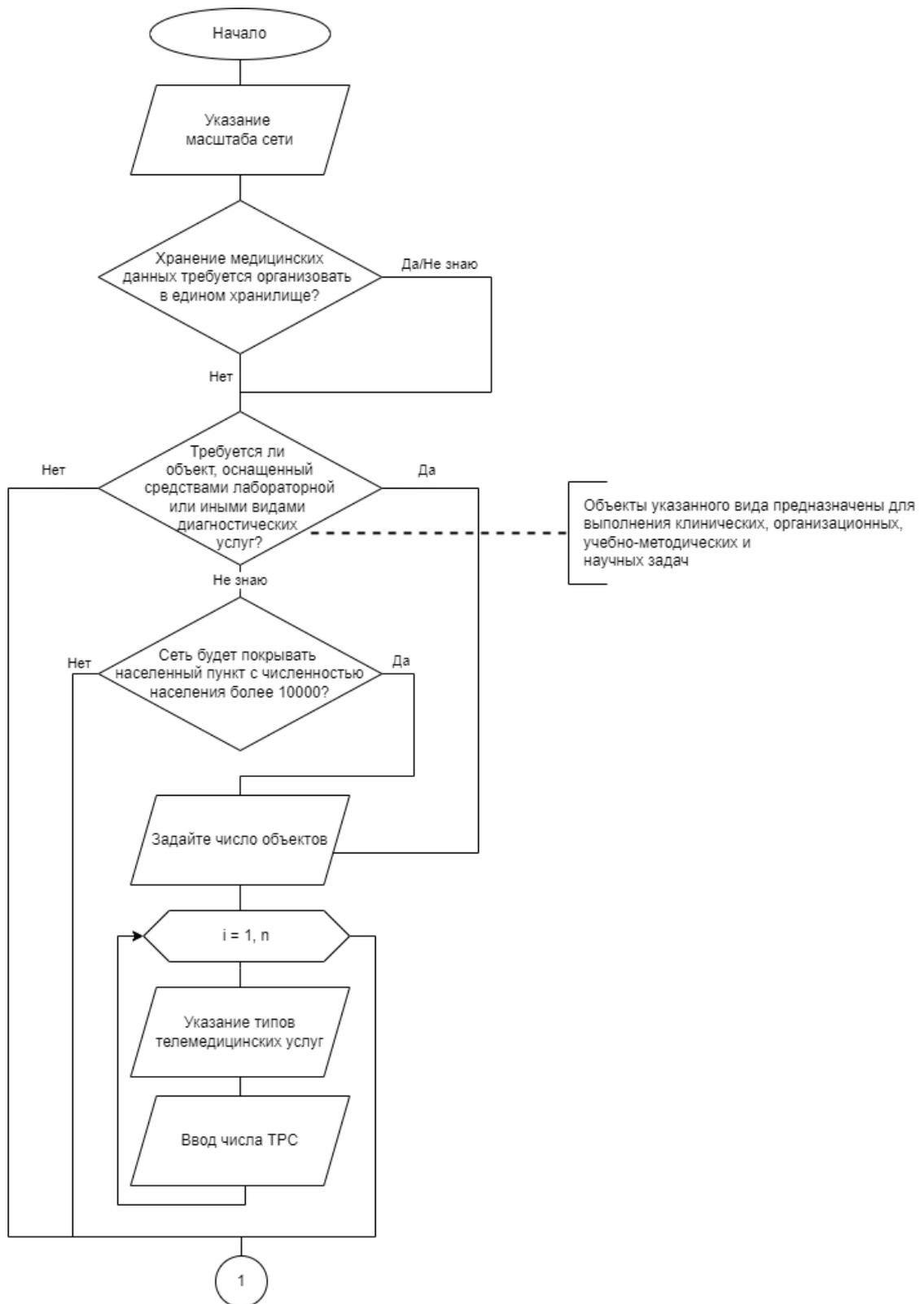


Рисунок 29 – Алгоритм определения характеристик телемедицинской сети

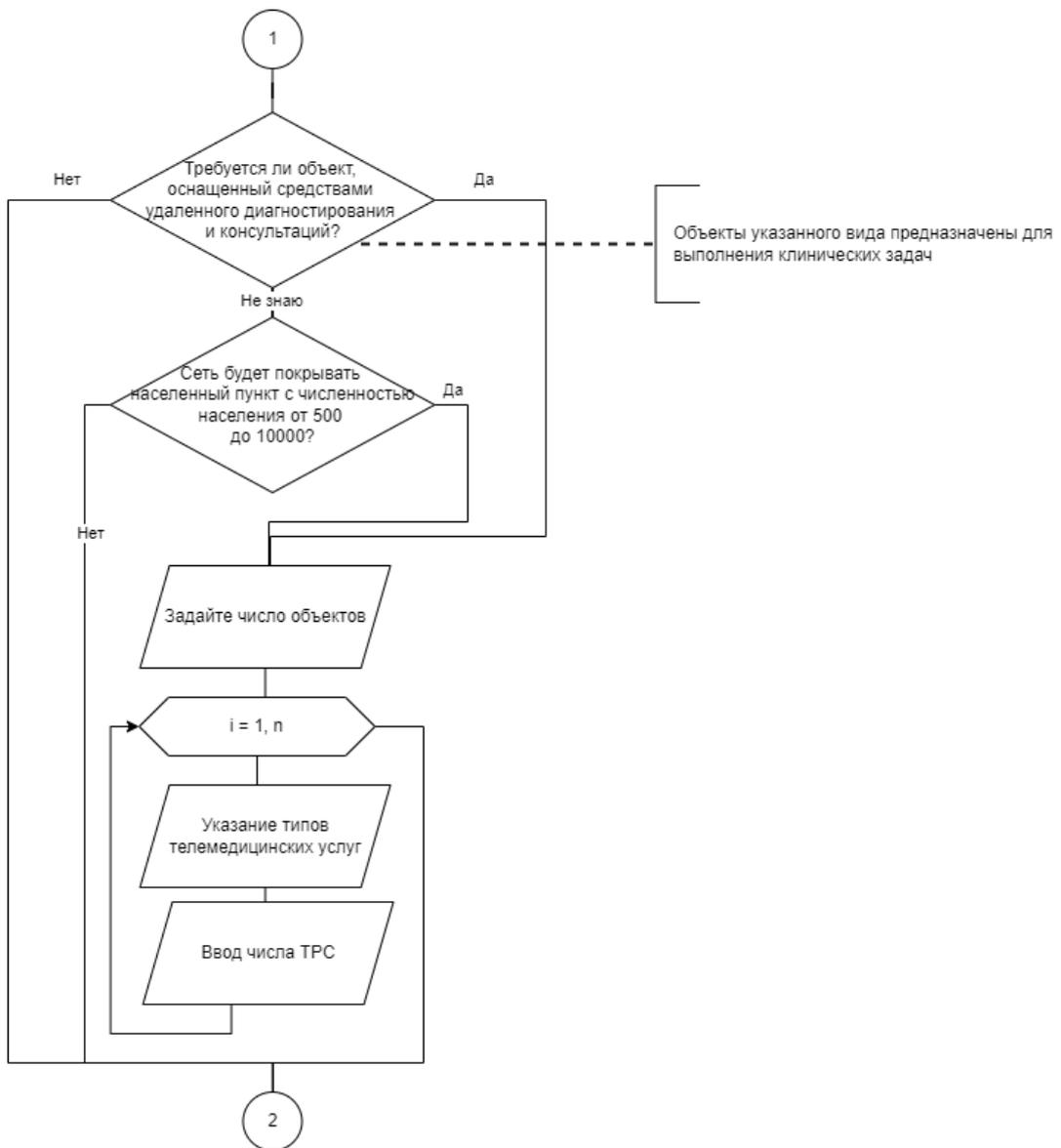


Рисунок 30 – Алгоритм определения характеристик телемедицинской сети

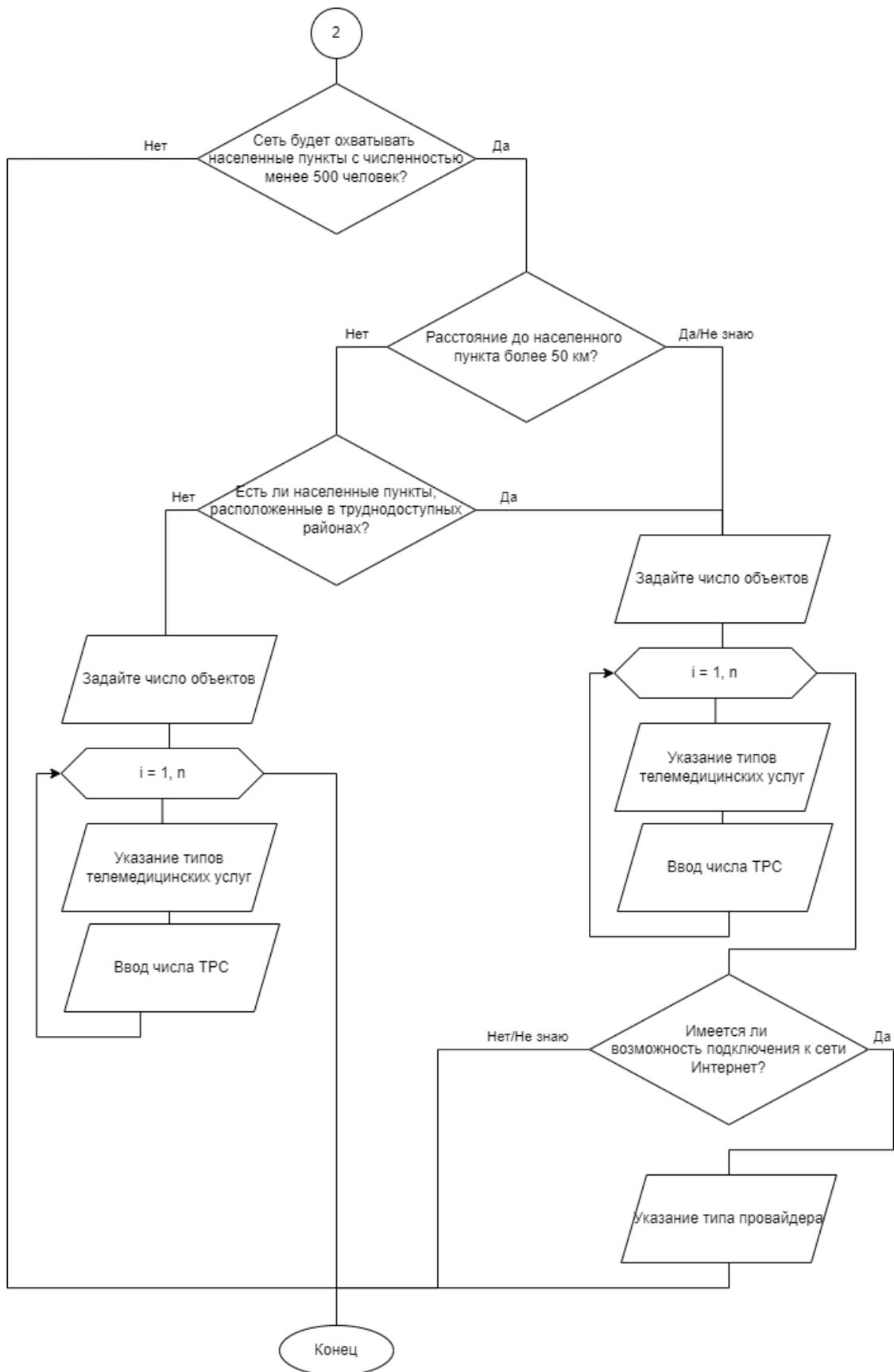


Рисунок 31 – Алгоритм определения характеристик телемедицинской сети

На практике предлагается ответить на вопросы, ответы на которые позволят определиться с используемыми элементами сети, их характеристиками и каналами передачи данных. Ключевые моменты сформулированы ниже:

1. Масштаб планируемой сети.
2. Необходимость организации единого хранилища данных.
3. Предоставляются ли лабораторные или иные виды диагностических услуг для выполнения клинических, организационных, учебно-методических и научных задач.
4. Численность населенного пункта.
5. Предоставляются ли услуги удаленной диагностики и консультаций для выполнения клинических задач.
6. Если сеть охватывает малые и труднодоступные населенные пункты, расстояние до ближайшего населенного пункта.
7. Доступ к услугам интернет-провайдера.

После того, как определены требования к сети, необходимо выбрать сетевые технологии, соответствующие требованиям.

На современном этапе развития ИКТ для построения сетей используются сетевые технологии, упомянутые в разделе 1.3. Рассмотрим более подробно их реализацию и условия применения для того, чтобы при проектировании сети на конкретной территории определиться с наиболее эффективным вариантом.

Набор стандартов Fast Ethernet предлагает несколько вариантов реализации. Реализация с использованием витой пары имеет общее обозначение 100BASE-T, другие варианты в своём написании отличаются последними символами в обозначении 100BASE-X. Ниже рассмотрены варианты реализации:

– 100BASE-TX – в качестве среды передачи используется кабель, состоящий из двух витых пар пятой категории. Как правило, для передачи в каждом направлении используется пара своего направления. Основным недостатком данного варианта является размерность линии связи – максимальная длина ограничена 100 метрами. Однако, при использовании стандартного кабеля,

состоящего из 4 пар, предоставляется возможность организации двух 100-мегабитных каналов связи.

– 100BASE-T4 – вариант, представленный передачей по кабелю, состоящему из четырёх витых пар третьей категории.

– 100BASE-FX – в качестве среды передачи используется волоконно-оптический кабель, обеспечивающий прием и передачу излучением с длиной волны 1310 нм по жилам RX и TX. В полудуплексном режиме длина сегмента достигает 400 метров, а в полнодуплексном до 2 километров при использовании многомодового волокна. Одномодовое волокно позволяет расширить протяженность.

– 100BASE-SX является более дешевой версией 100BASE-FX с использованием многомодового оптоволокна. Для связи используется длина волны 850 нм, а максимальное расстояние ограничено 300 метрами, что объясняется более дешевыми компонентами, светодиодами.

– 100BASE-BX – для передачи используется одно одномодовое оптоволокно и мультиплексор для разделения сигнала на волны передачи и получения.

– 100BASE-LX – в качестве среды передачи используется одномодовый волоконно-оптический кабель для передачи сигнала на длине волны 1310 нм. Максимальная протяженность сегмента в режиме полного дуплекса достигает 15 километров. Ограничение длины сегмента расстоянием 10 километров породила новую разновидность технологии - 100BASE-LX10. Ещё одна разновидность варианта, 100BASE-LX WDM, стала возможной благодаря использованию дополнительной длины волны – 1550 нм. При этом в паре обязательно использовать оба интерфейса: передатчик на 1310 нм с одной стороны, а с другой — на 1550 нм.

Сетевая технология Gigabit Ethernet является эволюционным продолжением стандартов 802.3 Ethernet-сетей с пропускной способностью 10 и 100 Мбит/с. Основная цель, которую преследовало её создание – повышение скорость передачи данных с сохранением совместимости с уже имеющимися сетями Ethernet, а также модификация архитектуры больших промышленных сетей [47].

Среди задач, поставленных перед группой разработчиков, требовалось предоставить семейство спецификаций физического уровня для поддержки канала длиной не менее 500 м. на многомодовом оптоволоконном кабеле, 25 м. на медном проводе, 3000 м. на одномодовом оптоволоконном кабеле.

На практике, согласно стандартам физического уровня, разработано несколько вариантов реализации, использующих оптоволоконный кабель (1000BASE-X), витую пару (1000BASE-T) или экранированный сбалансированный медный кабель (1000BASE-CX):

– 1000BASE-CX: среда передачи – экранированный сбалансированный медный кабель, расстояние – 25 м.

– 1000BASE-KX: среда передачи – медная объединительная плата, расстояние – 1 м.

– 1000BASE-SX: среда передачи – многомодовое оптоволокно, расстояние – 220-550 м.

– 1000BASE-LX: среда передачи – многомодовое оптоволокно, расстояние – 550 м.

– 1000BASE-LX: среда передачи – одномодовое оптоволокно, расстояние – 5 км.

– 1000BASE-LX10: среда передачи – одномодовое оптоволокно (1310 нм), расстояние – 10 км.

– 1000BASE-EX: среда передачи – одномодовое оптоволокно (1310 нм), расстояние – 40 км.

– 1000BASE-ZX: среда передачи – одномодовое оптоволокно (1550 нм), расстояние – 70 км.

– 1000BASE-BX10: среда передачи – одномодовое оптоволокно (WDM: 1490 нм на приём, 1310 нм на передачу), расстояние – 10 км.

– 1000BASE-T: среда передачи – витая пара (четыре пары категории 5, 5е, 6, 7), расстояние – 100 м.

– 1000BASE-TX: среда передачи – витая пара (две пары категории 6, 7), расстояние – 100 м.

– 1000BASE-RH: среда передачи – пластиковое оптоволокно, расстояние – 50 м.

Технология 10 Gigabit Ethernet, как следует из самого названия, тоже призвана для увеличения скорости передачи Ethernet-пакетов до 10 Гбит/с. Отличительными особенностями и ограничениями варианты реализации этой группы предусматривают использование только полнодуплексных связей и топологии «точка-точка».

Стандарт [48] описывает три семейства спецификаций 10 Gigabit Ethernet:

– 10GBase-X – варианты используют четырехпоточковую передачу в формате 4x8 бит с кодированием потоков кодом 8B/10B. Поддерживается большинством интерфейсов и передачу возможно организовать по медным шинам, медным парам и волоконно-оптическому кабелю. К семейству относится версия 10GBase-LX4, использующая 4 длины волны в диапазоне 1260–1355 нм, каждая из которых передает один из четырех потоков. Объединение потоков выполняется на передающей стороне перед подачей в ВОК и демультиплексируются на приемной стороне.

– 10GBase-R – версии спецификации, 10GBase-SR, 10GBase-LR и 10GBase-ER, работают исключительно на волоконно-оптических кабелях в трех окнах прозрачности: 850 нм (S), 1300 нм (L) и 1550 нм (E). Спецификации могут быть самостоятельными или переходить в варианты следующей группы вариантов – W.

– 10GBase-W – семейство включает 3 версии: 10GBase-SW, 10GBase-LW и 10GBase-EW. Аналогично предыдущему семейству, используется оптоволокно в трех окнах прозрачности, 850 нм (S), 1300 нм (L) и 1550 нм (E).

Номинальная длина передачи для реализаций технологии 10-гигабитного Ethernet может достигать до 10 км. 10GBase-LX4, 10GBase-LR или 10GBase-L; 300 м. 10GBase-SR или 10GBase-SW; 40 км 10GBase-ER или 10GBase-EW [49].

Технология передачи данных Wi-Fi, дословно переводимая как беспроводная точность, появилась с целью использования в тех условиях, где оказалось

невозможным или экономически нецелесообразным развертывание кабельной системы. Классическая схемы сети содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Также возможен и вариант «точка-точка», когда наличие точки доступа не требуется, а подключение двух клиентов реализовано напрямую через сетевой адаптер.

Большинство пользовательских маршрутизаторов и Wi-Fi-устройств способны работать в двухчастотных диапазонах: 2,4 ГГц и 5 ГГц, которым соответствуют стандарты 802.11 b/g/n и 802.11 a/n/ac.

Стандарты диапазона 2,4 ГГц подразумевают использование 14 каналов, доступность которых отличается в различных странах мира. Ширина каждого канала 20 МГц, в рамках некоторых стандартов разрешена ширина канала 40 МГц. Каналы с номерами 1, 6, 11 являются полностью непересекающимися по частотам. Использование непересекающихся каналов целесообразно в том случае, когда необходимо организовать равномерное покрытие таким образом, чтобы оборудование не создавало помехи друг другу, это повышает стабильность и качество связи [50]. Однако, использование данного диапазона не рекомендуется по причине высокой загруженности и небольшого числа выделенных каналов, а также из-за вероятности внесения помех другими Wi-Fi и Bluetooth-устройствами, и точками доступа.

При использовании частотного диапазона 5 ГГц предоставляется 23 непересекающихся канала по 20 МГц. Ширина каналов не ограничивается значениями 20 и 40 МГц, но допускается и 80 МГц.

Стоит отметить, что продукты, разработанные под стандарты различных частотных диапазонов, несовместимы, но могут сосуществовать [51].

Радиус действия и скорость зависит от используемого стандарта [52]:

– 802.11 a – максимальная скорость – 54 Мбит/сек, радиус действия в помещении – до 35 м, на открытой местности до 120 м.

– 802.11 b – максимальная скорость – 11 Мбит/сек, радиус действия в помещении – до 38 м, на открытой местности до 140 м.

– 802.11 g – максимальная скорость – 54 Мбит/сек, радиус действия в помещении – до 38 м, на открытой местности до 140 м.

– 802.11 n – максимальная скорость – 300-600 Мбит/сек, радиус действия со штатной антенной (усиление порядка 5 дБи) до 150 метров в условиях местности без преград, в помещении – 70 м.

– 802.11 ac – максимальная скорость – 1 Гбит/сек, радиус действия – до 50 м.

Среди недостатков указанной технологии дополнительно можно выделить [53]:

– Высокое потребление энергии, что уменьшает продолжительность жизни батареи и увеличивает нагрев устройства.

– Стандарт шифрования WEP может быть взломан из-за невысокой стойкости алгоритма. Но для решения этой проблемы наиболее новые устройства поддерживают более надежные протоколы шифрования данных WPA и WPA2.

– Неполная совместимость устройств разных производителей или несоответствие стандарту может привести к проблемам в подключении или ошибкам доступа в сеть.

– Низкая пригодность для работы приложений с медиапотокami в режиме реального времени, поскольку качество потока непредсказуемо из-за возможных потерь пакетов. Хотя выпускается масса VoIP оборудования на базе устройств 802.11b/g, ориентированное в большинстве на корпоративный сегмент рынка, в документации которых указано, что качество связи определяется в первую очередь устойчивостью и качеством радиоканала.

Спутниковая технология доступа представляет собой предоставление высокоскоростного доступа с использованием спутниковых каналов на базе VSAT-терминалов [54]. Базовыми преимуществами данного варианта является стабильность соединения, высокая скорость передачи и независимость от инфраструктуры, расположенной на Земле. Использование двустороннего спутникового соединения позволяет объединить объекты, географически далеко расположенные друг от друга, в единую локальную сеть. Этот вариант является

лучшим для решения задачи передачи данных их технически неразвитых регионов. Недостатками технологии является [49]:

- Требования по получению разрешения на оборудование радиопередачи.
- Высокая стоимость и габариты оборудования.
- Задержка при передаче около 250 мс при передаче в каждую сторону.
- Период пинга 500-800 мс.
- Несовместимость оборудования разных производителей.

На основании вышеизложенного применение спутникового интернета актуально в наибольших удаленных населенных пунктах, где невозможно организовать проводное соединение, либо в корпоративных целях нефтяных и лесопромышленных компаний. В городах наиболее целесообразно использовать более дешевые и простые способы доступа в сеть.

LTE является наиболее распространенным стандартом беспроводной высокочастотной передачи данных для мобильных устройств. Однако до его появления наиболее популярным был стандарт WiMAX, который обеспечивал скорость до 40 Мбит/с. Стандарт LTE имеет два варианта:

– FDD (Frequency Division Duplex) — частотный разнос входящего и исходящего канала. Для ширины канала часть частотного диапазона выделяется для загрузки, а часть для выгрузки для того, чтобы избежать пересечения. FDD является более быстрым и стабильным.

– TDD (Time Division Duplex) — временной разнос входящего и исходящего канала. Канал полностью выделен для загрузки и выгрузки, а данные передаются последовательно, но с приоритетом загрузки.

Сети LTE работают на разных частотах, при этом следует учитывать характеристики оборудования. В России и Европе наиболее используемыми являются спецификации band 7, band 20, band 3 и band 38, что соответствует частотным диапазонам 2500-2530/2620-2650, 847-854.5/806-813.5, 1835-1855/1730-1750, 2575-2595 соответственно [55]. Скорость передачи данных в сетях LTE варьируется от ширины частотного диапазона:

– Ширина частотного диапазона 5 МГц — 37 Мбит/с на получение и 12 Мбит/на передачу

– Ширина частотного диапазона 10 МГц — 75 Мбит/с на получение и 25 Мбит/на передачу

– Ширина частотного диапазона 15 МГц — 112 Мбит/с на получение и 37 Мбит/на передачу

– Ширина частотного диапазона 20 МГц — 150 Мбит/с на получение и 50 Мбит/на передачу

Для повышения скорости было создано агрегирование полос на разных частотных диапазонах, такие сети получили название LTE-Advanced. С точки зрения востребованности на рынке использование данной технологии является более выигрышной альтернативой проводному соединению, а иногда и единственным вариантом в случае проблем с прокладкой кабелей в отдаленные объекты и из экономических соображений.

Технологии ADSL и VDSL базируются на использовании уже существующих телефонных линий, за счет чего могут быть использованы практически везде без больших финансовых вложений на прокладку новой инфраструктуры. Оба подхода относятся к классу решений цифровых абонентских линий. Отличительная особенность VDSL от ADSL заключается в режимах передачи данных: симметричный или ассиметричный против исключительно ассиметричного. VDSL демонстрирует высокую скорость передачи при относительно небольших расстояниях между абонентами (до 1.5 км), но на любом расстоянии данная технология предоставляет лучшие результаты. Асимметрия заключается в том, что скорость передачи к абоненту значительно превышает скорость передачи от него [56], это объясняется тем, что пользователям важнее скорость загрузки, нежели передачи. На территории РФ считается, что использование ADSL доставит меньше проблем, но придется пожертвовать скоростью. На территориях Кореи и Японии активно применялась VDSL, хотя на сегодняшний день данная технология уступает более современным [57].

Технология пассивной оптической сети базируется на использовании широкополосного мультисервисного доступа по оптическому волокну без использования активных компонентов. Ответвление сигнала в одноволоконной оптической линии реализуется с помощью сплиттеров – пассивных разветвителей [58].

С точки зрения архитектуры пассивная оптическая сеть включает три компонента: стационарный терминал, пассивные оптические сплиттеры и абонентские устройства. Терминал выполняет функцию взаимодействия пассивной оптической сети с внешними сетями посредством сетевых интерфейсов ATM, SDH (STM-1), Gigabit Ethernet, сплиттеры предназначены для разветвления оптического сигнала на участке тракта пассивной оптической сети, а абонентские устройства предоставляют интерфейсы для взаимодействия с абонентской стороны – 10/100Base-TX, FXS (2, 4, 8 и 16 портов для подключения аналоговых ТА), E1, цифровое видео, ATM (E3, DS3, STM-1с).

Существует несколько вариантов реализации технологии PON, закрепленных за различными стандартами, характеристики которых приведены в таблице 6 [59, 60].

Таблица 6 – Характеристики технологий PON

	APON/ BPON	EPON/GEAPON	10GPON	GPON
Стандарт	ITU G.983/x	IEEE 802.3ah	IEEE 802.3av	ITU G.984.x
Скорость передачи, прямой/обратный поток	155/155; 622/155; 622/622 Мбит/с	1000/1000 Мбит/с	10.10; 10.1 Гбит/с	1244/155; 622, 1244; 2488/622, 1244,2488 Мбит/с
Базовый протокол	ATM	Ethernet	Ethernet	SDH
Ёмкость (число абонентских узлов на одно ОВ)	32	16	16	64 (128)
Максимальная длина передачи, м	20	20/30	10	20

	APON/ BPON	EPON/GEPON	10GPON	GPON
Длина волн прямого/обратного потоков, нм	1550/1310; 1490/1310	1550/1310; 1490/1310	1550/1310; 1490/1310	1550/1310; 1490/1310

Активные оптические сети представляются архитектурой, где к каждому абонентскому концентратору подведена своя оптоволоконная линия, т.е. используется топология «точка-точка». Основное отличие от пассивных оптических сетей заключается в отсутствии распределения оптического сигнала, он поступает от централизованного оборудования непосредственно к конечному пользователю. Сигналы, исходящие от абонентов, не подвержены коллизиям за счет реализованной буферизации.

Поскольку сеть AON требует подачу питания (хотя бы 1 коммутатор или маршрутизатор коммутатора на 48 пользователей), её содержание является более дорогостоящим, особенно если необходимо организовать полностью резервированную систему [61]. За счет требований по питанию оборудования, активные оптические сети являются менее надежными.

Одним из преимуществ активных оптических сетей является расстояние передачи, до 90 км, таким образом абоненты сети могут быть более географически удалены относительно источника приема и передачи.

Таким образом, имея значения числовых показателей, полученных при выполнении действий алгоритма на рисунках 29-31, дополнительно необходимо определить, возможно ли на охватываемой территории организовать проводное соединение, если оно ранее не предусматривалось. Затем выбрать наиболее эффективные в данном случае технологии и сделать выбор в сторону наиболее дешевого варианта.

3.4. Проектирование телемедицинской сети

Если рассматривать подходы к оказанию медицинской помощи, большинство из них давно известны в связи с широким распространением и

длительным периодом существования, преподаются в ВУЗах при обучении специалистов, а также на мероприятиях по подтверждению квалификации, которые медицинским работникам требуется проходить с определенной периодичностью. Следовательно, даже в труднодоступных районах в случае правильной диагностики для любого нарушения будут определены способы устранения. Однако, в случае появления новых вирусов, как произошло с COVID-19, все решения принимались в Москве, и теоретическая подготовка на региональных уровнях осуществлялась только посредством самостоятельного изучения презентационных материалов с последующим тестированием. Наиболее целесообразным в подобных случаях является использование услуги телеобучения, что позволяет организовать обучение медицинского персонала в виде видеоконференций, семинаров, форумов и интерактивных курсов. Ключевым моментом в данном случае должна выступать иерархичность структуры сети.

Так как на глобальном уровне предполагается создание распределенной телемедицинской сети на всей территории РФ с различными уровнями иерархии, где определены локальные хранилища данных на региональных уровнях, передаваемые в единый источник хранения в опорном пункте, необходима формулировка типового подхода к построению телемедицинских сетей. На текущий момент времени существует ряд проблем, препятствующих интеграции существующих наработок:

– Несовместимость разработок, используемых на отдельных фрагментах телемедицинской сети, вызванная удаленностью территорий разработки. Это объясняется первоначально поставленными задачами для решения ежедневных потребностей без ориентации на долгосрочное планирование.

– При построении ТМС не учтены требования стандартов и характеристики протоколов, принятые для медицинской диагностики. Поскольку основная ориентация используемых программных решений направлена на решение задач общего назначения (видеоконференции, диспетчерская связь и т.д.), часть из них не предусматривает поддержку унифицированного стандарта цифровизации изображений и коммуникации в медицине DICOM (Digital Imaging and

Communications in Medicine), возможность совместимости с базами данных смежных регионов, показ диагностических изображений. Следовательно, для удаленной работы с медицинскими данными и изображениями, а также для проведения операций, требуется новый подход.

– Несогласованность сетевого оборудования, разобщенность фрагментов локальных сетей LAN на территории самих медицинских учреждений, что объясняется необходимостью аренды оборудования у провайдеров с приоритетностью их мнений при выборе оборудования и ПО.

Поскольку к телемедицинской сети, как к сетям с ультрамалыми задержками, предъявляются высокие требования, рассмотрим, какими характеристиками обладают медицинские данные. В работе [46] сформулированы ключевые показатели для наиболее востребованных групп приложений сетей связи с ультрамалыми задержками, таких как промышленная автоматизация, автономное управление транспортными средствами, распределение электроэнергии, системы мониторинга и управления. В качестве KPI выделены: надежность, доступность и задержка.

Следует отметить, что задержка для сетей uRLLC определяется в диапазоне от 1 мс до 10 мс. Требования по сверх высокой надежности исходят из важности предоставляемых услуг, в таком случае коэффициент готовности равен 0,999999, а время недоступности сети 4 мс в год.

Ранее в работе указано (Глава 1), что все данные, передаваемые по телемедицинской сети, можно разделить на 6 групп, каждая из которых характеризуется объемом передаваемых данных, типом трафика согласно стандарту IEEE 802.1p и показателями качества, которые следует обеспечить (Таблица 7).

Согласно сформулированным классам трафика, передача голоса и видео при интерактивных переговорах и обмене являются критичными по задержке: < 10 мс и < 100 мс, соответственно. При этом по своему приоритету уступают лишь передаче данных для поддержания сетевой инфраструктуры.

Таблица 7 – Характеристики медицинских данных

№	Тип медицинских данных	Средний объем, Мб	Допустимая задержка	Тип трафика	Пример
1.	Медицинская запись	< 1	1 с	Стандартный	Текстовые или числовые данные (сведения мониторинга, ФИО, диагноз, назначенное лечение)
2.	Данные	< 50	Не нормируется	Стандартный	Результаты анализов, сводные отчеты, электронные ресурсы и сведения
3.	Черно-белое статическое 2D изображение	< 100	1 с	Приоритетный	Рентгеновские снимки, КТ, МРТ, ЭКГ
4.	Цветное статическое 2D изображение	< 500	1 с	Приоритетный	Цветные снимки КТ, МРТ, ЭКГ, кожных покровов
5.	Трехмерное изображение (3D-модель)	< 1000	400 мс	Приоритетный	Объемные модели органов
6.	Потоковое аудио, видео	Зависит от длительности конференции	10 мс, 100 мс	Интерактивный голосовой, интерактивный мультимедийный, контролируемый	Аудиовизуальная информация между удаленными участниками

Показателями качества выступают качество восприятия предоставляемых телемедицинских услуг и качество обслуживания. В общем случае под качеством обслуживания понимается предоставление пользователям и приложениям в сети предсказуемого сервиса по доставке данных, а конкретные параметры качества обслуживания определяются типом рассматриваемого приложения. Так для передачи голосового трафика важнейшими параметрами выступает задержка и вариация задержки на исследуемом интервале времени, в то время как потеря некоторой части пакетов допустима.

Параметры качества обслуживания можно разбить на три группы:

- Параметры пропускной способности (минимальная, средняя и максимальная скорость передачи).
- Параметры задержек передачи пакетов (средние и максимальные величины задержек и вариаций задержек).
- Параметры надежности передачи (уровень потерь и искажений пакетов).

Можно сделать вывод, что при передаче медицинских записей, данных и изображений ключевыми параметрами выступает надежность передачи, т.к. потеря и искажение пакетов влекут за собой вероятность получения неполного набора информации [62], а значит риск неправильной постановки диагноза и назначения лечения. При передаче видео-трафика и аудио, как было замечено ранее, наиболее критичным являются параметры задержки при передаче.

При выборе каналов передачи данных необходимо ориентироваться на соответствующую пропускную способность. С помощью онлайн-калькуляторов получены средние значения времени передачи данных по сети для различного соотношения скорости передачи и объема передаваемых данных (Таблица 8). В качестве значений объема использованы средние значения объема для различных типов медицинских данных.

Расчет приведен с учетом того, что служебные данные занимают 20%. Их использование замедляет скорость передачи, но обеспечивает безошибочную передачу. В таком случае время передачи рассчитывается как отношение полного объема данных к скорости передачи [63].

Таблица 8 – Среднее время передачи данных по сети в зависимости от скорости канала передачи и объема данных

Объем, Мб\ Скорость, Мбит/с	1	50	100	500	1000
1	9,6	480	960	4800	9600
10	0,96	48	96	480	960
50	0,192	9,6	19,2	96	192
100	0,096	4,8	9,6	48	96
500	0,019	0,96	1,92	9,6	19,2
1000	0,01	0,48	0,96	4,8	9,6

В качестве отдельного вопроса следует рассмотреть передачу потокового видео, т.к. по данным таблицы 7 невозможно заранее определить объем передаваемых данных. На текущий момент времени требования к каналу передачи определяются качеством видео: SD, HD, Full HD, UHD (4K), 8K. Рекомендованная скорость составляет 4, 8, 12-25, 50-65 и 100 Мбит/с соответственно. Минимальная скорость для воспроизведения, полученная в результате закрытых тестов, на 30-50% ниже рекомендованной оптимальной [64, 65].

Основными точками предоставления услуг в телемедицинской сети выступают телемедицинские рабочие станции (ТРС), которые обеспечивают различные услуги в зависимости от профиля, и, следовательно, работают с различными типами данных. Классификация типов ТРС с указанием обрабатываемых данных представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Типы медицинских данных, используемые на различных типах телемедицинских рабочих станций

№	Тип телемедицинской рабочей станции	Типы медицинских данных	Описание
1.	Базовая	<ul style="list-style-type: none"> – Медицинская запись – Данные – Черно-белое или цветное статическое 2D изображение – Поток аудио, видео в SD или HD качестве 	<p>ТРС способна работать с любым видом данных, кроме трехмерных изображений и видеоконференции в UHD-качестве. С точки зрения медицинских направлений телемедицинских услуг, ограничения в телерентгенологии и телемаммографии</p>
2.	Диагностическая	<ul style="list-style-type: none"> – Медицинская запись – Данные – Черно-белое или цветное статическое 2D изображение – Трехмерные изображения (3D-модели) – Поток аудио 	<p>Основное назначение ТРС данного вида заключается в проведении диагностических исследований</p>
3.	Удаленная	<ul style="list-style-type: none"> – Медицинская запись – Данные – Черно-белое или цветное статическое 2D изображение – Поток аудио, видео в SD-качестве 	<p>Вид ТРС поддерживает передачу стандартного набора медицинских данных, за исключением 3D-моделей и видеопотока высокого качества</p>

№	Тип телемедицинской рабочей станции	Типы медицинских данных	Описание
4.	Универсальная	<ul style="list-style-type: none"> – Медицинская запись – Данные – Черно-белое или цветное статическое 2D изображение – Трехмерные изображения (3D-модели) – Поток аудио, видео в любом качестве 	ТРС является универсальной, поскольку предусматривает поддержку любых типов передаваемых данных, что позволяет предоставлять любые виды телемедицинских услуг

Понятие качества восприятия введено в ряде рекомендаций МСЭ Р.10/G.100, G.1000, G.1010, G.1080 [60, 66, 67, 68] и относится к мультимедийным услугам, в частности и к передаче видео. В качестве компонент качества восприятия выделяются объективные показатели качества обслуживания (факторы услуг, факторы приложений и факторы передачи информации) и субъективные компоненты человеческого восприятия (эмоции, тарифы и функции управления сервисом). Следовательно, к требованиям по качеству восприятия телемедицинских услуг можно отнести удобство интерфейса, скорость реагирования, приятные цвета, четкую картинку при телеконсультациях в режиме реального времени и конкурентоспособную стоимость на рынке идентичных решений.

Таким образом получается, что в разделе сформулированы требования к сети телемедицины, а также требования для реализации услуг телемониторинга, телеконсультаций и телеобучения необходимо ориентироваться на модель сети с ультрамалыми задержками. При этом для решения главной рассматриваемой проблемы – цифрового разрыва в РФ, следует рассмотреть возможные подходы для предоставления услуг в территориально-удаленных населенных пунктах с сохранением их качественных показателей.

3.5. Модель сети

Исходя из данных таблицы 7, основным параметром, характеризующим качество предоставления телемедицинских услуг, является задержка N_L . Такой подход позволяет использовать сети с ультрамалыми задержками. Величина задержки зависит от объема передаваемых данных и скорости передачи по линии связи на каждом из участков маршрута, возможных задержек на узлах маршрута, вызванных ожиданием в буфере из-за занятости линии ранее обслуживаемыми пакетами данных, времени передачи данных в среде передачи или по каналам и времени распространения сигнала, необходимого пакету для пересечения среды передачи. Учитывая перечисленное, можно представить формулы для расчета задержек в сети:

$$D_T = \frac{N_B}{T_R}, \quad (3.1)$$

где D_T – задержка передачи, N_B – объем передаваемых данных, T_R – скорость передачи.

$$D_{PR} = \frac{D}{S}, \quad (3.2)$$

где D_{PR} – задержка распространения пакета данных, D – расстояние, S – скорость пакета.

Итого, задержка может быть рассчитана как сумма всех задержек [69].

$$N_L = D_P + D_Q + D_T + D_{PR}, \quad (3.3)$$

где D_P – задержка обработки (Processing Delay), D_Q – задержка постановки в очередь (Queuing Delay), D_T – задержка передачи (Transmission Delay), D_{PR} – задержка распространения (Propagation Delay).

Для выбора оптимального расположения элементов сети предлагается использование алгоритмов кластерного анализа территории. Такой подход позволяет представить структуру сети как совокупность окружностей с некоторыми центроидами. Центроидами выступают точки предоставления услуг (S). Точки предоставления услуг связываются с точками доступа (A), которые в свою очередь обслуживают несколько пользовательских терминалов (U). Таким

образом, максимальное расстояние, преодолеваемое сигналом, складывается из максимального расстояния от точки предоставления услуги до точки доступа (R_{S-A}) и максимального расстояния от точки доступа до терминала (R_{A-U}).

$$d_{max} = R_{S-A} + R_{A-U} \quad (3.4)$$

Очевидно, что расстояние от точки доступа до пользователя много меньше расстояния от точки предоставления услуги до точки доступа.

$$R_{A-U} \ll R_{S-A} \quad (3.5)$$

В целом для маршрута можно допустить, что общая средняя задержка равна сумме задержек её участков, рассчитанных по формуле 3.3.

$$T = \sum_{i=1}^k N_i, \quad (3.6)$$

где N_i – задержка i -го участка.

Предположим, что между пользователем сети и точкой предоставления услуги, которой выступает телемедицинская рабочая станция (ТРС), расположено 2 участка: участок доступа и соединительная линия с точкой предоставления услуги.

Каждый кластер представляет собой систему массового обслуживания (СМО) с одним сервером, обрабатывающим заявки [Щарлаева - 70]. Заявки обслуживаются в порядке их поступления, без разделения на приоритеты [71]. Процесс поступления заявок можно описать Пуассоновским распределением, тем самым определяя вероятность поступления заявок в единицу времени [72]:

$$P_m = \frac{\lambda^m}{m!} * e^{-\lambda}, \quad (3.7)$$

где m – число заявок в единицу времени, λ – темп поступления заявок, т.е. среднее число заявок в единицу времени.

Аналогичным способом можно описать распределение пользователей по территории, допустив что число пользователей на 1 м² является случайной величиной. В таком случае темп поступления заявок можно сопоставить плотности пользователей на территории.

Количество пользователей можно определить, как произведение площади сети на плотность пользователей на территории ($1/ \text{м}^2$):

$$v = \pi R_{S-A}^2 \eta \quad (3.8)$$

Вероятность попадания m числа пользователей в зону обслуживания точкой предоставления услуги будет определяться как:

$$P_m = \frac{(\pi R_{S-A}^2 \eta)^m}{m!} * e^{-(\pi R_{S-A}^2 \eta)} \quad (3.9)$$

Получим задержку для одного участка сети для модели GI/G/1, где поток обслуживается одним сервером, время между прибытиями имеет общее произвольное распределение, а время обслуживания соответствует другому общему закону распределения.

Допустим, что в рассматриваемой сети массового обслуживания поступают запросы одного типа, в таких условиях при известных значениях коэффициента вариации и нагрузке, поступающей на узлы, можно рассчитать среднее время пребывания запроса в соответствующем узле при помощи приближенной формулы Крамера и Лангенбаха-Бельца [73]:

$$\bar{w} = \frac{\rho_i \bar{t}}{2(1-\rho_i)} (C(i)_a^2 + C(i)_t^2) g(C(i)_a^2, C(i)_t^2, \rho_i), \quad (3.10)$$

где ρ_i – нагрузка, поступающая на i -й узел, $i \in M$ (множество узлов СМО), C_a – коэффициент вариации интервала между заявками (пакетами), C_t – коэффициент вариации времени обслуживания.

Интенсивность нагрузки рассчитывается как произведение числа заявок в единицу времени на среднее время обслуживания в узле:

$$\rho = \lambda \bar{t} \quad (3.11)$$

Приняв тот факт, что расчет времени задержки выполняется для одного участка сети, можно не указывать номер узла, для которого получаются значения.

$$g(C_a^2, C_t^2, \rho) = \begin{cases} e^{-\frac{2(1-\rho)(1-C_a^2)^2}{3\rho(C_a^2+C_t^2)}}, & C_a^2 \leq 1 \\ e^{-(1-\rho)\frac{(C_a^2-1)^2}{C_a^2+4C_t^2}}, & C_a^2 > 1 \end{cases} \quad (3.12)$$

Произведем расчет модели при использовании сетевой технологии 10 Gigabit Ethernet, предоставляющей скорость передачи данных 10 Гбит/с, что соответствует

пиковой скорости в сетях 5G. Помимо этого, получим результаты для пиковой скорости, равной 1 Гбит/с, технологии 4G. На практике сети 4G и 5G демонстрируют более низкую скорость, 15 Мбит/с и 100 Мбит/с соответственно.

По стандартам Ethernet минимальный размер кадра равен 64 байта, а максимальный - 1518 байт (заголовок 18 байт + данные 1500 байт). При разработке новых стандартов Ethernet размер кадра остался прежним, чтобы избежать фрагментации и сбора кадров из составляющих.

Рассматривая предоставление некоторого перечня телемедицинских услуг, очевидно, что размеры передаваемых пакетов будут отличаться от некоторого константного значения. Поскольку требуется оценить зависимость задержки на ожидание от интенсивности трафика ρ , коэффициента вариации для потока C_a и коэффициента вариации длительности обслуживания C_t , в качестве длины кадра используем среднее значение выборки, полученной при захвате трафика с помощью среды Wireshark в течение 21345,85 секунд, равное 755 байт.

Результаты полученных графиков представлены на рисунках 32 и 33, исходные данные отличаются только скоростью передачи.

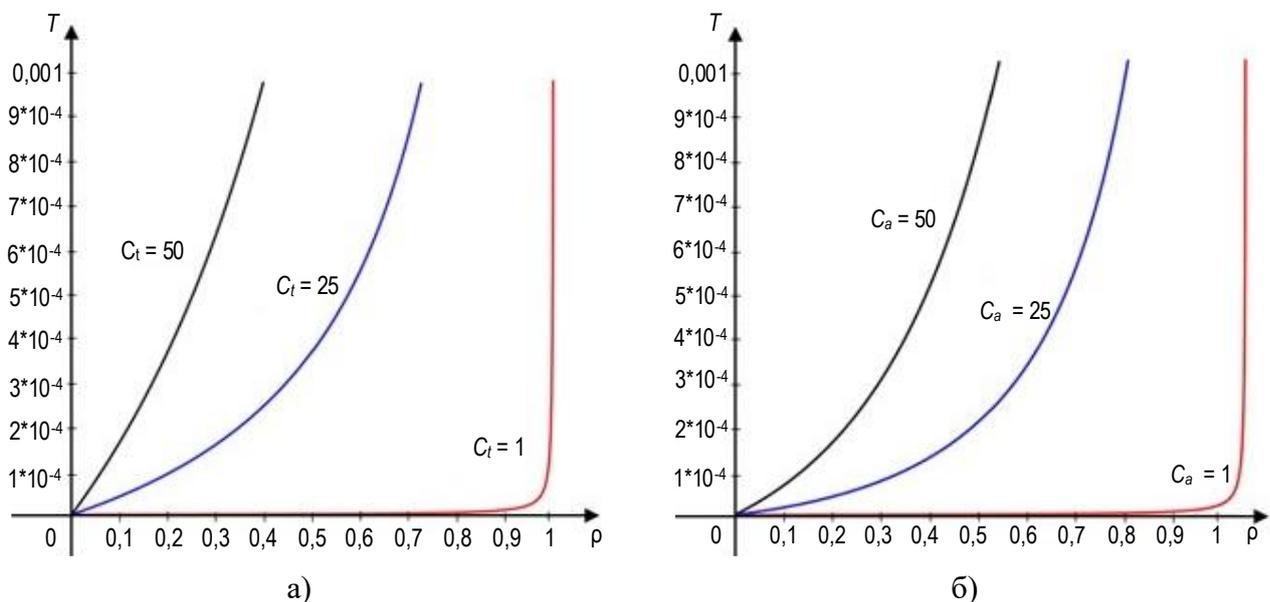


Рисунок 32 – Зависимость задержки от интенсивности трафика и коэффициента вариации длительности обслуживания C_t (а) и коэффициента вариации для потока C_a (б) для скорости передачи 10 Гбит/с

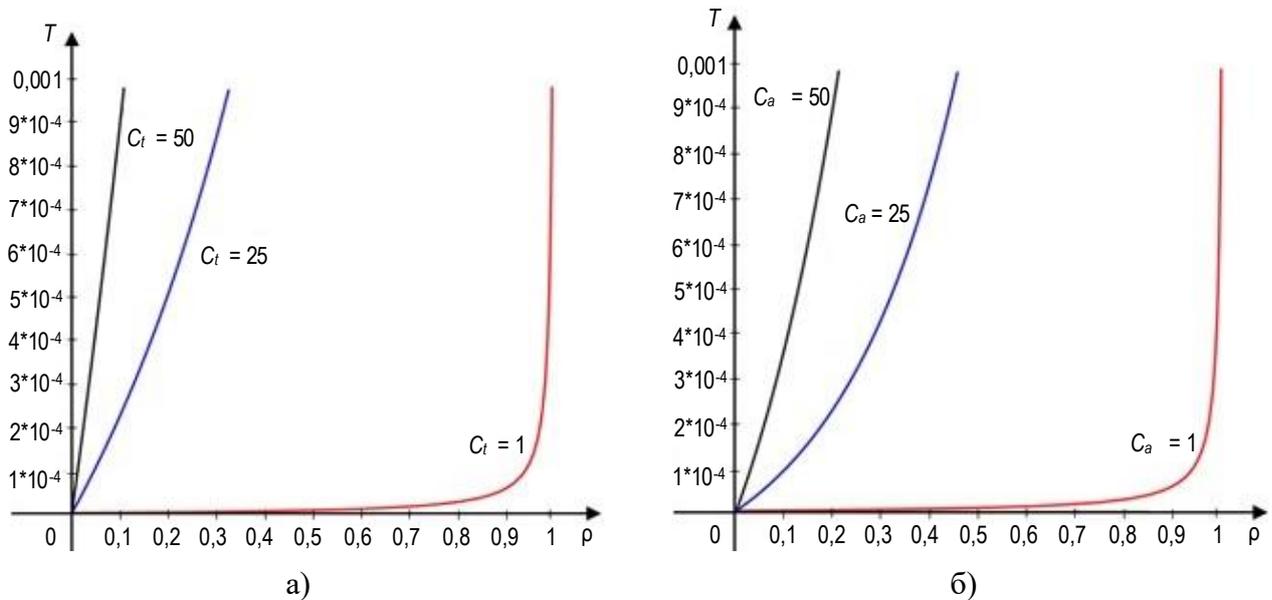


Рисунок 33 – Зависимость задержки от интенсивности трафика и коэффициента вариации длительности обслуживания C_t (а) и коэффициента вариации для потока C_a (б) для скорости передачи 1 Гбит/с

Проанализировав графики, можно сделать выводы:

– Задержка на ожидание в большей степени зависит от коэффициента вариации длительности обслуживания, этот момент наблюдается вне зависимости от скорости передачи. Ведь при аналогичных показателях интенсивности нагрузки, задержка на ожидание имеет большие значения, особенно это прослеживается при повышении коэффициента вариации C_t .

– Значения задержки при разных скоростях, но равных коэффициентах вариации C_a и C_t пропорциональны скоростям передачи.

Ориентируясь на тот факт, что расстояние от точки доступа до пользователя существенно меньше длины линии связи, можно предположить, что доминирующей величиной при распространении сигнала является время его распространения по линии.

Поскольку область предоставления услуги можно описать радиусом, величина которого определяется временем распространения сигнала, а значит и расстоянием, представляется возможным определить предельные размеры кластера.

На основании вышеизложенного можно выделить в качестве отдельной задачи необходимость оценить зависимость определения границ кластера от плотности населения на рассматриваемой территории, т.е. трафика. Значит, проанализировать, как определяется расстояния от точки предоставления услуги до точки доступа (R_{S-A}) на территориях с различной интенсивностью заявок и величиной задержек из-за ожидания. Помимо этого, следует учесть, что ввиду предоставления различных услуг, отличаются и требования по допустимой величине задержки, а также необходимо придерживаться сохранения качества предоставления телемедицинских услуг при выборе метода организации структуры сети.

3.6. Выводы

1. Предложен алгоритм выбора характеристик телемедицинской сети, учитывающий численность населения рассматриваемой территории, её площадь и географическое положение, предоставляемые услуги, а также обеспеченность техническими составляющими, которые используются или использовались ранее в районе.

2. Рассмотрены требования к сетям телемедицины с точки зрения качественных показателей и характеристик медицинских данных для реализации первого набора телемедицинских услуг. Предложен вариант использования телемедицинских рабочих станций в качестве точек предоставления услуг в зависимости от перечня предоставляемых услуг.

3. На основании модели сети с общим произвольным распределением интервала поступления заявок и другим произвольным общим распределением времени обслуживания кадров на произвольном участке сети получена зависимость задержки от интенсивности трафика и длительности обслуживания пакетов для первого набора телемедицинских услуг в сетях связи пятого и последующих поколений.

4. Подтверждена идея необходимости разработки алгоритма кластеризации территории с учетом плотности населения, параметров качества предоставления телемедицинских услуг и требований по ультрамалой задержке.

ГЛАВА 4. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРА ЦИФРОВОГО КЛАСТЕРА НА ОСНОВАНИИ ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

4.1. Введение

В таких направлениях телемедицины как телеобучение или телеконсультации для сопровождения медицинских операций, к услугам предъявляются повышенные требования к значениям задержки, т.к. от скорости реагирования стороны, сопровождающей процесс, и полноты картины зависит человеческая жизнь и успешность проведения лечебных процедур. Поскольку повышенные требования к величине задержки в сетях связи с ультрамалыми задержками, которые в том числе могут быть использованы для оказания телемедицинских услуг, ведут к изменению структуры сети, необходимо предусмотреть наиболее приближенное расположение точек предоставления услуг или телемедицинских пунктов и центров станций к пользователям. Реализация такого подхода возможна за счет организации локальных облачных сервисов, элементы которых расположены приближенно к пользователям, что позволяет обеспечить соответствие требованиям по времени доставки данных.

Как указано в работах [74] и [75], создание такой структуры связано с решением задачи кластеризации территории таким образом, чтобы кластер наиболее эффективно объединял пользователей. Соответственно, размеры кластеров могут принимать разные значения в зависимости от плотности населения на рассматриваемой площади. Допуская, что форма кластеров – окружность, в его центре целесообразно расположить точки предоставления услуг. При этом сами алгоритмы кластеризации разнообразны: от не самых эффективных с участием проектировщика в принятии решения о количестве кластеров до автоматизированных и ресурсозатратных. Физически связь между точками предоставления телемедицинских услуг – телемедицинских центров, и элементами кластера организована в виде кабелей, от протяженности которых и зависит

задержка распространения сигнала. В большинстве случаев протяженность линии связи превышает длину прямой между точками.

В данной главе предложен метод кластеризации, позволяющий учесть распределение пользователей на территории и плотность населения в населенных пунктах, где требуется предоставление телемедицинских услуг. Таким образом, цель заключается в представлении нового метода для оценки взаимосвязи плотности пользователей и размерности цифровых кластеров.

4.2. Постановка задачи

Для выбора позиций размещения точек предоставлений услуг предлагается использовать улучшенную вариацию одного из наиболее популярных методов кластеризации – метода C-means. Основным смыслом указанного метода заключается в использовании идеи нечетких множеств, т.е. выполняется не однозначное закрепление объектов за кластерами, а определяется степень принадлежности объектов к тому или иному кластеру, это дает возможность выбора отношения к кластеру той или иной точки в случае пограничного нахождения. На первом шаге случайным образом задается матрица разбиения по кластерам или устанавливаются центры кластеров [76], после чего запускается итерационный процесс расчета центроидов кластеров и пересчета элементов матрицы принадлежности. Кластеризация завершается, когда модуль разности решающей функции текущей и предыдущей итерации станет меньше параметра остановки ε (4.1).

$$|F - F^*| < \varepsilon, \quad (4.1)$$

где F – значение, вычисленное на предыдущей итерации, F^* – значение, вычисленное на предыдущей итерации.

Основное ограничение, которое предполагается методом C-means, возможность некорректного разбиения на кластеры в случае различной дисперсии по осям [77]. Этот момент требуется предусмотреть при модификации алгоритма, предложив вариант улучшения.

Следует учесть, что в зависимости от числа элементов кластера определяется и их расположение относительно границ кластера. При этом в реальных условиях расстояние между центроидами и элементами определяется не по прямой, а зависит от протяженности маршрутов прокладки кабелей.

Помимо территориальных и географических особенностей площадей, подлежащих кластеризации, для предоставления телемедицинских услуг необходимо использовать плотность населения в качестве одного из главных критериев. В связи с чем необходимо разработать метод определения размеров кластеров с учетом плотности населения регионов, на территории которых разворачивается сеть.

Таким образом, задача исследования заключается в разработке метода выбора параметров кластеризации с учетом плотности населения на территории.

4.3. Плотность населения и территориальная удаленность населенных пунктов на территории планируемых цифровых кластеров

Для того, чтобы оценить зависимость задержки от размеров кластера, примем интенсивность трафика λ_0 за константное значение, равное 0,01 пакетов/сек. Выбранная интенсивность не является реальным примером при предоставлении конкретной услуги, но может быть использована для оценки зависимости задержки от радиуса цифрового кластера.

Допустим, ко времени доставки сообщения предъявляется требование, согласно которому задержка τ не превышает пороговое значение \hat{t} . При этом среднее время ожидания в СМО зависит от интенсивности нагрузки ρ , коэффициента вариации интервала между заявками C_a и коэффициента вариации времени обслуживания C_t . Тогда можно выразить значение задержки через значение радиуса R_{S-A} .

$$\tau = \bar{t} + \bar{w}(\rho, C_a, C_t) + t_p, \quad (4.2)$$

где \bar{t} – среднее время передачи, \bar{w} – среднее время ожидания, t_p – время распространения сигнала.

Интенсивность нагрузки можно рассчитать на базе формулы (3.11), учитывая радиус R_{S-A} :

$$\rho = \lambda_0 \pi R_{S-A}^2 \eta, \quad (4.3)$$

где λ_0 – интенсивность заявок, создаваемая одним пользователем; η – плотность пользователей на территории (чел/м²), πR_{S-A}^2 – площадь сети.

Согласно представленным формулам выполнены расчеты для различных плотностей населения по Северо-Западному федеральному округу, а именно по Республике Карелия, Архангельской, Новгородской и Калининградской областям. Плотность населения равна 3.4, 1.93, 10.94, 66.93 чел/км² соответственно.

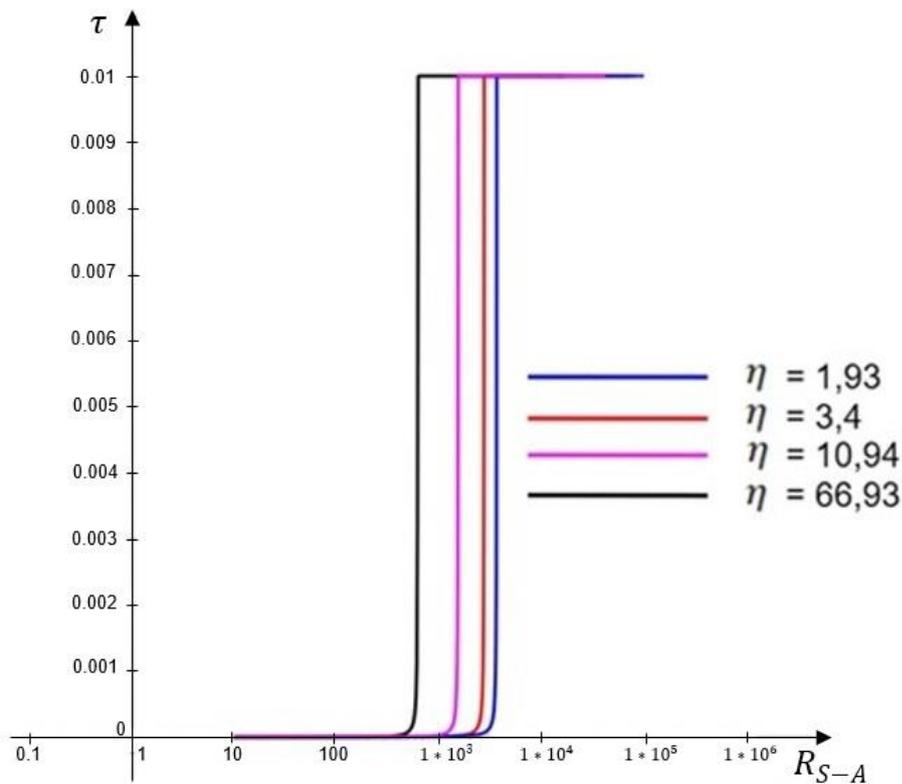


Рисунок 34 – Зависимость задержки от радиуса цифрового кластера

На основании полученных результатов (Рисунок 34) можно заметить, что линейная зависимость задержки от размеров цифрового кластера наблюдается при относительно небольшой интенсивности трафика. При повышении значения до уровня, когда интенсивность нагрузки стремится к единице, фиксируется значительный рост задержки. Это объясняется зависимостью среднего времени ожидания \bar{w} от интенсивности нагрузки ρ (формула 4.2). При увеличении радиуса кластера задержка растет аналогично при значениях разной величины. Таким

образом, для моделирования сетей связи с высокими требованиями по предоставлению услуг необходимо учитывать не только задержку, но и плотность населения, которая характеризует интенсивность поступления заявок [78].

Предположим, что количество элементов кластера не ниже числа жителей на территории, входящей в его радиус. Такой вариант возможен, если устройствами, посредством использования которых выполняется взаимодействие с противоположной стороной (специалистом при телеконсультациях, лектором при телеобучении или узлом обработки полученных показателей состояния здоровья при телемониторинге), обладают все жители территории и в некоторых случаях в количестве более чем 1 шт. Поскольку число устройств, подключенных к сети Интернет, уже превышает число жителей, а в качестве требований к сетям предъявляется обеспечение высокой плотности устройств (1 млн. на 1 кв. км), принятое предположение является корректным.

Получается, что

$$N_p \geq N_e, \quad (4.5)$$

где N_p – число жителей, N_e – число элементов кластера.

При этом справедливо и то, что плотность элементов кластера не превышает плотность населения.

$$\frac{N_e}{S} \leq \frac{N_p}{S} \quad (4.6)$$

Поскольку необходимо при кластеризации учесть плотность расположения элементов, следует доработать выбранный алгоритм C-means. Это позволит не только улучшить качество разделения на кластеры, но и увеличить производительность плотностного метода.

С целью решения задач кластеризации исходных данных с высокой степенью шумов и помех на базе плотности данных хорошо себя зарекомендовал в машинном обучении и интеллектуальном анализе данных алгоритм DBSCAN, базирующийся на расстоянии точек относительно друг друга. Однако, его особенностью является возможность разделения на кластеры произвольной формы без привязки к сферичности полученного результата. При разработке нового

метода используем идею того, что плотность элементов внутри кластера превышает плотность снаружи, а также тот факт, что плотность в областях с шумами ниже плотности любого из кластеров, для сохранения помехоустойчивости алгоритма относительно входных данных.

Для каждой точки кластера следует ограничить число точек в окрестности диапазона заданного радиуса MinPts и радиус окружности, который должен быть создан вокруг каждой точки данных для проверки плотности ϵ [79]. Это позволит выбрать характеристики точек предоставления услуг с различными требованиями к качеству обслуживания. В качестве значения minPts следует выбирать значение, превышающее число признаков в наборе данных, чем более неоднородный ожидается набор исходных данных и чем больше уровень шума, тем большее следует взять значение.

Для выбора наиболее подходящего значения параметра ϵ следует обратиться к графику K -расстояний [80], отражающих упорядоченные по возрастанию средние расстояния по minPts количеству ближайших соседей каждой точки. Оптимальное значение ϵ находится в точке максимальной кривизны.

В общем виде доработанный алгоритм представлен на рисунках 35 и 36.



а)



б)

Рисунок 35 – Улучшенный алгоритм кластеризации (а) и алгоритм C-means (б)

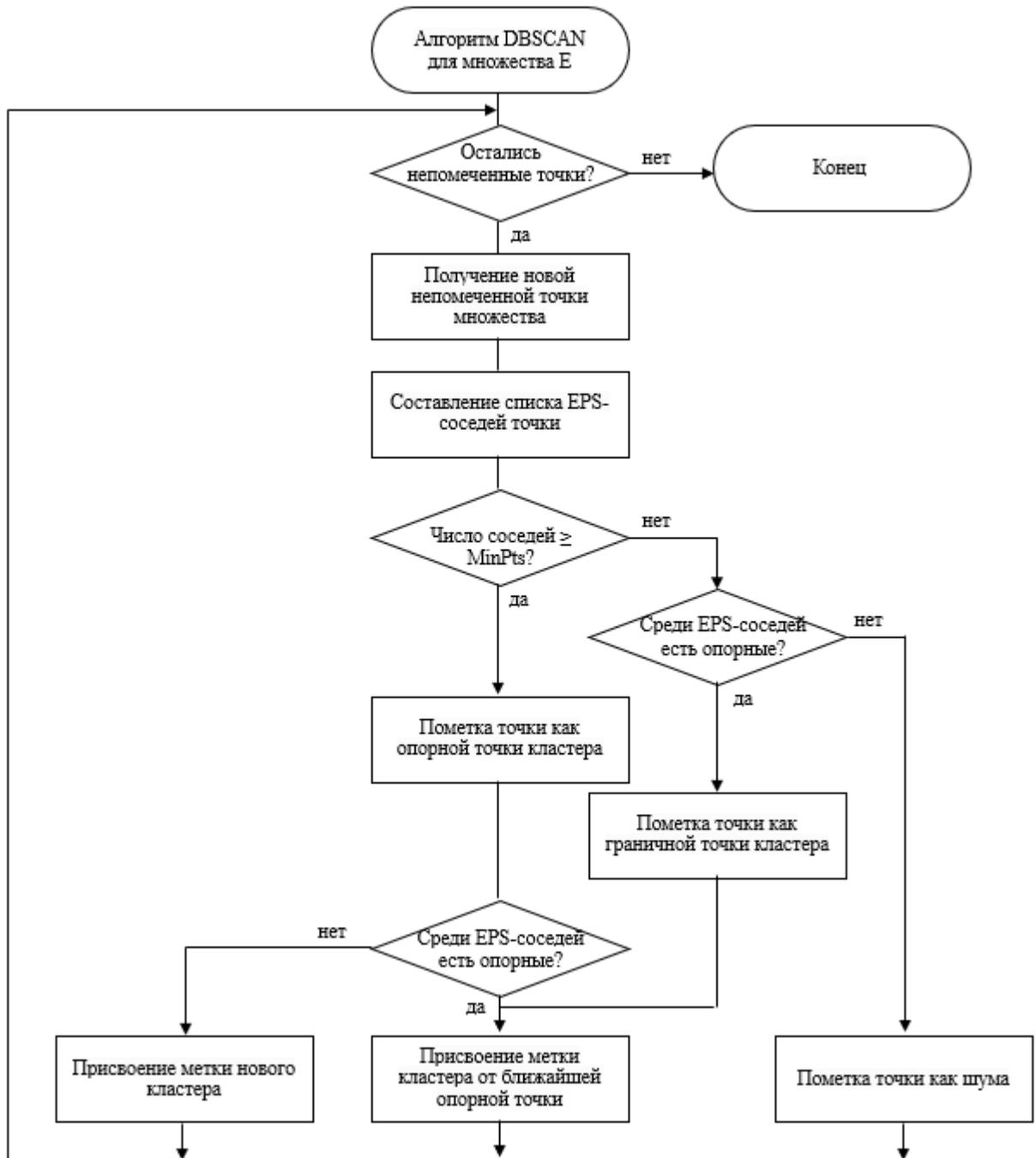


Рисунок 36 – Алгоритм кластеризации DBSCAN

Ниже представлено пошаговое выполнение метода. На вход поступает множество исходных данных D , количество промежуточных кластеров для алгоритма C -means k , случайно выбранная доля данных t из каждого кластера для получения нового множества E . На выходе алгоритма получают кластеры c_j и аномальные точки, не отнесенные ни к одному кластеру.

Шаг 1: Инициализировать случайным образом k центров кластеров $V_j, j = 1 \dots k$.

Шаг 2: Рассчитать матрицу принадлежности элементов к кластерам M .

Шаг 3: Переместить центры кластеров, выполнить пересчёт степеней принадлежности объектов кластерам μ_{ki} .

Шаг 4: Рассчитать значение решающей функции F .

Шаг 5: Если значение решающей функции уменьшается, повторить цикл с ш.2 по ш.5 до тех пор, пока не будет достигнуто значение ниже параметра останова ϵ .

Шаг 6: На основании доли t для каждого полученного кластера получить новое множество E , чтобы не изменилась относительная плотность между регионами множества D .

Шаг 7: Выбор произвольной не рассмотренной ранее точки из множества E , а также информации о числе соседей рассматриваемой точки m .

Шаг 8: Если точка содержит не менее заданного параметра $MinPts$ ($m \geq MinPts$), она принимается за опорную для формирования кластера.

Остальные точки делятся на 2 группы:

- Точка границы кластера
- Шум

В случае непопадания точки в кластер, рассмотренная точка может быть включена в другой кластер, если будет найдена в окрестности.

Шаг 9: Для выделенной опорной точки элементы окрестности принимаются как составляющие кластера. Таким образом, все точки, найденные в окрестности, добавляются вместе с их собственной окрестностью, если они также являются центральными точками.

Шаг 10: Повторение шагов 8-9 до тех пор, пока опорные точки не будут объединены со всеми соседями, которые тоже являются опорными.

Шаг 11: Процесс возобновляется с новой точкой, которая может быть частью нового кластера или помечена как шум, т.е. повторение цикла по шагам 7-11 до окончания перебора всех точек множества E .

Так как различные услуги предъявляют разные требования по времени задержки при передаче данных, размеры цифровых кластеров должны отличаться

для каждой группы услуг. На рисунке 37 приведен пример выполнения алгоритма, где кластеризация выполнена для покрытия территории точками предоставления трех услуг с различными требованиями к качеству обслуживания, где точки сочетают в себе предоставление от 1 до 3 услуг в зависимости от своего положения. Следует отметить, что в результате выполнения кластеризации данных элементы сгруппированы по плотности расположения относительно друг друга, а также помехи в исходных данных, вызванные главным образом из-за случайного расположения точек на территории, выделены отдельным цветом. Приведенный пример демонстрирует возможную структуру организации цифровых кластеров в сетях связи пятого и последующих поколений.

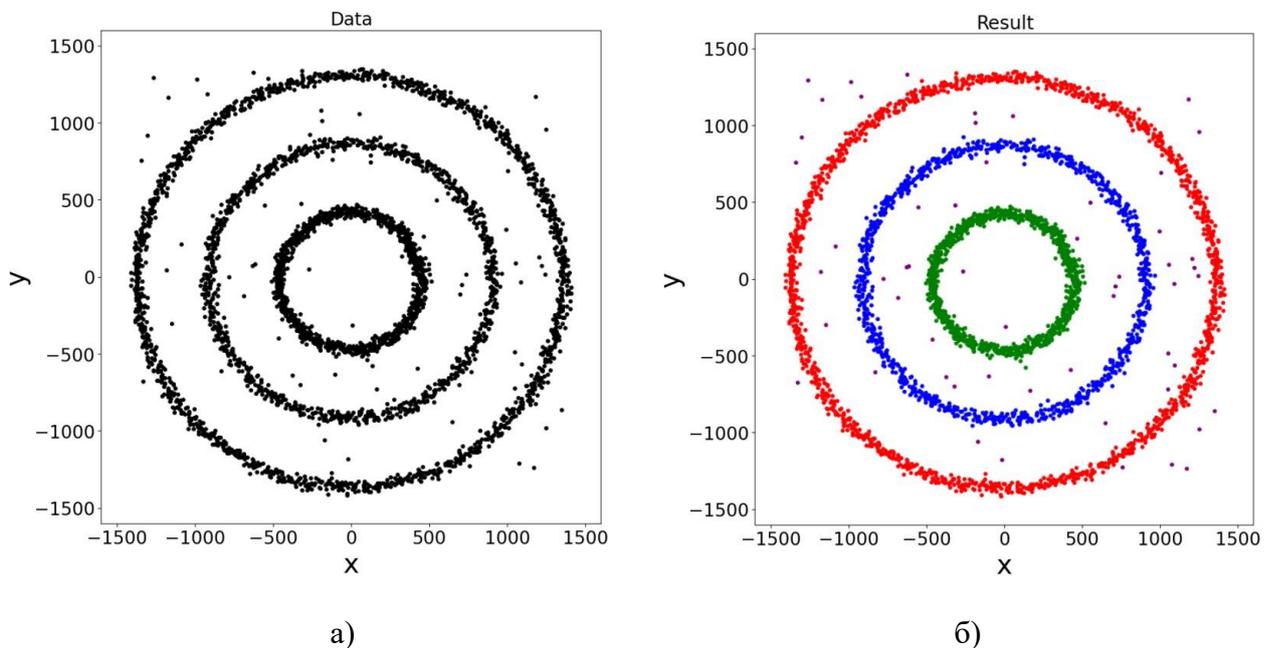


Рисунок 37 – Исходные данные (а) и результат кластеризации (б)

В созданной модели наиболее эффективные значения параметров ϵ и MinPts получены на основании графика К-расстояний (Рисунок 38) и того факта, что рассматривается пример предоставления 3 услуг, значения равны 50 и 4 соответственно. Так как диапазон наибольшего изгиба находится в промежутке от 20 до 60, для обучения модели выбрано значение $\epsilon = 50$.

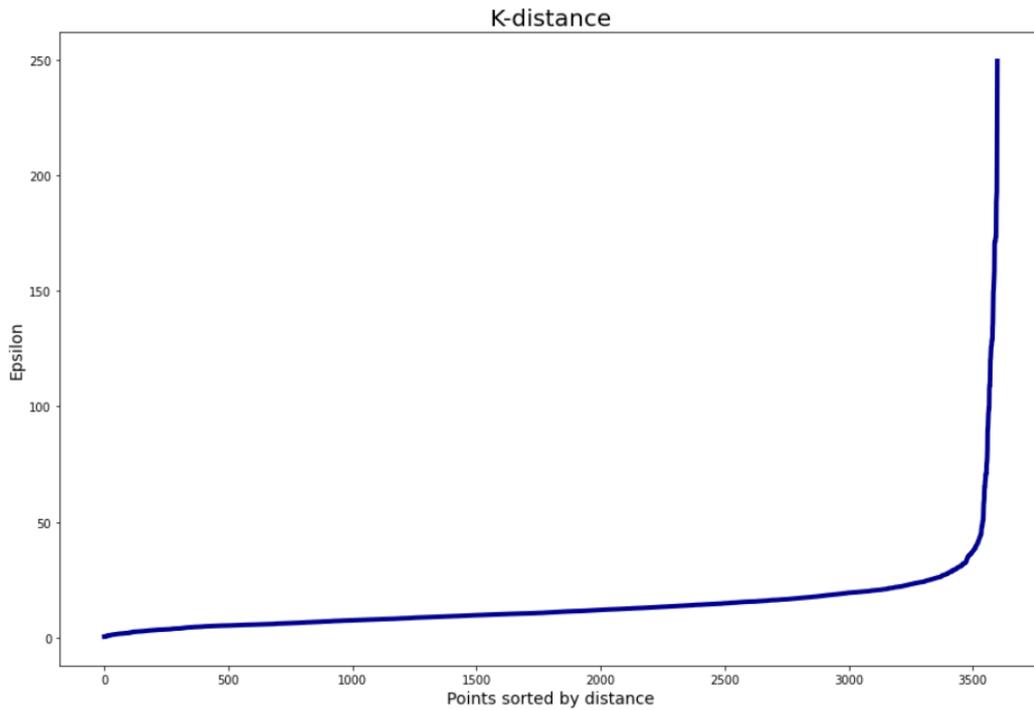


Рисунок 38 – График K-расстояний для выбора значений параметров

Смоделируем иную ситуацию, где группы пользователей наиболее отдалены друг от друга, и в рамках каждого выделенного кластера предоставляется услуга со своими требованиями по задержке. Допуская тот факт, что пользователи распределены по территории случайным образом и их расположение можно описать генерацией данных из изотропных гауссовских распределений, выполним алгоритм на синтетическом наборе.

В результате выполнения метода C-means выделено 5 кластеров (Рисунок 39), что не совсем корректно, т.к. не учтено расстояние между выделенными кластерами. Метод, предложенный в рамках главы, на выходе формирует 3 кластера (Рисунок 40) и несколько точек, принятых за шум, в таком случае точки трех кластеров выделены в один по причине близкого расположения точек, включенных в их состав. Точки предоставления услуг следует располагать в центрах выделенных кластеров.

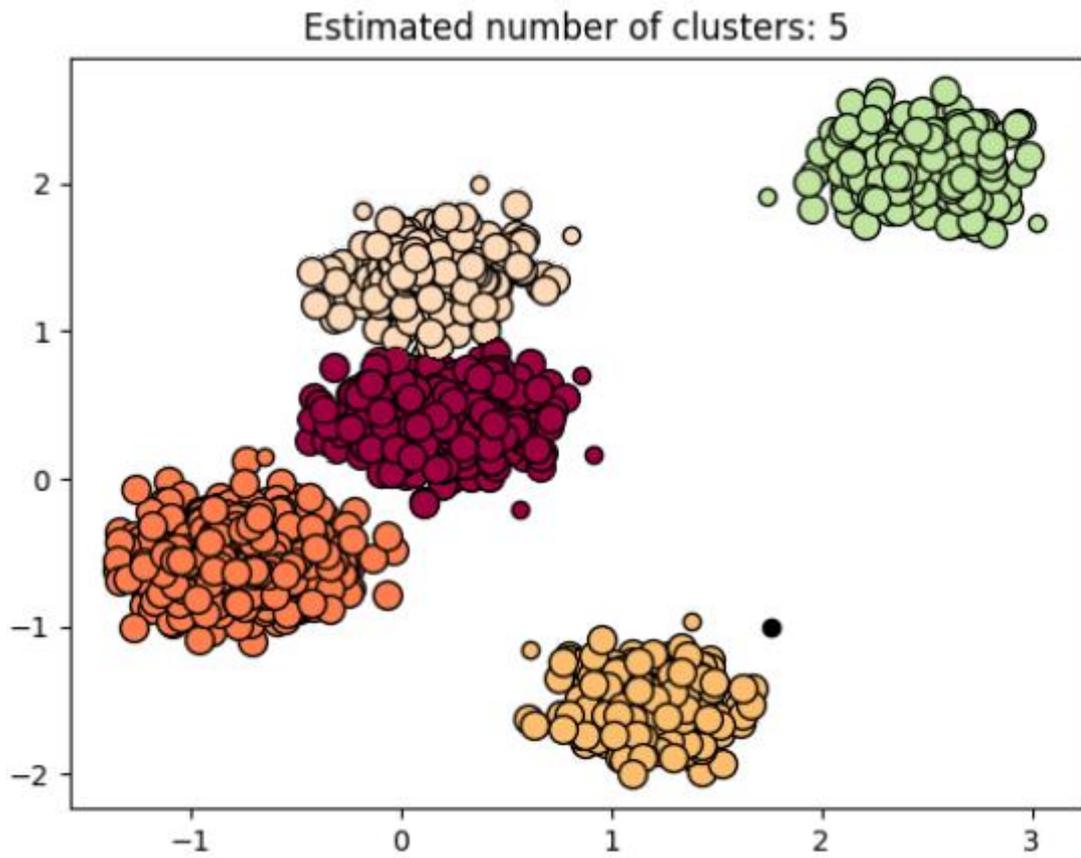


Рисунок 39 – Пример кластеризации методом C-means

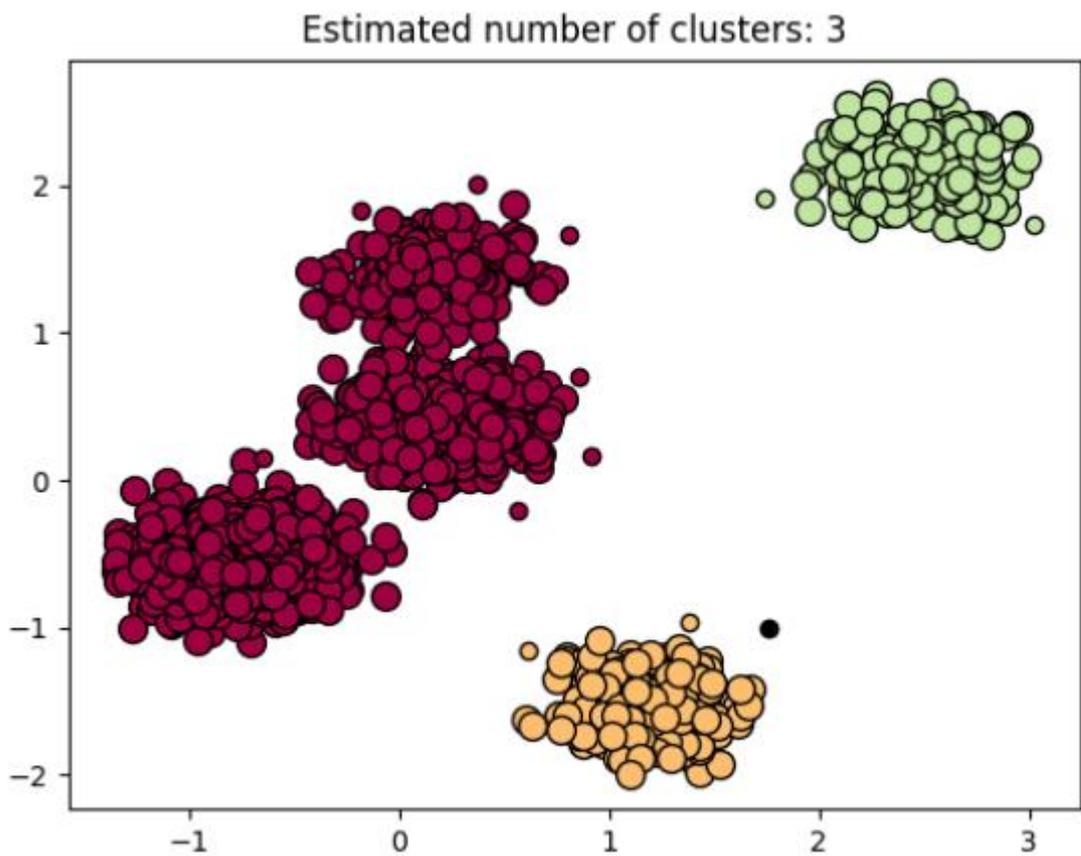


Рисунок 40 – Пример кластеризации модифицированным алгоритмом

Вычислительная сложность алгоритмов, взятых за основу для модификации, и предложенного комплексного метода:

- C-means – $O(NKI)$, где K – число кластеров, I – число итераций, N – число элементов выборки.
- DBSCAN – $O((N)^2)$, где N – число элементов выборки.
- Комплексный метод – $O(NKI + (tN)^2) = (tN)^2$, где t – доля кластеризуемого подмножества, N – число элементов выборки.

Полученные результаты экспериментальной оценки результатов кластеризации свидетельствуют о том, что комплексный метод позволяет сократить время выполнения алгоритма не менее чем на 30% по сравнению с DBSCAN, увеличивая точность выделения кластеров методом C-means за счет плотностного подхода. Для оценки точности использован статистический критерий Rand index, позволяющий оценить сходство между двумя результатами кластеризации данных.

Предложенная модификация алгоритма C-means позволяет учесть при кластеризации плотность пользователей на рассматриваемой территории. Основное дополнение заключается в использовании алгоритма DBSCAN на этапе завершения кластеризации методом C-means. Таким образом в каждом уже выделенном кластере выделяется подмножество, которое подлежит проверке на плотность расположения элементов. Для получения наиболее эффективного результата необходимо устанавливать оптимальные значения параметров метода DBSCAN. Для определения радиуса окружности, который должен быть создан вокруг каждой точки данных для проверки плотности, следует опираться на средние расстояния между проверяемыми точками и количество элементов в окрестности.

4.4. Выводы

1. Для решения задачи разбиения территорий на группы с целью предоставления телемедицинских услуг различного характера решено, что

требуется опираться на распределение пользователей по территории, следовательно, плотность населения влияет на траекторию прокладки линий связи.

2. Доказана зависимость величины задержки при доставке данных от плотности населения на примере расчетов, выполненных для территорий Северо-Западного федерального округа.

3. Предложена модификация алгоритма C-means с использованием плотностного метода, устойчивого к шумам, DBSCAN. При выполнении кластеризации предоставляется возможность оптимальной настройки входных параметров, таких как радиус окружности и количество элементов, в пределах которых определяется попадание точек в кластеры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе были получены следующие основные результаты:

1. Анализ требований к сетям на горизонте планирования до 2030 года позволил выделить концепцию сетей связи с ультрамалыми задержками uRLLC как основное направление для реализации услуг телеприсутствия и решений телемедицины. Существующие фундаментальные ограничения по скорости распространения света требуют децентрализации сети, что может способствовать сокращению цифрового разрыва на территории РФ.

2. На основании исторически сформированного перечня потребительских услуг выделены наиболее перспективные сферы применения роботов телеприсутствия, а также отдельно приведена классификация телемедицинских услуг с разделением в зависимости от функциональных требований на консультации, мониторинг здоровья и обучение.

3. Продемонстрированы варианты построения архитектуры телемедицинской сети по централизованной и децентрализованной схеме, а также с различными сочетаниями подчинения объектов телемедицинской, организацией LAN и WAN сегментов, расположением оборудования провайдера, способами локализации элементов хранения данных и рекомендованными сетевыми технологиями.

4. На основании линейной регрессии и алгоритма экспоненциального сглаживания получен прогноз доли пользователей телемедицинских услуг на горизонте планирования до 2030 года, что показывает в обоих случаях увеличение потребности среди населения с достижением охвата более 100 млн. человек.

5. Сформулирована проблема цифрового разрыва на мировом уровне и на территории Российской Федерации. Определены пути решения и имеющиеся программы по его устранению. В частности, одним из наиболее эффективных методов является использование информационно-коммуникационных технологий

при предоставлении медицинских услуг, что позволит не только сократить цифровой разрыв, но и создать информационное общество.

6. Для покрытия площади Российской Федерации телемедицинской сетью рассмотрена зависимость числа медицинских учреждений амбулаторно-поликлинического характера и плотности населения от Валового регионального продукта (ВРП) как меры оценки цифрового разрыва, а также выявлена необходимость проектирования сетей связи для внедрения на территориях с низкой плотностью населения с сохранением требований, предъявляемых и в наиболее заселенных субъектах.

7. Приведена классификация территорий РФ и выполнено разделение федеральных округов РФ, обоснованное имеющимися расстояниями между сельскими населенными пунктами, районными и областными центрами. Это позволило сделать выводы по частоте расположения центров обработки данных в районных или областных центрах для обеспечения требуемых показателей качества обслуживания и восприятия, в частности для услуг Тактильного Интернета, услуг дополненной реальности и телемедицинских услуг, которые являются ключевыми в сетях 2030.

8. В отличие от известных результатов установлена взаимосвязь между плотностью амбулаторно-поликлинических организаций и ВРП на душу населения. Аппроксимированы статистические данные, на основании чего представляется возможным частично решить проблему цифрового разрыва посредством перераспределения медицинских ресурсов в стране или изменением сетевой инфраструктуры для предоставления новых услуг.

9. Предложен алгоритм выбора характеристик телемедицинской сети, учитывающий численность населения рассматриваемой территории, её площадь и географическое положение, предоставляемые услуги, а также обеспеченность техническими составляющими, которые используются или использовались ранее в районе.

10. Рассмотрены требования к сетям телемедицины с точки зрения качественных показателей и характеристик медицинских данных для реализации

первого набора телемедицинских услуг. Предложен вариант использования телемедицинских рабочих станций в качестве точек предоставления услуг в зависимости от перечня предоставляемых услуг.

11. На основании модели сети с общим произвольным распределением интервала поступления заявок и другим произвольным общим распределением времени обслуживания кадров на произвольном участке сети получена зависимость задержки от интенсивности трафика и длительности обслуживания пакетов для первого набора телемедицинских услуг в сетях связи пятого и последующих поколений.

12. Подтверждена идея необходимости разработки алгоритма кластеризации территории с учетом плотности населения, параметров качества предоставления телемедицинских услуг и требований по ультрамалой задержке.

13. Для решения задачи разбиения территорий на группы с целью предоставления телемедицинских услуг различного характера решено, что требуется опираться на распределение пользователей по территории, следовательно, плотность населения влияет на траекторию прокладки линий связи.

14. Доказана зависимость величины задержки при доставке данных от плотности населения на примере расчетов, выполненных для территорий Северо-Западного федерального округа.

15. Предложена модификация алгоритма C-means с использованием плотностного метода, устойчивого к шумам, DBSCAN. При выполнении кластеризации предоставляется возможность оптимальной настройки входных параметров, таких как радиус окружности и количество элементов, в пределах которых определяется попадание точек в кластеры.

Полученные в работе результаты рекомендуется использовать для решения задач планирования и проектирования сетей связи при внедрении первого набора телемедицинских услуг. Перспективы дальнейшей разработки заключаются в расширении перечня исследуемых характеристик сети, разработке новых методов работы с медицинскими данными и тактильной информацией, что позволит в большей степени исследовать телемедицинские сети.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВРП	Валовый Региональный Продукт
ИКТ	Информационно-коммуникационные технологии
МКС	Международная космическая станция
МСЭ-Т	Сектор стандартизации телекоммуникаций Международного Союза Электросвязи
МТП	Мобильный телемедицинский пункт
СМО	Сеть массового обслуживания
ТМС	Телемедицинская сеть
ТП	Телемедицинский пункт
ТФОМС	Территориальный Фонд Обязательного Медицинского Страхования
ТЦ	Телемедицинский центр
УАД	Уровень абонентского доступа
УАИП	Уровень агрегации информационных потоков
УИ	Уровень интеграции
УТП	Удаленные телемедицинских пунктов
ФОМС	Фонд обязательного медицинского страхования
ЦОД	Центр обработки данных
ETS	Exponential smoothing – Экспоненциальное сглаживание
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line – Асимметричная цифровая абонентская линия

AIM	Advanced Informatics in Medicine – Передовая информатика в медицине
AR	Augmented reality – Дополненная реальность
DBSCAN	Density-based spatial clustering of applications with noise – Плотностный алгоритм пространственной кластеризации с присутствием шума
EPIC	European Prototype for Integrated Care – Европейский прототип комплексной помощи
FEST	Framework for European Services in Telemedicine – Структура европейских услуг в области телемедицины
ISAAC	Integrated Support Communication System – Интегрированная система поддержки связи
LAN	Local Area Network – Локальная вычислительная сеть
LTE	Long Term Evolution – Система длительной эволюции
MAE	Mean Absolute Error – Средняя абсолютная ошибка
MASE	Mean Absolute Scaled Error – Средняя абсолютная масштабированная ошибка
NUCLEUS	Customisation Environment for Multimedia Integrated Patient Dossier – Среда настройки для мультимедийного интегрированного досье пациента
RAID	Redundant Array of Independent Disks – Избыточный массив независимых (самостоятельных) дисков
RMSE	Root Mean Squared Error – Среднеквадратическое отклонение
SHINE	Strategic Health Informatics Network for Europe – Стратегическая сеть медицинской информатики для Европы
SMAPE	Symmetric Mean Absolute Percentage Error – Симметричная средняя абсолютная процентная погрешность

uRLLC	ultra Reliable Low Latency Communication – Сверх надежные взаимодействия со сверх малой задержкой
VDSL	Very high speed Digital Subscriber Line – Сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия
VR	Virtual reality – Виртуальная реальность
WAN	Wide Area Network – Глобальная вычислительная сеть

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интернет Вещей [Электронный ресурс] // Новости Интернета вещей [сайт]. – URL: https://iot.ru/riteyl/internet_veschej_eto_globalsnyj_trend_v_mire_telekoma_kotoryj_budet_trudno_zatmits_v_blizhajshie_1015_let
2. Маколкина М.А. Разработка и исследование комплекса моделей трафика и методов оценки качества для дополненной реальности: диссертация на соискание ученой степени д.т.н: 05.12.13 / Маколкина Мария Александровна. – СПбГУТ, 2019. – 436 с.
3. Услуги в современной экономике: сущность и классификация [Электронный ресурс] // Национальный открытый университет [сайт]. – URL: https://intuit.ru/studies/professional_skill_improvements/20240/courses/799/lecture/30873?page=3
4. Структура ВВП России 2022 по отраслям [Электронный ресурс] // Банки России [сайт]. – URL: <https://bankiros.ru/wiki/term/struktura-vvp-rossii-po-otraslam>
5. Андрюхина, Л.М. Технологии телеприсутствия – новая креативная платформа развития образования / Л.М. Андрюхина // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10-12. – С. 2754-2759.
6. Телеприсутствие [Электронный ресурс] // Академик [сайт]. – URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1358502>
7. Класс 9 МКТУ [Электронный ресурс] // Международная классификация товаров и услуг [сайт]. – URL: <http://www.mktu.info/goods/9/>
8. 7 популярных областей, где трудятся роботы-телеприсутствия [Электронный ресурс] // Nanojam магазин роботов [сайт]. – URL: <https://nanojam.ru/news/7-populiarnykh-oblastei-gde-trudiatsia-roboty-teleprisutstviia>
9. Услуги связи [Электронный ресурс] // Связь 2025 [сайт]. – URL: <https://www.sviaz-expo.ru/ru/ui/17020/>

10. Ruggiero, C. The EPIC project in Savona: an example of dissemination of an EU-AIM project at municipal level / C. Ruggiero, M. Giacomini, R. Sacile // *Medical informatics*. – 1997. – V.22. – P. 143-154.
11. Gerneth, M. FEST: Framework for European Services in Telemedicine. / M. Gerneth // *Comput Methods Programs Biomed.* – 1994. – V.45. – P. 71-75.
12. Customisation Environment for Multimedia Integrated Patient Dossiers [Электронный ресурс] // European Commition [сайт]. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/A2025/results>
13. Kruit, D. SHINE: Strategic Health Informatics Networks for Europe / D. Kruit, P.A. Cooper // *Comput Methods Programs Biomed.* – 1994. – V.45. – P. 155-162.
14. European Medical Information Framework [Электронный ресурс] // EuroRec [сайт]. – URL: <https://www.eurorec.org/r-d-activities/past-projects/q-rec/>
15. Панафриканский проект электронной сети [Электронный ресурс] // Энциклопедия [сайт]. – URL: https://wikisu.ru/wiki/Pan-African_e-Network_project
16. Шарлаева, М.В. Интеграция платформы 1С:Предприятие 8 и нейронной сети для диагностики кардиологических заболеваний / М.В. Шарлаева, Д.В. Окунева // Сборник научных статей VIII Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». – 2019. – Т. 1. – С. 710-714.
17. Шарлаева, М.В. Разработка лабораторного стенда для мониторинга ЭКГ на базе технологии LORA / М.В. Шарлаева, М.А. Маколкина // Сборник научных статей X Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». – 2021. – Т. 4. – С. 476-480.
18. Шарлаева, М.В. Интеграция платформы "1С:Предприятие 8" и нейронной сети для диагностики кардиологических заболеваний / М.В. Шарлаева, Д.В. Окунева // Сборник научных трудов XXI Международной научно-практической конференции «Технологии 1С в цифровой трансформации экономики и социальной сферы». – 2021. – Ч. 1. – С. 411-413.

19. Шарлаева, М.В. Применение порогового преобразования для сегментации изображений / М.В. Шарлаева, М.А. Маколкина // Сборник научных статей IX Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». – 2020. – Т. 1. – С. 697-702.

20. Шарлаева, М.В. Использование метода Оцу для вычисления адаптивного порога сегментации / М.В. Шарлаева, М.А. Маколкина // Сборник научных статей IX Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». – 2020. – Т. 1. – С. 693-697.

21. Шарлаева, М.В. Исследование внедрения телемедицинских услуг в организации здравоохранения / М.В. Шарлаева // Электросвязь. – 2024. – № 6. – С. 22-29.

22. Рынок роботов телеприсутствия: рост, тенденции, влияние Covid-19 и прогнозы (2022-2027 гг.) [Электронный ресурс] // Точная рыночная аналитика и консультации [сайт]. – URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/telepresence-robots-market>

23. Желание сэкономить заставляет здравоохранение развивать телемедицину [Электронный ресурс] // Журнал VK Cloud Solutions об IT-бизнесе, технологиях и цифровой трансформации [сайт]. – URL: <https://mcs.mail.ru/blog/zhelanie-sehkonomit-zastavlyayet-zdravoohranenie-razvivat-telemedicinu>

24. Медтех тренды: что будет в фокусе в 2021 году [Электронный ресурс] // Azoft [сайт]. – URL: <https://www.azoft.ru/blog/medtech-trends-2021>

25. Функция Предсказ для прогнозирования будущих значений в Excel [Электронный ресурс] // ExcelTable [сайт]. – URL: <https://exceltable.com/funkcii-excel/funkciya-predskaz-dlya-prognozirovaniya>

26. Модель ETS [Электронный ресурс] // Факультет экономических наук [сайт]. – URL: <https://economics.hse.ru/data/2018/10/27/1141902017/ETS.pdf>

27. Численность населения в регионах страны [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики [сайт]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/166784>

28. Кирилова, Д.А. Преодоление цифрового неравенства сельских территорий / Д.А. Кирилова, Н.С. Маслов, А.Д. Рейн // International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – №9. – С. 21-26.

29. Перфильева, О.В. Проблема цифрового разрыва и международные инициативы по ее преодолению / О.В. Перфильева // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. – 2007. – №2. – С. 34-49.

30. Добринская, Д.Е. Перспективы российского информационного общества: уровни цифрового разрыва / Д.Е. Добринская, Т.С. Мартыненко // Вестник РУДН. Серия: Социология. – 2019. – №1. – С. 108-120.

31. Digital 2022: April global statshot report [Электронный ресурс] // Datareportal [сайт]. – URL: <https://datareportal.com/reports/digital-2022-april-global-statshot>

32. Asia-Pacific Front Line of Healthcare Report 2022 [Электронный ресурс] // Bain & Company [сайт]. – URL: <https://www.bain.com/insights/asia-pacific-front-line-of-healthcare-report-2022>

33. Исследование GfK: Проникновение Интернета в России [Электронный ресурс] // GfK [сайт]. – URL: <https://www.gfk.com/ru/press/issledovanie-gfk-pronikновение-interneta-v-rossii>

34. Абдрахманова, Г.И. Информационное общество в Российской Федерации: статистический сборник / К.Э. Лайкам, Г.И. Абдрахманова, Л.М. Гохберг, О.Ю. Дудорова. – М.: НИУ ВШЭ, 2017. – 328 с.

35. Тополь, Э. Будущее медицины: Ваше здоровье в ваших руках / Э. Тополь. – М.: Альпина нон-фикшн, 2016. – 491 с.

36. Самые цифровые страны мира: рейтинг 2020 года [Электронный ресурс] // Цифровая экономика [сайт]. – URL: <https://www.digital-energy.ru/2021/01/18/industry/harvard-business-review-opublikoval-reyting-2020-samy-tsifrovye-strany-mira>

37. Указ о национальных целях развития России до 2030 года [Электронный ресурс] // Президент России [сайт]. – URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/63728>
38. Медицинские учреждения [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия [сайт]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Медицинские_учреждения
39. Касимовская, Н.А. Организация стационарной помощи / Н.А. Касимовская, М.С. Микерова. – М., 2012. – 105 с.
40. Организация медицинской помощи населению [Электронный ресурс] // Большая российская энциклопедия [сайт]. – URL: <https://old.bigenc.ru/text/5063876>
41. Внутренний и региональный: что такое валовой продукт и зачем его считают [Электронный ресурс] // Официальный сайт Мэра Москвы [сайт]. – URL: – <https://www.mos.ru/news/item/86202073>
42. Плотность населения России на 2022 [Электронный ресурс] // Сайт о странах и городах [сайт]. – URL: http://www.statdata.ru/nasel_regions
43. Егоренко, С.Н. Российский статистический ежегодник / С.Н. Егоренко, Н.А. Бобкова, С.Н. Бобылев, В.В. Гарин. – М., 2021. – 692 с.
44. Муниципальные образования [Электронный ресурс] // Муниципальное право [сайт]. – URL: <http://allstatepravo.ru/munizpravo/mmuniz2/910-municipalnie-obrazovania-.html>
45. Интегрированная информационная среда [Электронный ресурс] // Лекции.Ком [сайт]. – URL: <https://lektsii.com/2-11087.html>
46. Li, Z. 5G URLLC: Design Challenges and System Concepts / Z. Li, M. Uusitalo, H. Shariatmadari, B. Singh // 15th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS). – 2018. – P. 1-6.
47. Дальнейшее развитие технологии Ethernet [Электронный ресурс] // Информационные технологии [сайт]. – URL: <http://kunegin.com/ref1/eth1/gigabit.htm>
48. IEEE 802.3-2008 – Standard for Information technology – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 3: Carrier Sense Multiple

Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications. – 2009.

49. 10-гигабитный Ethernet [Электронный ресурс] // Технологии и средства связи [сайт]. – URL: <http://lib.tssonline.ru/articles2/fix-op/10gigabitnii-ethernet>

50. Обзор технологии Wi-Fi [Электронный ресурс] // Nag News [сайт]. – URL: <https://nag.ru/material/35534>

51. Сети WiFi. Стандарты и технологии [Электронный ресурс] // Квалифицированное построение беспроводных сетей любого масштаба [сайт]. – URL: <https://getwifi.ru/pstandarts.html>

52. WiFi: беспроводные сети [Электронный ресурс] // НИКС – компьютерная компания [сайт]. – URL: https://www.nix.ru/computer_hardware_news/hardware_news_viewer.html?id=187963

53. Технология Wi-Fi [Электронный ресурс] // Network Tools [сайт]. – URL: <https://ntools.com.ua/information/faq/tehnologija-wi-fi>

54. Спутниковый интернет [Электронный ресурс] // Starlink [сайт]. – URL: <https://www.starlink.ru/articles/satellite-net/>

55. 4G LTE: Разновидности и особенности стандарта связи четвертого поколения [Электронный ресурс] // Беспроводные интернет-технологии [сайт]. – URL: <https://bitconnect.ru/tehnologii/chto-takoe-4g-lte.html>

56. Принцип работы, максимальная скорость, преимущества и недостатки технологии ADSL [Электронный ресурс] // Driverup [сайт]. – URL: <https://driverunpaid.ru/kompyutery/adsl-2.html>

57. Разбор технологий VDSL и ADSL [Электронный ресурс] // Wi-Fi и беспроводная сеть [сайт]. – URL: <https://wifigid.ru/poleznoe-i-interesnoe/vdsl-adsl>

58. Пассивная оптическая сеть (PON) [Электронный ресурс] // Arstel [сайт]. – URL: https://arstel.com/details/proektirovanie/tv/skhema-tv-priyema_5_8.php

59. Сети ШПД - развитие, технологии и решения [Электронный ресурс] // Технологии и средства связи [сайт]. – URL: <http://lib.tssonline.ru/articles2/fix-op/seti-shpd--razvitie--tehnologii-i-resheniya-chast-2>

60. Recommendation ITU-T G.1010 «End-user multimedia QoS categories». ITU-T. – Geneva. – 2001.

61. Сети AON vs PON: какой выбрать для систем FTTH [Электронный ресурс] // ФОКС волокно [сайт]. – URL: <http://m.ru.fibresplitter.com/info/aon-vs-pon-networks-which-one-to-choose-for-f-35961667.html>

62. Шарлаева, М.В. Исследование системы мониторинга сердечно-сосудистой системы пациентов с использованием имитационного моделирования / М.В. Шарлаева // Сборник 75-й региональной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «СТУДЕНЧЕСКАЯ ВЕСНА – 2021». – 2021. – Т. 1. – С. 100-103.

63. Калькулятор времени передачи данных [Электронный ресурс] // TranslatorsCafe [сайт]. – URL: <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/ru-RU/calculator/data-transfer-time>

64. 8К видео [Электронный ресурс] // GamesQA [сайт]. – URL: <https://gamesqa.ru/obzory/vse-o-8k-televizorax-11573>

65. Скорость интернета для просмотра 4К-видео [Электронный ресурс] // Раздавай Wifi [сайт]. – URL: <https://razdavaywifi.ru/kakaya-skorost-interneta-nuzhna-dlya-prosmotra-4k-video.htm>

66. Recommendation ITU-T G.1080. Quality of experience requirements for IPTV services. ITU-T. – Geneva. – 2008.

67. Recommendation ITU-T G.1000 «Communications quality of service: A framework and definitions». ITU-T. – Geneva. – 2001.

68. Recommendation ITU-T P.10/G.100 «Vocabulary for performance, quality of service and quality of experience». ITU-T. – Geneva. – 2017.

69. How to Calculate Packet Time from Latency and Bandwidth [Электронный ресурс] // Baeldung [сайт]. – URL: <https://www.baeldung.com/cs/packet-time-latency-bandwidth>

70. Шарлаева, М.В. Исследование средней задержки в сетях связи, предоставляющих телемедицинские услуги / М.В. Шарлаева, М.А. Маколкина //

Труды учебных заведений связи. – 2024. – Т. 10, № 3. – С. 59-65. – DOI 10.31854/1813-324X-2024-10-3-59-65.

71. Барановский, А.Г. Моделирование сетевого трафика с использованием устойчивых процессов / А.Г. Барановский, Н.Н. Труш // ЭБ БГУ::ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ::Информатика. – 2015.

72. Афанасьев, М.Ю. Исследование операций в экономике: модели, задачи, решения / М.Ю. Афанасьев, Б.П. Суворов. – 2003. – 443 с.

73. Гайдамака, Ю.В. Применение приближенного метода анализа времени установления сессии в подсистеме IMS / Ю.В. Гайдамака, Э.Р. Зарипова, О.Г. Вихрова // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем: сборник материалов Всероссийской конференции с международным участием. – 2014. – С. 19-23.

74. Блануца, В.И. Территориальная структура цифровой экономики России: предварительная делимитация “умных” городских агломераций и регионов / В.И. Блануца // Пространственная экономика. – 2018. – №2. – С. 17-35.

75. Бородин, А.С. Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики / А.С. Бородин, А.Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2017. – № 5. – С. 45-49.

76. Метод нечёткой кластеризации C-средних [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия [сайт]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_нечёткой_кластеризации_C-средних

77. Babuska, R. Fuzzy Clustering Algorithms with Applications to Rule Extraction / R. Babuska // Studies in Fuzziness and Soft Computing. – 2000. – Т. 41. – P. 139-173.

78. Шарлаева, М.В. Метод кластеризации в сетях связи пятого и последующих поколений на основании плотности населения / М.В. Шарлаева // Электросвязь. – 2024. – № 5. – С. 26-30. – DOI 10.34832/ELSV.2024.54.5.004.

79. Основанная на плотности пространственная кластеризация для приложений с шумами (DBSCAN) [Электронный ресурс] // Энциклопедия Машинного обучения доступным языком [сайт]. – URL:

<https://helenkapatsa.ru/blogpost/osnovannaia-na-plotnosti-prostranstviennaia-klastierizatsiia-dlia-prilozhienii-s-shumami>

80. Иванов, А.А. Кластеризация данных на основе марковской цепи с помощью алгоритма DBSCAN / А.А. Иванов // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2018. – №21. – С. 315-319.

ПРИЛОЖЕНИЕ



Утверждаю
Заместитель Генерального директора
ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ»
А.Б. Васильев

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Марии Владимировны Шарлаевой на тему «Исследование и разработка методов внедрения услуг телемедицины в сетях связи пятого и последующих поколений»

Настоящим актом подтверждаем, что научные результаты диссертационной работы Марии Владимировны Шарлаевой «Исследование и разработка методов внедрения услуг телемедицины в сетях связи пятого и последующих поколений», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, внедрены в ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ» при разработке «Методики планирования сетей связи при внедрении первого набора телемедицинских услуг».

При разработке был использован следующий новый научный результат из диссертации М.В. Шарлаевой:

- Метод формирования цифровых кластеров для первого набора телемедицинских услуг, основанный на комбинации методов C-means и DBSCAN, позволяет сократить время выполнения алгоритма не менее чем на 30% по сравнению с классическим вариантом DBSCAN, увеличив точность выделения кластеров методом C-means за счет плотностного подхода.

Председатель комиссии:

Директор департамента
по системно-сетевым разработкам,
экспертизе и консалтингу

 А.А. Иванов

Члены комиссии:

Начальник информационно-
аналитического отдела

 Ю.А. Нопина



Общество с ограниченной ответственностью
«Научно-Технический Центр АРГУС»
Почтовый адрес: 197198, г. Санкт-Петербург,
ул. Красного Курсанта, д. 25, лит. Ж
Юридический адрес: 191028,
г. Санкт-Петербург, ул. Пестеля, д. 7
ИНН 7841364714
КПП 784101001
ОГРН 1077847466597
Тел.: +7-812-333-36-60
Факс: +7-812-333-36-59
E-mail: office@argustelecom.ru
URL: www.argustelecom.ru



Утверждаю
Генеральный директор
ООО «НТЦ АРГУС»

А. В. Гольдштейн

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Марии Владимировны Шарлаевой на тему «Исследование и разработка методов внедрения услуг телемедицины в сетях связи пятого и последующих поколений»

Комиссия в составе:

- руководителя направления – Петровского Н.О.
- руководителя направления – Ковалева А.А.
- ведущего системного аналитика – Лихачева Д.А.

настоящим актом подтверждает, что научные результаты диссертационной работы Марии Владимировны Шарлаевой «Исследование и разработка методов внедрения услуг телемедицины в сетях связи пятого и последующих поколений», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, применены в ООО «НТЦ АРГУС» при проектировании систем технического учета «Аргус NRI», что позволило расширить функциональные возможности системы при учете услуг и управления процессами уровня ресурсов.

При разработке был использован следующий новый научный результат из диссертации М.В. Шарлаевой:

- Прогноз числа пользователей телемедицинских услуг сети на горизонте планирования до 2030 года, выполненный методом экспоненциального сглаживания, доказывает, что с учетом доверительной вероятности $P=95\%$ число пользователей телемедицинских услуг на сети связи общего пользования составит не менее 40 млн, что составит 22% от общего числа пользователей сети.

Члены комиссии:

Петровский Н.О.

Ковалев А.А.

Лихачев Д.А.

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
ОКПО 01179934 ОГРН 1027809197635
ИНН 7808004760 КПП 784001001
ОКТМО 40909000

11.09.2024 № 05/54
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

И. о. проректора по научной работе,
д-р. техн. наук., доцент

А.В. Рабин



Акт

о внедрении научных результатов,
полученных Шарлаевой Марией Владимировной
в диссертационной работе «Исследование и разработка методов внедрения услуг
телемедицины в сетях связи пятого и последующих поколений»

Комиссия в составе Елагина В.С., и.о. декана факультета Инфокоммуникационных сетей и систем В.С., Гольдштейна А.Б., профессора кафедры инфокоммуникационных систем и Лаюшки Н.А., заведующей лабораторией кафедры инфокоммуникационных систем составила настоящий акт о том, что научные результаты, полученные Шарлаевой Марией Владимировной, использованы в учебном процессе СПбГУТ.

При чтении лекций и проведении практических занятий по курсу «Архитектура построения и принципы проектирования сетей связи 5G/6G» (Рабочая Программа № 24.05/734-Д, утверждена Первым проректором-проректором по учебной работе А.В. Абиловым 02.04.2024), разделы программы:

- Будущие сети 5/6G. Требования к сетям пятого поколения. Транспортные сети FN5G. Концепция FN2030.
- Качество обслуживания в сетях 5G.

При чтении лекций и проведении практических занятий по курсу «Технологические принципы организации инфокоммуникационных услуг» (Рабочая Программа № 23.05/13-Д, утверждена Первым проректором-проректором по учебной работе А.В. Абиловым 23.06.2023), раздел Программы:

- Принципы предоставления услуг в сетях NGN/IMS.

В указанных дисциплинах используются следующие новые научные результаты, полученные Шарлаевой Марией Владимировной в диссертационной работе:

- Прогноз числа пользователей телемедицинских услуг сети на горизонте планирования до 2030 года, выполненный методом экспоненциального сглаживания, доказывает, что с учетом доверительной вероятности $P=95\%$ число пользователей телемедицинских услуг на сети связи общего пользования составит не менее 40 млн, что составит 22% от общего числа пользователей сети.

- С использованием модели сети с произвольным распределением интервала поступления между заявками и произвольным распределением длительности обслуживания получены зависимости задержки от интенсивности трафика и длительности обслуживания пакетов для первого набора телемедицинских услуг в сетях связи пятого и последующих поколений.

- Комплексный метод формирования цифровых кластеров для первого набора телемедицинских услуг, основанный на комбинации методов C-means и DBSCAN, позволяет сократить время выполнения алгоритма не менее чем на 30% по сравнению с классическим вариантом DBSCAN, увеличив точность выделения кластеров методом C-means за счет плотностного подхода.

Полученные научные результаты использованы при выполнении Соглашения о предоставлении из федерального бюджета гранта в форме субсидий, выделяемого для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных организациях высшего образования, научных учреждениях и государственных научных центрах Российской Федерации от "06" июля 2022г. № 075-15-2022-1137 по приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации 20а - Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта.

И.о. декана факультета ИКСС,
канд. техн. наук, доцент



В.С. Елагин

Профессор кафедры ИКС,
д-р. техн. наук.



А.Б. Гольдштейн

Зав. лабораторией кафедры ИКС



Н.А. Лаюшка