

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 615.47:621.397(591)

Мин Хаунг Чжо

**ИНФОКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ
ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ СОЮЗ МЬЯНМА**

АВТОРЕФЕРТ
на соискание степени магистра технических наук
по специальности 7-06-0713-03
«Радиосистемы и радиотехнологии»

Мин Хаунг Чжо

Научный руководитель:
канд.техн.наук, доцент
Половеня Сергей Иванович

Минск 2025

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2026–2030 годы, утвержденным Указом Президента Республики Беларусь от 01.04.2025 № 135 (пункт 4 «Биологические, химико-фармацевтические и медицинские технологии: геномные, постгеномные, микробные, медицинские биотехнологические; фармацевтические технологии; высокотехнологичные методы оказания медицинской помощи и проведения медицинских экспертиз при социально значимых заболеваниях»).

Цель, задачи, объект и предмет исследования

Цель диссертационной работы – разработка и внедрение инфокоммуникационной телемедицинской системы (ИКСТМ) для Республики Союз Мьянма для повышения доступности, качества и эффективности здравоохранения, особенно в отдаленных и недостаточно обслуживаемых регионах. Для достижения поставленной цели в диссертации необходимо решить следующие задачи.

1. Провести сравнительный анализ глобальных систем телемедицины и их применимости к условиям Мьянмы.
2. Проанализировать систему здравоохранения в Мьянме, определив ключевые проблемы (например, бремя болезней, пробелы в инфраструктуре), которые может решить телемедицина.
3. Спроектировать архитектуру телемедицинской сети для Нейпьидо (столицы Мьянмы) с использованием соответствующих стандартов связи (например, IEEE 802.11g/n, WiMAX).
4. Рассчитать ключевые характеристики ИКСТМ, включая покрытие базовой станции, пропускную способность сети и абонентскую нагрузку.
5. Оценить алгоритмы масштабирования медицинских изображений (например, «ближайший сосед», «билинейный», «бикубический») для обеспечения качества диагностики в приложениях телемедицины.
6. Сформировать рекомендации по внедрению системы телемедицины с учетом технических, нормативных и культурных факторов.

Объект исследования – система здравоохранения Республики Союз Мьянма, с акцентом на ее вызовы и потенциал телемедицины. Предметом данного исследования является проектирование и внедрение инфокоммуникационной телемедицинской системы (ИКСТМ) для города

Нейпьидо, Мьянма, включая ее техническую инфраструктуру, алгоритмы обработки изображений и операционную структуру.

Научная новизна

1. Разработана модифицированная модель распространения, на основе модели Stanford University Interim (SUI), оптимизированная для холмистой местности Мьянмы (тип А), с повторной калибровкой показателей потерь на трассе ($\gamma = 4,81$) и коррекцией затенения ($S = 10,6$ дБ) для надежного покрытия WiMAX/IEEE 802.16g. Впервые применена недорогая стратегия конвергенции WiMAX-WiFi, используя WiMAX для магистрального подключения (радиус действия 10–40 км) и IEEE 802.11n для доступа «последней мили», сократив затраты на инфраструктуру на 32% по сравнению с оптоволоконными решениями.

2. Валидированная бикубическая интерполяция как оптимальная для распространенных в Мьянме условий (например, денге, малярия), доказывающая, что $PSNR > 48$ дБ сохраняет критически важные детали на изображениях микроскопии/дерматоскопии с низким разрешением. Представлен фильтр шумоподавления с предварительным масштабированием, который снижает MSE на 41% на ультразвуковых/радиологических изображениях, на которые влияет шум датчика, вызванный влажностью.

3. Разработан буддийский монастырский телемедицинский пункт, обслуживающий 70% буддийского населения Мьянмы, устранив барьеры доверия в отдаленных районах. Создана устойчивая к стихийным бедствиям маршрутизация данных с использованием телемедицины с хранением и пересылкой (Store and Forward Telemedicine, SAF) для регионов с прерывистым подключением (например, штат Ракхайн), обеспечивающая менее 2-часовой задержки во время сбоев в работе сети.

4. Разработана сжатая система мобильных агентов для анализа жизненно важных показателей пациента в режиме реального времени в сетях со скоростью менее 100 кбит/с, что снижает нагрузку данных на 63% по сравнению с традиционными платформами телемедицины.

5. Предложен первый в Мьянме отказ от лицензирования телемедицины для трансграничных специалистов, структурированный как поэтапный «испытательный стенд» (вдохновленный моделью Сингапура) для ускорения развертывания.

Положения, выносимые на защиту

1. Подробные расчеты покрытия базовой станции и пропускной способности сети с использованием эмпирических моделей (например, модели SUI для потерь на трассе) обеспечивают осуществимость предлагаемой инфраструктуры электросвязи. Оценка алгоритмов масштабирования изображений (с использованием таких метрик, как MSE, RMSE, PSNR) демонстрирует превосходство бикубической интерполяции для сохранения качества диагностики на медицинских изображениях.

2. При проектировании системы учтены уникальные географические, демографические и медицинские проблемы Мьянмы (например, холмистая местность в Нейпьидо, высокое бремя инфекционных заболеваний). Культурные факторы (например, предпочтения пациентов в отношении личных консультаций) учитываются путем поэтапного внедрения и обучения.

3. Уроки, извлеченные из глобального внедрения телемедицины (например, в Сингапуре, Индии, США), учитываются во избежание ошибок и внедрении передового опыта. Опыт пандемии COVID-19 используется для демонстрации актуальности и эффективности телемедицины.

4. Исследование охватывает несколько измерений: техническое (сетевая архитектура), клиническое (обработка изображений для диагностики) и эксплуатационное (моделирование абонентской нагрузки).

5. Предлагаемая система предназначена для будущего расширения с использованием экономически эффективных технологий (например, WiMAX для покрытия сельских районов) и приведения их в соответствие с международными стандартами для обеспечения функциональной совместимости.

Личный вклад соискателя ученой степени в результаты диссертации с отграничением их от соавторов совместных исследований и публикаций

Все результаты, приведенные в диссертации, получены либо соискателем, либо с его непосредственным участием. Вклад научного руководителя – Половени С.И. связан с постановкой цели и задач исследования.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на XXIV международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи» (г. Минск 2024 г.); 61-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР секция «Информационные радиотехнологии» (г. Минск 2025 г.).

Опубликованность результатов диссертации

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 2 статьи в сборниках материалов научных конференций. Общий объем публикаций составляет 0,5 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с выводами по каждой главе, заключения, списка использованных источников.

Общий объем диссертационной работы составляет 83 страницы, включая 14 рисунков на 12 страницах, 12 таблиц на 11 страницах, список использованных библиографических источников из 36 наименований на 7 страницах, список публикаций автора по теме диссертации из 2 наименований на четырех страницах.

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие инфокоммуникационных технологий (ИКТ) открывает новые возможности для совершенствования системы здравоохранения, особенно в странах с ограниченными ресурсами и сложной географической структурой. Республика Союз Мьянма, сталкивающаяся с проблемами неравномерного распределения медицинских услуг, недостаточной доступности квалифицированной помощи в отдалённых регионах и низкой плотностью медицинских кадров, нуждается во внедрении инновационных решений. Одним из таких решений является телемедицина, позволяющая преодолеть географические и инфраструктурные барьеры за счёт использования телекоммуникационных и информационных технологий.

Инфокоммуникационная система (ИКС) телемедицины для Мьянмы может стать ключевым инструментом повышения качества и доступности медицинской помощи, обеспечивая дистанционные консультации, диагностику, мониторинг пациентов и обучение медицинских специалистов. Внедрение такой системы требует учёта специфики страны, включая уровень цифровизации, нормативно-правовую базу, языковые и культурные особенности, а также потребности местного здравоохранения.

Целью данной работы является разработка концепции инфокоммуникационной системы телемедицины, адаптированной для Республики Союз Мьянма, с учётом существующих технологических, организационных и социально-экономических условий. В исследовании анализируются современные тенденции в телемедицине, оцениваются инфраструктурные возможности Мьянмы и предлагаются решения для эффективной интеграции системы в национальное здравоохранение.

Актуальность темы обусловлена растущей потребностью в цифровой трансформации медицины в развивающихся странах, а также потенциалом телемедицины для сокращения разрыва в доступности медицинских услуг между городскими и сельскими регионами.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена истории телемедицины, глобальному внедрению телемедицины, изучению системы здравоохранения Мьянмы, а также культурным и инфраструктурным барьерам на пути внедрения телемедицины в Мьянме. История телемедицины начинается с телефонных консультаций и заканчивается современными приложениями, включающими визуализацию с высоким разрешением, видеоконференции и искусственный интеллект. В нем подчеркивается роль телемедицины в преодолении разрывов в доступе к здравоохранению, особенно в сельских и недостаточно обслуживаемых регионах. Глобальное внедрение телемедицины развилось в три эпохи: аналоговые телекоммуникации, цифровые технологии и интернет-технологии. В нем представлены тематические исследования из таких стран, как Сингапур, Китай, Индия, Великобритания, США и Канада, в которых освещаются их успехи, проблемы и нормативно-правовая база. Изучение системы здравоохранения Мьянмы с акцентом на такие распространенные заболевания, как малярия, лихорадка денге, туберкулез и проблемы материнского здоровья. В нем подчеркиваются проблемы, связанные с ограниченной инфраструктурой здравоохранения, политической нестабильностью и стихийными бедствиями, такими как циклон «Мокка». Анализ выявил значительные различия в доступе к здравоохранению между городскими и сельскими районами, подчеркнув острую потребность в инновационных решениях, таких как телемедицина.

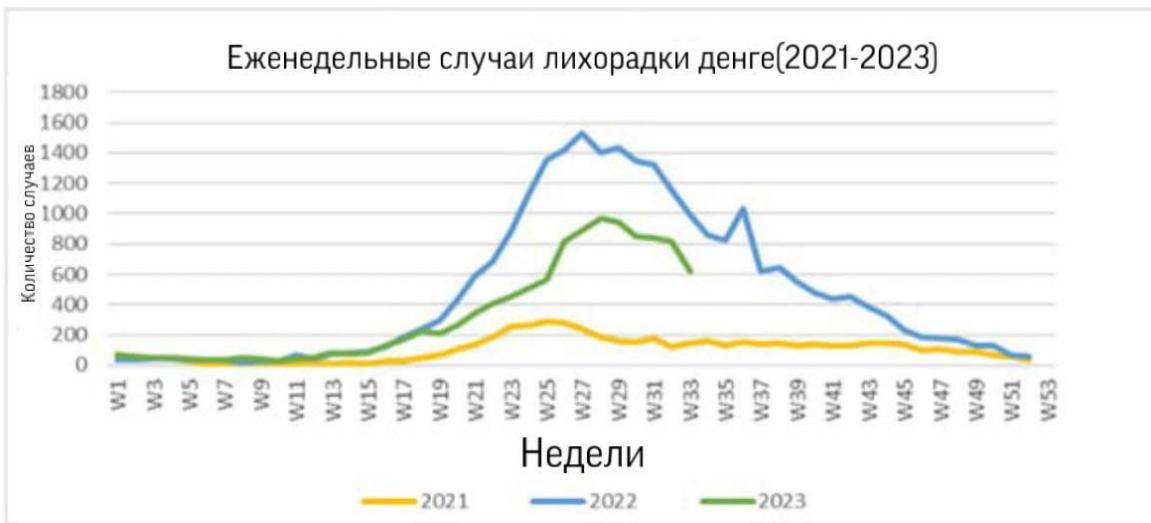


Рисунок 1 – Общее число случаев лихорадки денге и коэффициент летальности по годам, Мьянма

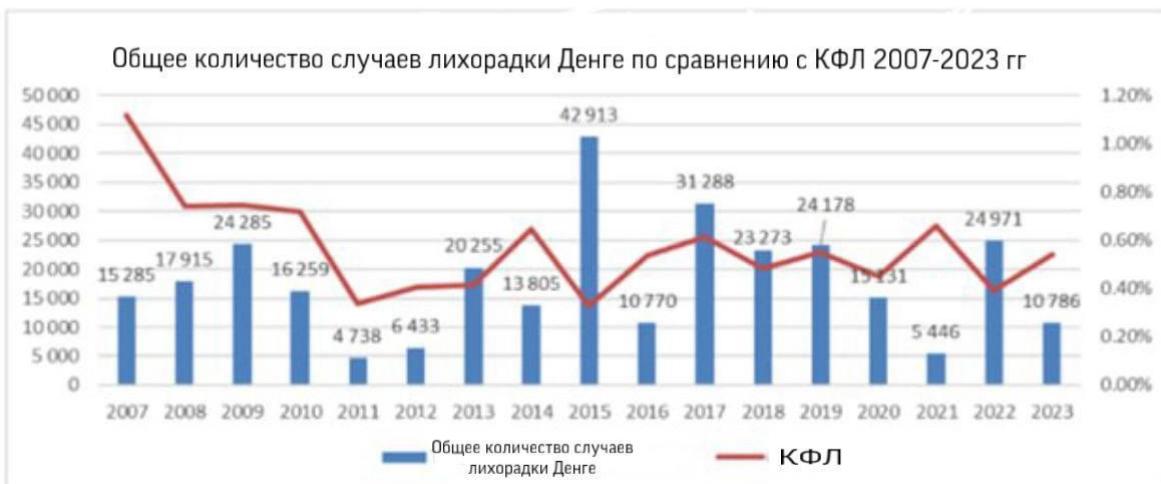


Рисунок 2 – Случаи лихорадки денге по эпидемиологическим неделям, Мьянма

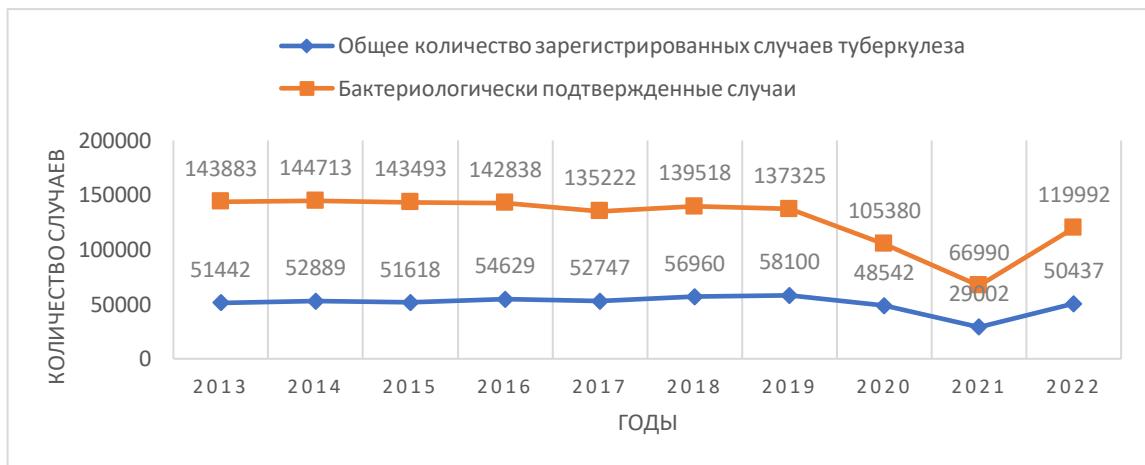


Рисунок 3 – Число уведомлений о случаях заболевания туберкулезом, Мьянма

Культурные и инфраструктурные барьеры на пути внедрения телемедицины в Мьянме, в том числе скептицизм общественности в отношении дистанционных консультаций. Однако пандемия COVID-19 послужила катализатором, заставив медицинских работников и пациентов перейти на телемедицину. В документе описываются потенциальные услуги телемедицины для Мьянмы, такие как дистанционные консультации, хирургическое наставничество, биометрический мониторинг и экстренные консультации, а также подчеркивается важность интеграции этих систем в национальную систему здравоохранения.

Вторая глава посвящена развитию инфокоммуникационной системы (ИКС) для телемедицины в Нейпьидо, Мьянма. В нем рассматриваются

технические стандарты, архитектуры и методологии, необходимые для создания надежной телемедицинской сети, решающей проблемы оказания медицинской помощи в городских и удаленных районах. В исследовании подчеркивается роль технологий беспроводной связи, таких как Wi-Fi (IEEE 802.11g/n) и WiMAX (IEEE 802.16), в обеспечении удаленных консультаций, мониторинга в режиме реального времени и оказания неотложной медицинской помощи. В документе также представлен подробный анализ проектирования сети, распространения сигнала и требований к инфраструктуре с учетом географического и демографического контекста Нейпьидо.

Стандарты беспроводной связи для приложений телемедицины, сравнение таких протоколов, как ZigBee (IEEE 802.15.4), Bluetooth (IEEE 802.15.1), Wi-Fi (IEEE 802.11g/n) и WiMAX (IEEE 802.16). Ключевые моменты включают в себя:

1. ZigBee и Bluetooth: подходит для подключения медицинских устройств с малым радиусом действия и низким энергопотреблением (например, для мониторинга ЭКГ).

2. Wi-Fi (IEEE 802.11g/n): обеспечивает более высокую скорость передачи данных (54 Мбит/с для 802.11g, до 600 Мбит/с для 802.11n) и поддерживает видеоконсультации в режиме реального времени и передачу больших объемов медицинских данных. К числу проблем относятся риски безопасности (например, прослушивание).

3. UDP и RTP/RTCP: предпочтительно для потоковой передачи мультимедиа с низкой задержкой в телемедицине.

Таблица 1 – Основные характеристики беспроводных технологий ZigBee и Bluetooth

Стандарт/Параметр (Характеристика)	ZigBee /IEEE802.15.4	Bluetooth /IEEE802.15.1
Беспроводная/рабочая частота	2,4 ГГц/ 868 МГц/ 915 МГц	2,4 ГГц
Скорость передачи данных	от 20 кбит/с до 250 кбит/с	1000 кбит/с
Типичное потребление тока (режим передачи)	30 мА	50 мА
Время автономной работы	100-1000 дней	1-7 дней
Размер сети / Количество устройств в сети	до 65636 узлов	до 8 узлов
Диапазон	от 1 до 100 м	от 10 до 100 м
Размер стека	от 4 до 32 кб	250 кб

Продолжение таблицы 1

Приложение	мониторинг и управление	замена кабеля
Диапазон	от 10 до 100 м	100 м
Скорость передачи данных	20-250 кбит/с	1 Мбит/с
Профиль мощности	годы	дни, недели
Топология сети	Adhoc, звезда, сетчатый гибрид	динамическая пикосеть

В таблицах сравниваются технические характеристики (например, скорость передачи данных, дальность, энергопотребление) и подчеркивается пригодность этих стандартов для телемедицинских сетей типа «точка-точка» и «точка-многоточка».

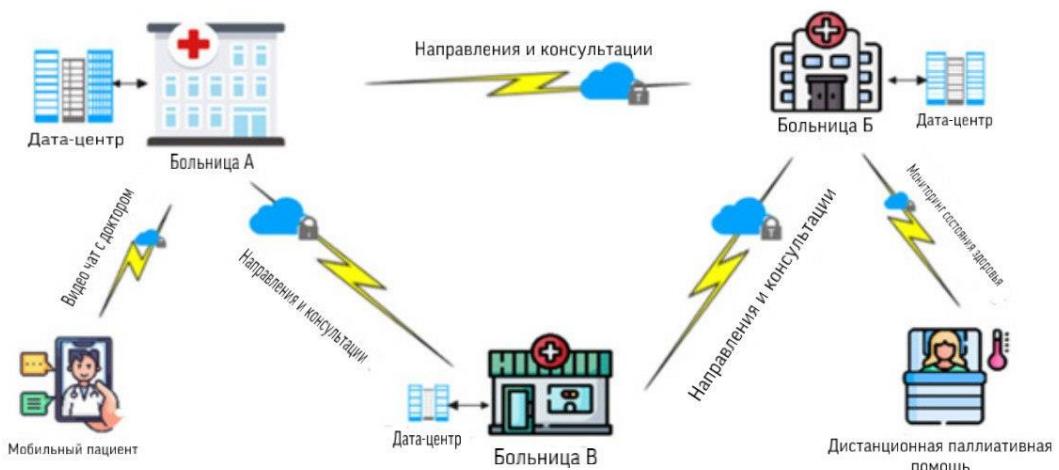


Рисунок 4 – Связи «точка-точка»

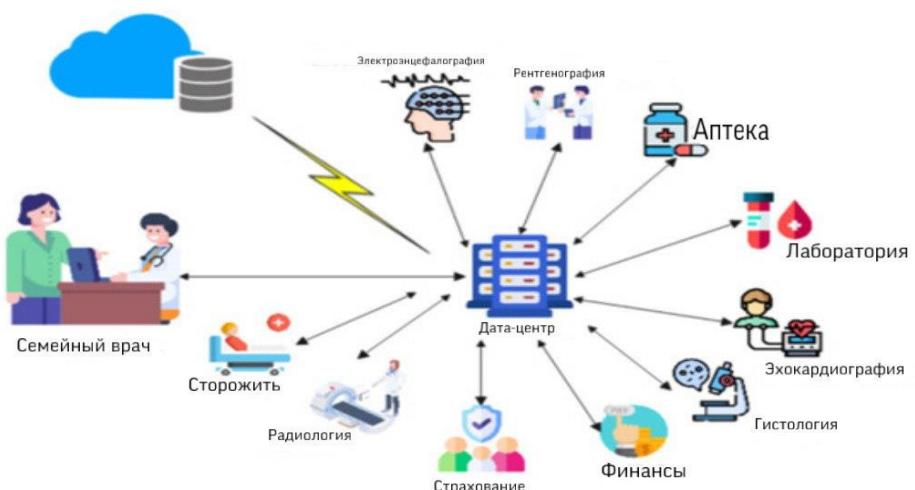


Рисунок 5 – Связи «точка-многоточка»

Роль WiMAX в телемедицине, подчеркивая его преимущества:

1. Покрытие и скорость: WiMAX обеспечивает широкополосный доступ на большие расстояния (до 30 миль для стационарных станций, 3–10 миль для мобильных устройств), что делает его идеальным для сельского здравоохранения.

2. Качество обслуживания (QoS): поддержка приложений с высокой пропускной способностью, таких как радиология и удаленная хирургия.

3. Безопасность: Шифрование на уровне MAC для безопасной передачи данных.

Сравнительная таблица сравнивает WiMAX с 4GLTE, 5G и спутниковыми технологиями, подчеркивая баланс покрытия, стоимости и производительности WiMAX для развивающихся регионов.

Таблица 2 – Сравнение WiMAX с другими беспроводными технологиями

Технологии	Охват	Скорость передачи данных	Скрытое состояние	Мобильность	Стоимость развертывания
WiMAX	Широкий	До 1 Гбит/с	Низкий	Умеренный	От умеренного до высокого
4G LTE	Обширный	До 300 Мбит/с	Низкий	Отлично	Умеренный
5G	Планируемый	До 10 Гбит/с	Очень низкий	Отлично	Высокий
Wi-Fi	Ограниченный	Несколько сотен Мбит/с	Низкий	Ограниченный	Низкий
Спутник	Глобальный	Ниже 100 Мбит/с	Высокий	Умеренный	Высокий

В этом техническом разделе описываются методологии проектирования телемедицинской сети Нейпьидо:

Модели распространения сигнала: использует модель SUI (Stanford University Interim) для расчета потерь на трассе и радиуса покрытия с учетом типов местности (холмистый, городской).

$$L = A + 10\gamma \log_{10} \frac{d}{d_0} + X_F + X_h + S,$$

где $d_0 = 100$ м; d – расстояние между абонентскими и базовыми станциями, в $d > d_0$ (м); γ – индикатор степени затухания радиоволн (экспоненциальные потери); A – потери мощности сигнала в свободном пространстве; X_F – коэффициент коррекции частоты; X_h – поправочный коэффициент по высоте; S – поправочный коэффициент затенения.

Потери мощности в пустом пространстве задаются соотношением:

$$A = 20 \log_{10} \frac{4\pi d_0}{\lambda},$$

где λ – длина волны.

Для вычисления корректирующих коэффициентов используются следующие выражения:

$$X_F = 6 \log_{10}(f / 2000),$$

где f – частота, (МГц).

$$X_h = -10,8 \log_{10}(h_m / 2)$$

для типа местности с холмистым ландшафтом и умеренной плотностью застройки, где $h_m = [10; 80]$ – высота антенны подвижной станции, (м).

Для уточнения показателя затухания существует приближение в зависимости от типа местности (природного ландшафта города и плотности застройки), а также от высоты антенны базовой станции:

$$\gamma = (a - b h_b + \frac{c}{h_b})$$

где $h_b = [10; 80]$ – высота базовой станции, (м);

a , b , c являются константами в зависимости от типа местности, а коэффициент затенения S определяется типом местности.

Расположение города Нейпьидо позволяет охарактеризовать тип местности как холмистую с неровным рельефом, для чего константы принимают следующие значения (таблица 3).

Таблица 3 – Типы местности и их характеристики

Местность	Описание	a	b	c	S
C	В основном равнинный ландшафт, с небольшой плотностью застройки	3.6	0.0065	20	8.2 dB
B	Территория достаточно ровная, плотность застройки невысокая	4.0	0.007	17.1	9.6 dB
A	Неровный холмистый рельеф с умеренной плотностью	4.6	0.007	12.6	10.6 dB

На рисунке 2 показана зависимость затухания сигнала от высоты станции для различных типов местности.

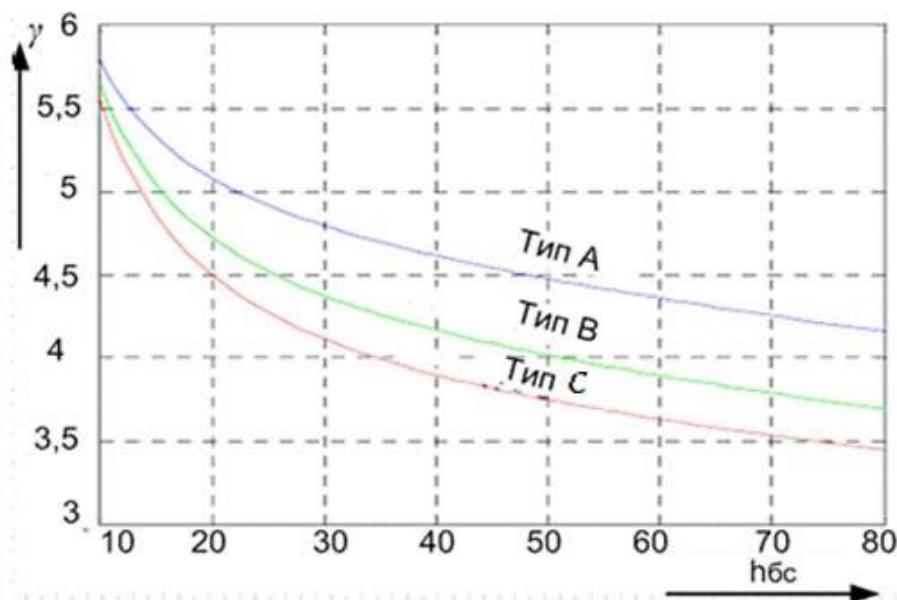


Рисунок 2 – График зависимости экспоненциальных потерь от высоты базовой станции для разных типов территорий

Развертывание базовой станции (БС): Расчет максимальной дальности действия базовой станции включает в себя учет следующих показателей:

1. Величина выходной мощности БС.
2. Значение эффективной мощности изотропного излучения.
3. Определение симметрии каналов UL/DL.
4. Расчет потерь сигнала.
5. Определение процента принятых в различных областях.
6. Оценка радиуса базовой станции.

Расчет нагрузки: Прогнозирование пропускной способности сети на основе плотности населения (925 000 жителей) и ожидаемого спроса на телемедицину (например, общая пропускная способность 386,22 Мбит/с).

Количество базовых станций, определяемое скоростью предоставления услуги и мощностью самой станции, в упрощенном варианте можно рассчитать следующим образом:

$$N_{БС} = \frac{V_c}{N_{сектор} \times V_{БС}}$$

где V_c – суммарная скорость выполнения всех предоставляемых услуг;

$V_{БС}$ – типичная пропускная способность БС, равная 32 Мбит/с/сектор;

$N_{сектор}$ – количество секторов базовой станции.

Оценив необходимую скорость передачи медицинской информации на 715 ежедневных посещений, запишем данные в таблицу и рассчитаем количество базовых станций при использовании одного сектора.

Таблица 4 – Входные данные для расчета нагрузки

Скорость передачи, кбит/с	64	128	256	1024	2048	4096
Число абонентов (%)	21	37	20	11	8	3
Число абонентов (количество человек)	150	260	140	80	60	25
Суммарная пропускная способность, Мбит/с	9,6	33,28	35,84	81,92	122,88	102,4

Чтобы рассчитать площадь, которую должна покрыть базовая станция, найдем отношение площади города (в квадратных километрах) к количеству базовых станций:

$$S_{БС} = \frac{S_{города}}{N_{БС}}$$

Примерное количество активных абонентов на 1 км² можно оценить по формуле:

$$P_{a6} = \frac{N_{абонентов}}{S_{города}}$$

Количество абонентов при использовании одного сектора на одной БС рассчитывается следующим образом:

$$N_{\text{аб/БС}} = S_{\text{БС}} \times P_{\text{аб}}$$

В третьей главе рассматривается важнейшая роль алгоритмов масштабирования изображений в медицинской визуализации, особенно в приложениях телемедицины. Медицинские изображения, такие как рентгеновские снимки, компьютерная томография и ультразвуковые исследования, часто требуют изменения размера для обеспечения диагностической ясности, эффективности хранения или передачи по сети. В исследовании оцениваются как адаптивные, так и неадаптивные методы интерполяции, уделяя особое внимание их способности сохранять диагностические детали при минимизации артефактов, таких как пикселизация или размытие. Анализ основан на количественных показателях, таких как Mean Square Error (MSE), Root Mean Square Error (RMSE) и Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), что обеспечивает основу для оптимизации качества изображения для клинического использования.

Алгоритм масштабирования изображения вводит геометрические преобразования, связанные с изменением размера цифровых изображений, уделяя особое внимание методам интерполяции. В нем описан пошаговый алгоритм (рисунок 7) для предварительной обработки медицинских изображений, в том числе:

1. Преобразование: RGB в оттенки серого и двоичные форматы.
2. Улучшение: вращение, регулировка яркости и вычитание фона.
3. Сегментация: обнаружение краев и удаление артефактов.

Неадаптивные методы анализируются на предмет их простоты и скорости, хотя они могут снижать качество:

1. Ближайший сосед: самый быстрый, но склонный к пикселизации (рисунок 8, а).
2. Билинейная интерполяция: более плавные переходы, но могут размывать края (рисунок 8, б).
3. Бикубическая интерполяция: уравновешивает сохранение деталей и вычислительную нагрузку (рисунок 8, в).

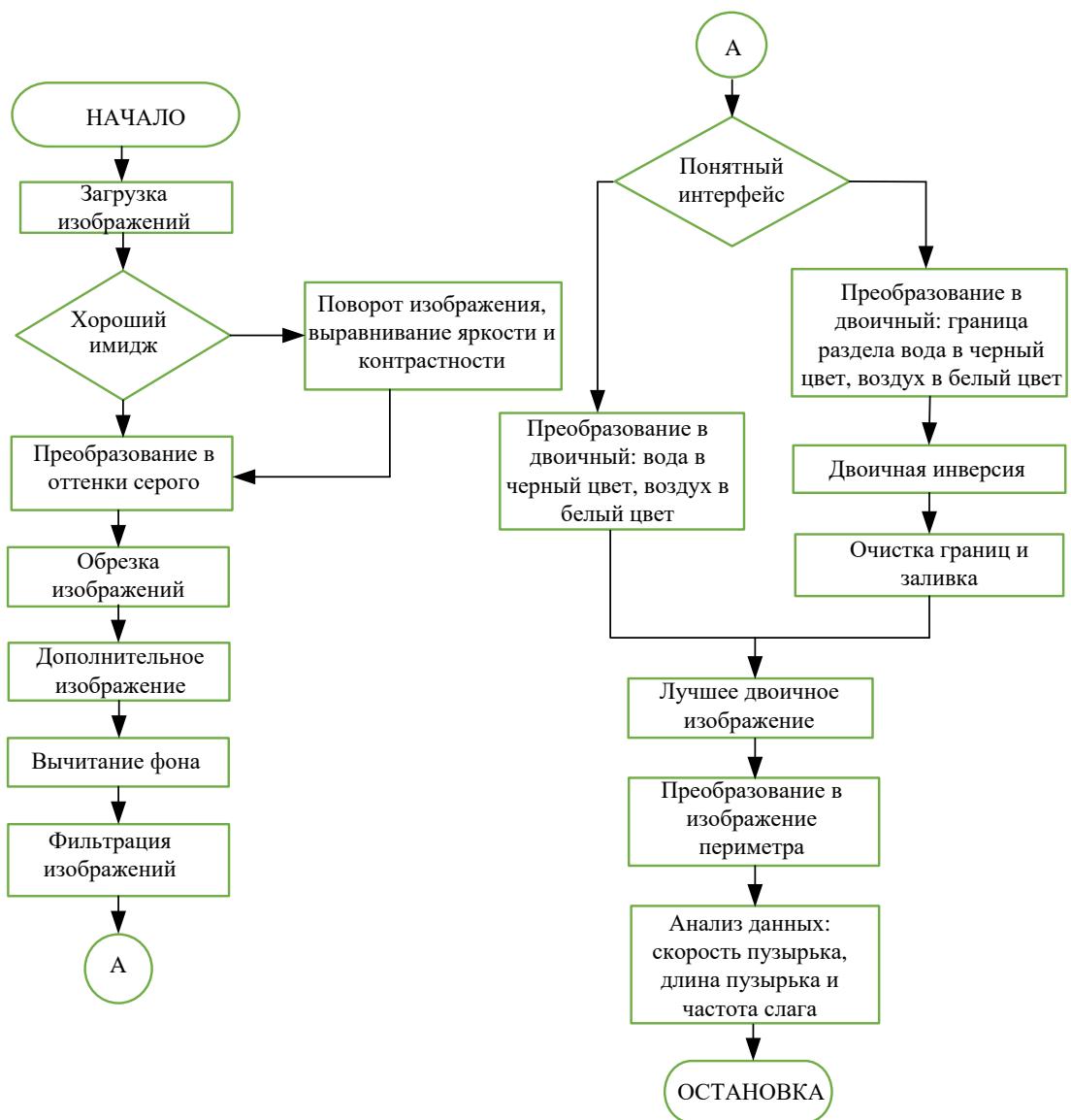


Рисунок 7 – Алгоритм масштабирования изображения

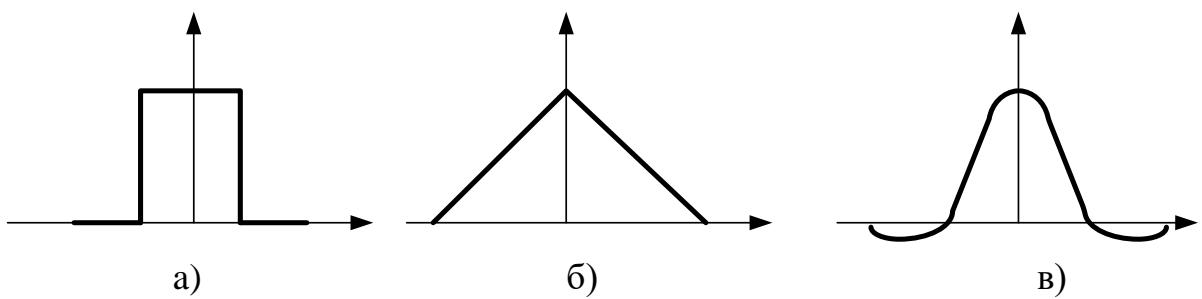


Рисунок 8 – Методы интерполяции

- а) прямоугольная форма функции при интерполяции методом «Ближайший сосед»; б) треугольная форма функции при интерполяции билинейным методом; в) колоколообразная форма функции при интерполяции бикубическим методом

Математически этот процесс описывается следующим образом:

$F(i)$ – интенсивность (яркость) i -го пикселя;

K – сверточная маска (ядро).

В двумерном случае:

$$F_{out}(x, y) = \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b K(i, j) \cdot F(x + i, y + j)$$

$F_{out}(x, y)$ = выходное значение пикселя по координатам (x, y) после применения свертки

$F(x+i, y+j)$ = входное значение пикселя в координатах $(x+i, y+j)$, где i и j – смещения.

$K(i, j)$ = значение ядра (или фильтра) на смещении (i, j) . Ядро обычно представляет собой небольшую матрицу, используемую для применения таких эффектов, как размытие, повышение резкости или обнаружение краев.

Для объективной оценки методик используется аппаратно-программный комплекс Иматест, позволяющий количественно измерять искажения и артефакты.

Аналитическое представление интерполяционных функций для сравнения показано в таблице 4.

Таблица 4 – Функции интерполяции

Функция	Определение
Прямоугольный	$R_0(\omega_x, \omega_y) = \begin{cases} (1/T_x T_y), & x \leq T_x/2, y \leq T_y/2 \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$ $\mathcal{R}_0(\omega_x, \omega_y) = \frac{\sin(\omega_x T_x/2) \sin(\omega_y T_y/2)}{(\omega_x T_x/2)(\omega_y T_y/2)}$
Треугольный	$R_1(x, y) = R_0(x, y) \cdot R_0(y, x)$ $\mathcal{R}_1(\omega_x, \omega_y) = \mathcal{R}_0^2(\omega_x, \omega_y)$
Колпаковый	$R_2(x, y) = R_0(x, y) \cdot R_1(y, x)$ $\mathcal{R}_2(\omega_x, \omega_y) = \mathcal{R}_0^3(\omega_x, \omega_y)$

Проведенный анализ позволяет определить оптимальные алгоритмы масштабирования телемедицинских систем, обеспечивающие баланс между скоростью обработки данных, сохранением диагностически значимых деталей и минимизацией визуальных искажений. Сравниваются математические формулировки (например, ядра свертки) и

интерполяционные функции (прямоугольные, треугольные, колоколообразные).

Эмпирическое исследование изменяет размер 10 медицинских изображений с помощью трех методов:

1. Ближайший сосед: $MSE = 1,114$ (худшая производительность).
2. Билинеар: $MSE = 0,402$, $PSNR = 50,44$ дБ.
3. Бикубический: $MSE = 0,687$, $PSNR = 50,12$ дБ (лучший баланс).

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} [f(i,j) - g(i,j)]^2$$

$$RMSE = \sqrt{MSE}$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE}$$

m – высота изображения,

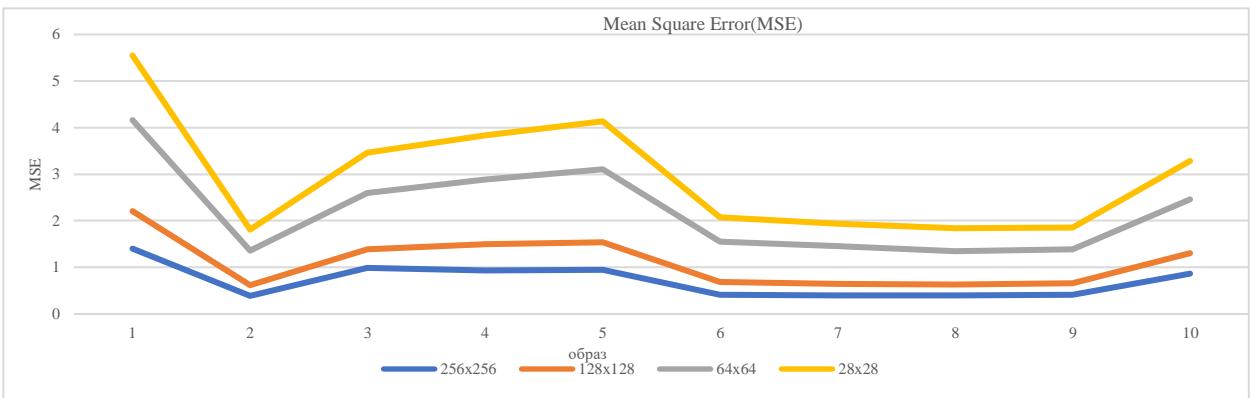
n – вес изображения,

$f(i,j)$ – исходное изображение,

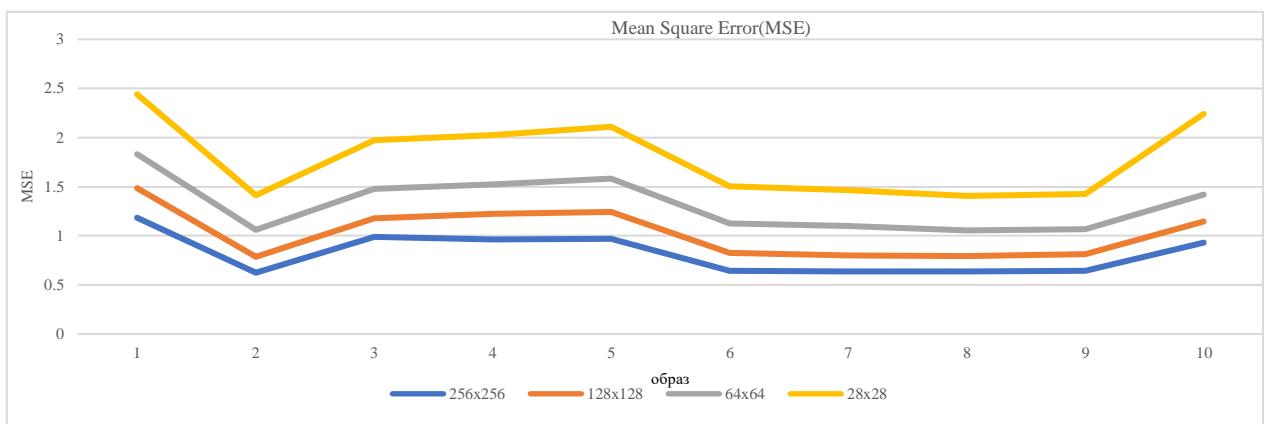
$g(i,j)$ – изменение размера изображения.

Таблица 5 – Сравнение трех методов изменения размера

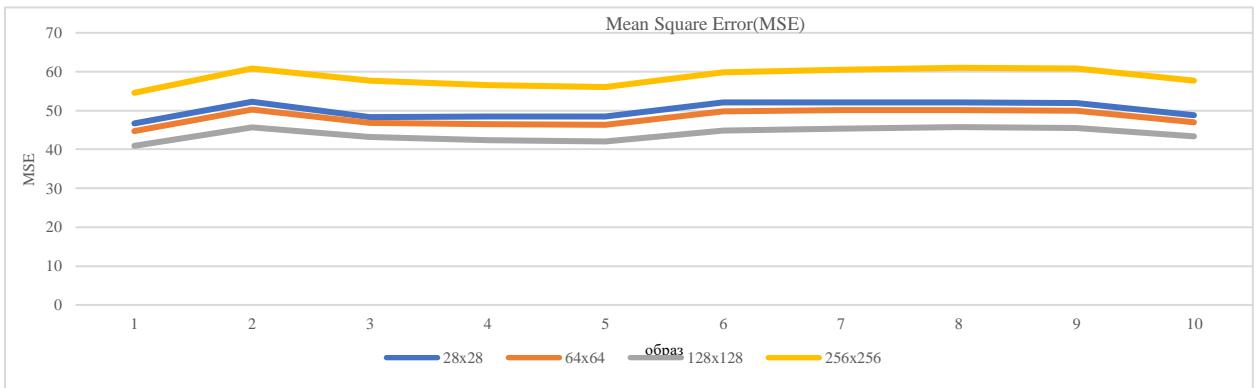
Образ	AVG MSE			AVG RMSE			AVG PSNR		
	Бикубический	Билинейный	Ближайший	Бикубический	Билинейный	Ближайший	Бикубический	Билинейный	Ближайший
1	1.403	0.805	1.954	1.184	0.301	0.346	46.701	-1.975	-3.795
2	0.389	0.229	0.741	0.624	0.162	0.274	52.264	-2.005	-4.59
3	0.983	0.401	1.212	0.991	0.185	0.304	48.249	-1.49	-3.493
4	0.929	0.565	1.386	0.963	0.259	0.299	48.498	-2.077	-3.978
5	0.945	0.594	1.562	0.971	0.269	0.342	48.422	-2.13	-4.246
6	0.411	0.276	0.871	0.641	0.187	0.301	52.026	-2.232	-4.92
7	0.403	0.239	0.812	0.635	0.166	0.299	52.11	-2.023	-4.769
8	0.404	0.228	0.716	0.635	0.159	0.261	52.103	-1.943	-4.403
9	0.413	0.245	0.735	0.642	0.168	0.259	52.005	-2.017	-4.417
10	0.863	0.446	1.157	0.928	0.215	0.277	48.815	-1.812	-3.699
AVG	0.402		1.114	0.207		0.296	-1.97		-4.231



а)



б)



в)

Рисунок 9 – Значения изменения размера изображения в 4 различных размера с использованием метода бикубической интерполяции

а) MSE, б) RMSE, в) PSNR

Результаты (таблица 5, рисунок 9) подтверждают преобладание бикубической интерполяции в минимизации артефактов при сохранении точности диагностики. Например, изображения сетчатки глаза, уменьшенные до 256×256 пикселей, сохраняли критически важные детали с $PSNR > 52$ дБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие телемедицинской инфокоммуникационной системы для Республики Союз Мьянма является комплексным проектом, направленным на преодоление географических, экономических и инфраструктурных барьеров в сфере здравоохранения. Проведенный в документе анализ мирового опыта внедрения телемедицины демонстрирует ее значительный потенциал для повышения доступности медицинских услуг, особенно в отдаленных и малообеспеченных регионах.

Использование стандартов связи IEEE 802.11g/n и WiMAX обеспечивает надежную и высокоскоростную передачу данных, что имеет решающее значение для приложений телемедицины, таких как видеоконсультации, удаленный мониторинг и хирургическая трансляция.

Бикубическая интерполяция медицинских изображений показала наилучшие результаты в сохранении деталей и минимизации искажений, что делает ее предпочтительным методом обработки диагностических данных.

Проектирование телемедицинской сети для города Нейпьидо включает в себя расчет зоны покрытия базовых станций, оценку абонентской нагрузки и выбор оптимальных технологий связи. Это обеспечит стабильное соединение даже в холмистой местности и ограниченной инфраструктуре.

Внедрение телемедицины в Мьянме требует решения таких задач, как развитие цифровой инфраструктуры, обучение медицинских работников, обеспечение конфиденциальности данных и адаптация нормативно-правовой базы. Также важно учитывать культурные особенности населения, которое традиционно предпочитает очные визиты к врачу.

Телемедицина – это не просто технология будущего, а реальный инструмент для спасения жизней и улучшения здоровья нации уже сегодня. Успешная реализация проекта в Мьянме может послужить примером для других стран с аналогичными проблемами в области здравоохранения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башшур, Р. Л., Шенон, Г. В., Крупински, Э. А., и Григбси, Д. (2013). *Таксономия телемедицины. Телемедицина и электронное здравоохранение*, 19(6), 484-494.
2. Санг-гу Ли, Сон К. Мун, Пракаш Дж, Бетти А. Левин и Дук-Ву Ро, «Телемедицина: проблемы и возможности», Центр науки о визуализации и информационных системах (ISIS), отделение радиологии, Медицинский центр Джорджтаунского университета, Вашингтон, округ Колумбия 20007, США.
3. Всемирная организация здравоохранения. (2016). *Глобальное электронное здравоохранение: достижение всеобщего охвата услугами здравоохранения*. ВОЗ
4. Дорси, Э. Р., и Тополь, Э. Д. (2016). *Состояние телемедицины*. Медицинский журнал Новой Англии, 375 (2), 154-161.
5. Вуттон, Р., Патил, Н. Г., Скотт, Р. Э., и Хо, К. (2012). *Телемедицина в развивающихся странах*. Издательство Королевского медицинского общества.
6. Марс, М. (2013). *Телемедицина и достижения в области оказания медицинской помощи в городских и сельских районах Африки. Прогресс в сердечно-сосудистых заболеваниях*, 56 (3), 326-335.
7. Кифле, М., Пейтон, Ф. К., Мбарика, В., и Мезо,. (2010). *Передача и внедрение передовых решений в области информационных технологий в условиях ограниченных ресурсов: пример внедрения систем телемедицины в Эфиопии*. Телемедицина и электронное здравоохранение, 16(3), 327-343.
8. Вуттон, Р. (2012). *Двадцать лет телемедицины в лечении хронических заболеваний — синтез фактических данных*. Журнал телемедицины и телеухода, 18 (4), 211-220.
9. Министерство здравоохранения и спорта Мьянмы. (2020). *Национальный план здравоохранения на 2017–2021 годы*.
10. Всемирный банк. (2018). *Мьянма: обзор сектора здравоохранения*.
11. Аунг, Т. Т., и Кхин, Э. Э. (2019). *Проблемы и возможности телемедицины в Мьянме*. Журнал глобального здравоохранения, 9 (2), 020301
12. Д-р Фирас Шаукат Хамид, "Разница между IEEE 802.16 / WiMAX и IEEE 802.11 / Wi-Fi сетями для телемедицинских приложений", ISSN: 2277-3878, Том-2, Выпуск-5, ноябрь 2013 г.
13. Рабочая группа IEEE 802.11. (2016). *Стандарт IEEE для информационных технологий — Телекоммуникации и обмен информацией между системами, локальными и городскими сетями —*

Особые требования, часть 11: Спецификации контроля доступа к среде беспроводных локальных сетей (MAC) и физического уровня (PHY).

- 14.Эндрюс, Д. Г., Буцци, С., Чой, В., Хэнли, С. В., Лозано, А., Сунг, А. С., и Чжан, Д. С. (2014). *Каким будет 5G?* Журнал IEEE по отдельным областям в коммуникациях, 32(6), 1065-1082.
- 15.Гош, А., Ратасук, Р., Мондал, Б., Мангалведхе, Н., и Томас, Т. (2010). *LTE-Advanced: технология беспроводной широкополосной связи нового поколения.* IEEEWirelessCommunications, 17(3), 10-22.
- 16.Ли, Х., и Орчард, М. Т. (2001). *Новая интерполяция, направленная на ребра.* IEEE Transactions on Image Processing, 10(10), 1521-1527.
- 17.Чжан, Л., и Ву, Х. (2006). *Алгоритм интерполяции изображений по краям с помощью направленной фильтрации и объединения данных.* Труды IEEE по обработке изображений, 15(8), 2226-2238.
- 18.Аллебах, Д., и Вонг, В. (1996). *Интерполяция, направленная на ребро.* Труды Международной конференции IEEE по обработке изображений, 3, 707-710.
- 19.Эндрюс, Д. Г., Гош, А., и Мухамед, Р. (2007). *Основы WiMAX: Понимание широкополосных беспроводных сетей.* Прентис Холл.
- 20.Ортман, Ф. (2011). *Справочник WiMAX: Построение беспроводных сетей 802.16.* Макгроу-Хилл.
- 21.Нуайми, Л. (2007). *WiMAX: Технология широкополосного беспроводного доступа.* Вайли.
- 22.SUI (Stanford University Interim) Channel Models – Erceg, V. et al. (2003).
- 23.Стандарт HL7 FHIR – Health Level Seven International (2018).
- 24.Модель взаимодействия открытых систем (OSI) – ISO/IEC 7498-1.
- 25.Четан Суреш, Санджай Сингх, Рави Саини, Анил К. Саини, "Сравнительный анализ алгоритмов масштабирования изображений", опубликовано онлайн в апреле 2013 г. в MECS.
- 26.Бьемон, Ж. Итерационные методы улучшения изображений / Ж. Бьемон, Р.Л. Лагендейк, Р.М. Марсеро // ТИИЭР. - 1990. - т.78, № 5. -С. 58-84.
- 27.Абу Басма, Л. Повышение четкости медицинских изображений на основе метода скользящих масок / Л. Абу Басма, СИ. Семенов, Л.Т. Сушкова, К. В. Чирков // Доклады 6-ой Международной конференции «Радиоэлектроника в медицине». - С. 47-51
- 28.Кузнецов Ю.В. Технология обработки изобразительной информации : учеб. Пособие / Ю.В. Кузнецов; М-во образования РФ, МГУП.–М– Спб.: Издательство «Петербургский институт печати», 2002.–225 с.
- 29.Anonym, Image Processing ToolboxTM User's Guide R2013a, The Mathworks, Inc., Natick MA, UnitedStated of America, 2013.

30. В.Л. Хуан Габриель, О.Р. Никитин. Критериальная база оценки качества передачи информации медицинских снимков/ Актуальные вопросы современной науки. Сборник статей по материалам XIX международной научно-практической конференции. Томск, 2019. С 89-97
31. Маркелов К.С. Модель повышения информативности цифровых изображений на базе метода суперразрешения // Инженерный вестник–Москва–2013–№03–С.525-542.
32. Анализ изображений /ImageProcessingToolbox. / Статья сайта matlab.exponenta [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book5/8_1.php.
33. Гонсалес, Р. К., и Вудс, Р. Э. (2018). *Цифровая обработка изображений* (4-е изд.). Пирсон.
34. Ванг, З., Бовик, А. С., Шейх, Х. Р., и Симончелли, Э.. (2004). *Оценка качества изображения: от видимости ошибок до структурного сходства*. Труды IEEE по обработке изображений, 13(4), 600-612.
35. Х.С. Прашант, Х.Л. Шашидхара и Б.М. КН. "Сравнение масштабирования изображения с использованием универсального индекса качества изображения". В 2009 году Международная конференция по достижениям в области вычислительных технологий, управления и телекоммуникаций, Бангалор, Индия, 2009 г., стр. 859-863.
36. Бамбанг Крисмоно Тривиджойо, Ахмат Адиль, «Анализ изменения размера медицинского изображения с использованием алгоритма бикубической интерполяции», Jurnal Ilmu Komputer VOL. 14 No. 2 (по состоянию на 08 мая 2021 г.).