

На правах рукописи

Махмуд Абдулазиз Мохаммед Аль-Румайма

РАЗРАБОТКА ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ
ГОРНЫХ РАЙОНОВ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ЙЕМЕН)

Специальность: 05.11.17- Приборы, системы и изделия
медицинского назначения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2012

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете “ЛЭТИ” имени В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ), на кафедре биотехнических систем

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент, **Сенкевич Юрий Игоревич**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор, **Гельман Виктор Яковлевич**, Санкт-Петербургская медицинская академия последипломного образования, профессор кафедры информатики и управления в медицинских системах

кандидат технических наук, доцент, **Красичков Александр Сергеевич**, СПбГЭТУ, доцент кафедры радиотехнических систем

Ведущая организация — Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН)

Защита диссертации состоится «21» марта 2012 г. в 11 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.238.09 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета “ЛЭТИ” им. В.И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СПбГЭТУ.

Автореферат разослан «20» февраля 2012 г.

Ученый секретарь совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.238.09

Садыкова Е.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Горные районы (ГР) занимают примерно 26% поверхности Земли. В них проживает около 12% населения планеты. Примерно половина из них не получает достаточно качественное медицинское обслуживание, а многим медицинское обслуживание практически недоступно в силу географической удалённости или относительной недоступности их места проживания. В то же время Устав Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) одним из своих положений указывает на то, что «Предоставление всем народам возможности пользования всеми достижениями медицины, психологии и родственных им наук является необходимым условием достижения высшего уровня здоровья». Таким образом, развитие средств оказания медицинской помощи и её доступности для граждан каждого государства является важнейшей его функцией. Но для горных районов доступность медицинской помощи приобретает особый смысл, связанный с известной проблемой удалённости от крупных городов, где сосредотачиваются основные ресурсы лечебных учреждений. Поселения горных районов труднодоступны транспортным средствам, способным обеспечить оперативную доставку необходимой помощи или, в случае экстренных ситуаций, эвакуации больных и пострадавших людей. Отсюда становится ясным, что оказание помощи в горных районах, требует особого подхода к организации медицинского обслуживания людей, отличного от традиционных форм такого обслуживания на доступных территориях с развитой инфраструктурой транспортных коммуникаций.

Одним из перспективных и быстро развивающихся сервисов охраны здоровья, среди которых следует искать решение названной социальной проблемы, представляется технология телемедицины, которая способна обеспечивать проведение медицинских консультаций и удаленной диагностики независимо от места и времени оказания необходимой медицинской помощи.

Как показано в работах Юсупова Р.М. и Полонникова Р.И. (2000), Медведева О.С. (2005), Блажиса А.К. и Дюка В.А. (2000), Enrico Coiera (2003), А.С. Norris (2002), реализация технического и организационного потенциала современных технологий телемедицины обеспечивается через развитие автоматизированных информационных систем оказания медицинской помощи с использованием глобальных компьютерных сетей, а сам физический инструмент получил название телемедицинской системы (ТМС). Зарубежный и отечественный опыт создания ТМС свидетельствует, что основная трудность в их разработке связана с синтетическим характером таких систем, находящихся на стыке медицинских, коммуникационных, информационных и образовательных технологий, объединяемых в единую систему. При разработке таких систем необходимо учитывать, влияние различного набора факторов, таких, например, как влияние географической среды и/или плотности населения. В целом необходимость учёта специфических требований в значительной мере стимулирует потребность развития и применения в данной отрасли методов математического моделирования на этапе планирования и разработки такого рода информационных систем, к которым относятся ТМС.

Необходимость учёта особенностей биомедицинского и технического характера при создании ТМС для горных районов заставляет пересмотреть известные подходы к разработке систем оказания медицинской помощи на расстоянии. В целом выделяется научная **проблема** организации охраны здоровья людей, проживающих в горных районах, связанная с трудностью оказания им качественной медицинской помощи. Применение телемедицинских технологий открывает перспективу реше-

ния данной научной проблемы путем внедрения на территориях ГР нового класса медицинских информационных систем– ТМС ГР. Анализ доступных источников информации указывает на отсутствие теоретически обоснованного подхода к разработке подобного класса систем.

Цель диссертационной работы: Повышение качества оказания медицинской помощи населению, проживающему в республике Йемен путём разработки телемедицинской системы адаптированной к условиям горных районов.

Задачи исследования. Для достижения цели диссертационной работы поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработать концепцию проектирования ТМС адаптированной к условиям горных районов на основе анализа результатов известных экспериментов по применению инструментальных технических средств телемедицины в экстремальных географических зонах с учётом влияния специфических факторов региона.
2. Обосновать требования к составу и структуре телемедицинской системы охраны здоровья населения ГР. Провести анализ информационных потоков между главными элементами системы. Провести количественную оценку времени нахождения системы в каждом из состояний при выполнении основных сценариев проведения медицинских телеконсультаций, а также обосновать выбор критериев эффективности функционирования ТМС ГР для таких сценариев.
3. Разработать математическую модель продвижения потоков информации и данных при проведении медицинских консультаций в ТМС ГР, позволяющую оптимизировать состав и структуру системы на основании результатов вычислительного эксперимента.
4. Разработать метод расчёта количественного состава управляющих элементов телемедицинской сети и метод расчёта взаимного размещения управляющих элементов ТМС, ориентированной на работу в условиях горного района.
5. Провести вычислительный эксперимент в интересах апробации разработанных методов для проектирования ТМС ГР на основании исходных данных медицинских, коммуникационных и транспортных логистических ресурсов республики Йемен.

Объект исследования: телемедицинская система.

Предмет исследования: влияние совокупности специфических факторов присущих горным районам на технические и организационные характеристики телемедицинской системы.

Методы исследования: В работе использован аппарат системного анализа, математической статистики, теории графов, теории массового обслуживания, решения нелинейных задач дискретного программирования. Для вычислительного эксперимента применялись программные библиотеки математических функций среды моделирования Mathcad.

Научная новизна результатов:

1. Разработана концепция проектирования ТМС адаптированной к условиям горных районов, отличающаяся тем, что основное внимание при разработке технической поддержки оказания медицинской помощи уделяется дистанционному автоматизированному мониторингу параметров состояния здоровья населения, обеспечивающему реализацию профилактических мероприятий с учётом влияния геофизических, климатических и социальных факторов выбираемого региона.

2. Разработана структура ТМС охраны здоровья в ГР, отличающаяся тем, что в её состав включена служба управления потоками информации и данных, а также логистической поддержки системы, обеспечивающая эффективную организацию сеансов телеконсультаций, построенную на основании критериев стоимости консультации, которая рассчитывается с учётом минимального времени прохождения сигналов в коммуникационной сети и перенаправления потоков с учётом априорного знания ресурсов лечебных учреждений оказывающих профильную медицинскую помощь.
3. Разработана математическая модель, отражающая прохождения потоков информации и данных при проведении телеконсультаций, отличающаяся тем, что она учитывает использование в структуре ТМС элемента логической обработки и перенаправления потоков данных и информации (телемедицинского провайдера), что позволяет рассчитывать количественные показатели для повышения эффективности системы на основании результатов вычислительного эксперимента.
4. Разработана совокупность методов, включающая метод расчёта числа серверов телемедицинской сети отличающийся тем, что он позволяет рассчитывать количественные показатели элементного состава ТМС на основании результатов вычислительного эксперимента при выполнении основных сценариев проведения телеконсультаций в горных районах, а также метод расчёта территориального размещения провайдеров ТМС отличающийся тем, он позволяет рассчитывать их оптимальное положение относительно элементов ТМС на основе оценки скорости информационного потока в абонентской сети и пропускной способности экспертного сервиса(ЭС) известных лечебных учреждений и их профессиональной ориентации. Методы обеспечивают оптимизацию численного состава структуры ТМС и взаимное расположение её основных элементов.
5. Результаты выполненного вычислительного эксперимента по разработке ТМС республики Йемен впервые были получены с учётом возможности их дальнейшего применения для проектирования системы здравоохранения этой страны на региональном и федеральном уровне.

Обоснованность и достоверность научных положений, основных выводов и результатов исследования обеспечиваются за счёт широкого анализа состояния исследования в предметной области, адекватностью предложенной модели, корректностью выполненных численных вычислений, полученных на базе функционального аппарата признанного пакета среды математического моделирования Mathcad, апробацией основных положений и выводов, представленных в печатных трудах и докладах на научных конференциях.

Практическую ценность работы составляют:

1. Структура телемедицинской системы, позволяющая масштабировать её практически на любых территориальных площадях с присутствием на них поселений горных районов.
2. Метод локальной оптимизации структуры ТМС, позволяющий оптимизировать состав, структуру и функции компонента «абонент - провайдер - эксперт» для различных сценариев проведения ТМ консультаций.
3. Разработанная модель прохождения потоков информации и данных при проведении телеконсультаций, позволяющие произвести численные расчёты технических характеристик главных компонент ТМС в условиях экстремальных труднодоступных географических районов.

Основные положения, выносимые на защиту: Для создания ТМС ГР должны быть разработаны:

1. Математическая модель прохождения потоков информации и данных при проведении телеконсультаций, позволяющая оптимизировать финансовые затраты на проведение телеконсультаций путём минимизации времени прохождения потоков информации и данных в цепи «абонент-провайдер-эксперт» с учётом значений временных затрат на принятия решения о перенаправлении пакетов данных службой телемедицинского провайдера.
2. Метод расчёта количественного состава элементов телемедицинской сети, позволяющий определить необходимое число включаемых в неё провайдеров, обеспечивающих процедуру локальной оптимизации потока запросов в сети абонентов на основе знания статистики заболеваемости в обслуживаемом регионе
3. Метод расчёта территориального размещения полученного числа провайдеров путём разбиения сети абонентов на отдельные подмножества с последующей минимизацией функционала расстояний между центрами подмножеств и фиксированным расположением экспертных центров. Оба метода в целом позволяют сформировать физическую структуру ТМС.

Внедрение результатов исследования

Результаты диссертационной работы в виде практических рекомендаций по расчёту оптимальной структуры внедрены в экстремальную ТМС Российской антарктической экспедиции (РОСГИДРОМЕТ), выполняемой в рамках программы ФЦП «Мировой океан» подпрограмма «Изучение и исследование Антарктики» часть III: 2008 - 2012 гг. - осуществление расширения исследований на основе развития современных технологий и автоматизированных средств наблюдений, направление 1 раздел 4 «...изучение механизмов воздействия на человека гелиогеофизических возмущений в условиях Антарктики;», и направление 2 (обеспечение практической деятельности человека в Антарктике), раздел 5 «Медицинские исследования».

Апробация работы. Основные научные и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 4 всероссийских и международных конференциях, в том числе: Всероссийская научная школа по биомедицинской инженерии СПбГЭТУ (Санкт-Петербург, 2009), XIV Российский национальный конгресса «Человек и его здоровье» (Санкт-Петербург, 2009), IV международный научный конгресс «Нейробиотелеком-2010» (Санкт-Петербург, 2010), XXXIX Неделя науки СПбГПУ: международная научно-практическая конференция (Санкт-Петербург, 2010).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 7 научных работ, из них 2 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК, а также 1 статья в других журналах и изданиях, 4 публикации – в трудах международных и российских научно-технических конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы, включающего 54 наименований. Основная часть работы изложена на 125 страницах машинописного текста. Работа содержит 15 таблиц, 17 рисунков и 27 формул.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, определяется научная новизна работы и ее практическая значимость,

сформулированы основные положения, выносимые автором на защиту, приводится краткое содержание работы по главам.

В первой главе отражено современное состояние и развитие научных исследований в телемедицине. По результатам анализа свойств существующих ТМС предложена классификация. Выявлены тенденции развития современных телемедицинских проектов. Разработана концепция проектирования структуры ТМС адаптированной к условиям ГР.

По специфике охвата проблем здоровья и учёта особенностей географического размещения обслуживаемого региона ТМС можно разделить на поликлинические, профессионально ориентированные, специализированные системы. В рамках исследуемой проблемы наибольший интерес представляют специализированные системы, которые могут быть разделены на два более детализированных подкласса: ТМС военного назначения и ТМС экстремальных природных зон.

Оказание медицинской помощи в ГР необычайно затруднено влиянием географических и климатических факторов. Поэтому обеспечение медицинской помощи населению здесь следует отнести к экстремальным видам социальной деятельности. В описанных условиях трудной доступности и миграции населения традиционные методы охраны здоровья граждан малопригодны и носят низкоэффективный характер. Рассматриваемая научная проблема организации охраны здоровья людей в климатических условиях высокогорья до настоящего времени остается мало изученной и практически нерешенной. Причиной такого состояния является отсутствие технических инструментальных средств и методов работы в описанных экстремальных условиях высокогорья и, до недавнего времени, отсутствием средств надёжной радиосвязи. Поэтому здесь для решения проблемы требуется поиск нетривиального решения, как в организационном, так и в техническом обеспечении медицинского обслуживания людей.

По этой причине к числу ТМС экстремальных зон предлагается отнести новый выделенный класс – телемедицинских систем горных районов (ТМС ГР), который в совокупности с ТМС полярных зон будет представлять терминальные классы ТМС экстремальных природных зон.

Опираясь на результаты проведённого анализа характеристик передовых решений по внедрению телемедицинских технологий, а также влияния целого ряда специфических факторов, существующих в горных районах и влияющих прямо или косвенно на проектируемую ТМС, можно предложить необходимость переориентации целевой функций таких систем на дистанционное диспансерное наблюдение. На основе этой идеи предлагается научная концепция проектирования структуры ТМС адаптированной к условиям ГР. Основные положения концепции следующие:

1. для повышения качества и снижения стоимости телеконсультаций на уровне абонента:

- оборудовать удалённые поселения диагностическими комплексами сбора и обработки данных с учётом спектра типичных заболеваний конкретной местности, что упростит их приборный состав (следовательно, и их стоимость);
- диагностические комплексы должны иметь упрощённые защищённые от статического электричества терминалы, позволяющие проводить измерения параметрам (обученным людям без специального медицинского образования), что позволит в значительной степени решить кадровую проблему обеспечения медицинских пунктов;

- методическая составляющая выполняемых процедур диагностики должна быть ориентирована на анкетированный опрос пациента, позволяющий представлять анамнез в виде набора типовых вопросов по известным признакам из спектра типичных заболеваний, ответы на которые будут вводиться в виде кодовой последовательности. Такую последовательность будет возможно классифицировать на основании правил и перенаправлять в специализированный экспертный сервис, что позволит существенно уменьшить временные затраты на консультацию и сократить количество ошибочных обращений к специалистам;
 - диагностический комплекс должен создаваться на базе мобильных автономных вычислительных средств облегчающих его перенос к обследуемым пациентам;
 - все измерения, проводимые с помощью диагностического комплекса, включая анкетирование пациента, должны автоматически собираться в специальный файловый контейнер, готовый к отправке в ходе проведения телеконсультации;
2. Для повышения эффективности телеконсультаций на уровне средств коммуникаций необходимо создать техническую службу:
- которая обеспечит **надёжность** прохождения потока данных в системе, сохраняя её функциональную целостность, за счёт возможности использования различных каналов телекоммуникации и режимов их функционирования, путём оценки прохождения входного потока медицинской информации, как со стороны абонента, так и со стороны экспертного сервиса;
 - которая сумеет обеспечить **устойчивость** системы путём распределения возможных избыточных потоков информации и данных, возникающих на входе одного компонента телемедицинской сети, между всеми функционирующими звеньями этой сети;
 - которая, обеспечит **согласованность** протоколов приёма и передачи данных в коммуникационном звене «абонент-эксперт», путём выполнения функции встраиваемого устройства распознавания протоколов входных пакетов данных и функции устройства преобразования данных для передачи в принимающий канал, а также функции устройства логической коммутации первого устройства со вторым устройством;
 - которая обеспечит **экономичность** системы через снижение вероятности ошибочных подключений абонентов к экспертному сервису, несоответствующему запрашиваемой форме патологии, путём принятия решения о перенаправлении потока информации от абонента к специалисту по данным оценки ситуации на основании известной накапливаемой информации о готовности экспертного сервиса, действуя по определённым правилам, построенным на основании предшествующего опыта;
3. Для повышения эффективности телеконсультаций на уровне экспертного сервиса необходимо создать информационную службу:
- которая обеспечит поддержку принятия решения путём предоставления объективных данных о наличии медицинских ресурсов абонента и его потенциальной возможности оказания физической и инструментальной помощи пациенту, а также возможности доставки пациента к месту лечения;
 - которая способна предоставить данные о ресурсах лечебно-профилактических учреждений по профилю установленного по данным абонента диагноза, а также способности этого учреждения фактически оказать медицинскую помощь;
4. Для повышения эффективности телеконсультаций на уровне других задач, несвойственных медицинской практике, необходимо создать службу:

- которая обеспечить поддержку принятия о возможности эвакуации пациента на основании оценки готовности имеемых транспортных средств, способных выполнить задачу в ГР;
- которая позволит обеспечить поддержку доставки медицинского специалиста или группы специалистов в ГР, когда отсутствует возможность эвакуации больного по медицинским показаниям или в случае массового заболевания, требующего выполнения эпидемиологических мероприятий;
- которая в условиях относительной недоступности ГР, способна обеспечить поддержку периодического мониторинга основных показателей здоровья населения, выполняя функцию профилактики заболеваемости.

Применение представленной концепции для создания ТМС ГР открывает перспективу решения выделенной научной проблемы.

Во второй главе проведен системный анализ и техническое описание ТМС ГР, который включал: анализ состава и структуры автоматизированной телемедицинской системы охраны здоровья населения ГР, изучение компонентов и функций ТМС, выявление взаимосвязей между ними, разработку математической модели прохождения потоков информации и данных при выполнении основных сценариев проведения телеконсультаций, разработку метода расчёта количественного состава управляющих элементов телемедицинской сети и метода наилучшего взаимного размещения этих элементов системы.

На основании анализа основных сценариев проведения телеконсультаций было показано, что синтез структуры с внедрением компонента телемедицинского провайдера позволяет снять проблему неопределенности структуры телемедицинской сети присутствующей в ее каноническом представлении. Для доказательства была разработана модель компонентного состава ТМС ГР в виде топологии «клиент-сервер». В ТМС вида «абонент – эксперт» с прямым подключением через КС существует существенный недостаток, выражающийся в том, что первоначально согласованный по профилю заболевания сеанс связи в звене «абонент-эксперт» при изменении входных параметров, будет нарушен. Это потребует поиска новой связи абонента с другим экспертом, согласованной по новому профилю заболевания, уточнённого в процессе диагностики. Последний факт неизбежно нарушает оптимальность конфигурации соединений внутри сети. В отсутствие координатора это заставит абонента неопределённо долго искать необходимое соединений. Рассматриваемый случай наиболее типичен в условиях горных районов.

Предлагается исключить специфическую деятельность абонента сети при подключении к экспертному сервису путём подключения дополнительного элемента, который возьмет на себя всю нагрузку, связанную с экспертным, техническим, юридическим и финансовым обеспечением работоспособности сети, а также возьмет на себя решение всех других задач, несвойственных медицинской логистике. Назовём этот элемент телемедицинским провайдером (ТМП).

С внедрением ТМП принципиально изменяется схема обмена информацией между абонентами и экспертным сервисом от варианта топологии «каждый с каждым» к топологии (Рисунок 1), в которую включён элемент управления потоками информации в виртуальной телемедицинской сети.

Результаты обобщения сделанных выше выводов представлены в таблице (Таблица 1).

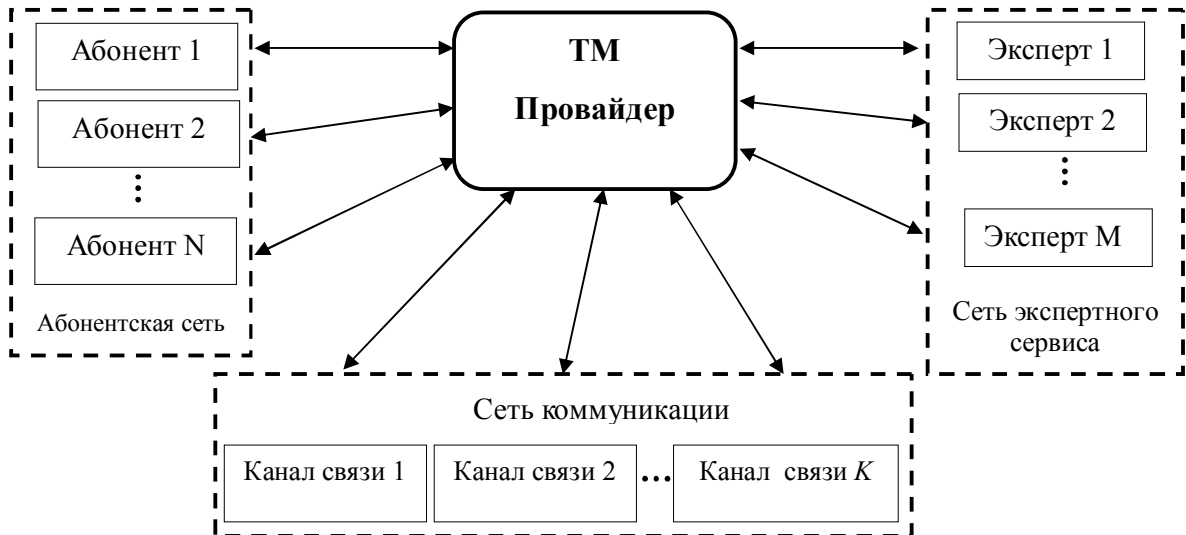


Рисунок 1 - Схема управления ТМС в условиях ГР с использованием телемедицинского провайдера.

Таблица 1- Основные требования к составу и структуре ТМС ГР

№	Требование	Вариант решения
1.	Централизация управления сетями абонентов и экспертного сервиса в интересах оптимизации потоков информации и данных	Изменение топологии с «многоточка-многоточка» («каждый с каждым») на «многоточка-точка-многоточка»
2.	Внедрение специальной службы, выполняющей согласование технических и организационных мероприятий в интересах оптимизации процесса телеконсультаций, а также решающей вопросы несвойственные медицинской практике	Телемедицинский провайдер (ТМП)
3.	Обеспечение живучести и устойчивости ТМС	Объединение ТМП-ров в сеть. Предоставление возможности автоматического переключения абонентов к свободным ТМП-рам
4.	Снижение ошибок «ложных» подключений «абонент-эксперт»	Подключение на основании данных постоянного мониторинга ТМП-ром ресурсов лечебных учреждений
5.	Повышение оперативности и снижение стоимости телеконсультаций	Выбор ТМП-ром средства и режима работы цепей коммуникации в гетерогенных сетях

Апробация полученной структуры осуществлялась с использованием методов имитационного моделирования. Наибольший интерес, с позиции оптимизации структуры ТМС ГР, представляет исследование информационных потоков, циркулирующих в системе. В ходе моделирования был предложен критерий оптимизации - время, затрачиваемое на обмен информацией в ходе проведения удалённых

отложенных консультаций в интересах сокращения стоимости проводимых консультаций.

Функционирование ТМС рассматривалось как совокупность возможных сценариев продвижения потоков информации в базовой цепи ТМС «абонент-КС-ТМП-КС-эксперт» с использованием графа состояний системы.

Предложены следующие критерии эффективности функционирования ТМС ГР при экстренных ТМ консультациях: время выживания пациента (t_B), время эвакуации пациента ($t_Э$), эффективность пост лечебных мероприятий (ξ) и стоимость консультации (S_k), рассчитываемая как сумма затрат при прохождении информации в каждом i -м состояний системы $S_k = \sum_{i=0}^N s_i \cdot t_i$. Справедливо следующее отношение:

$t_B \geq t_Э$, $\xi = \varphi \cdot \frac{1}{t_Э}$ где φ - некоторая постоянная, зависящая от нозологической формы заболевания.

Для поиска количественного состава и территориального размещения ТМП была разработана математическая модель прохождения потоков информации и данных при проведении телеконсультаций с использованием телемедицинского провайдера.

Постановка задачи моделирования. Пусть заданы значения интенсивностей запросов абонентов к обслуживанию ТМС - Λ_r

Требуется: разработать модель прохождения потоков информации при проведении телеконсультаций с использованием ТМП и с её помощью определить следующие оптимальные структурные параметры телемедицинской сети с учётом допущений о том, что все однородные элементы (абоненты, провайдеры и эксперты) типичны в своём множестве, т.е. обладают одинаковыми свойствами:

- число n ТМП;
- размещение (относительное положение) k -го ТМП в пунктах сети $d(X_j, Y_i)$, где $X_j \in \{X\}$ – координаты размещения j -го абонента, а $Y_i \in \{Y\}$ – координаты размещения i -го эксперта;
- число терминальных комплексов (абонентов - m и экспертов - l), подсоединенных к каждому k -му ТМП,
- емкость (пропускная способность) ТМП C_k и каналов связи C_r .

Критерием оптимальности принимается минимум затрат на обслуживание сеанса телеконсультации $Z(X, Y)$ в ТМС, рассчитываемый на основании формулы:

$$Z(X_1, \dots, X_n, Y_1, \dots, Y_l) = \sum_{i \leq j < k \leq n} v_{jk} \cdot d(X_j, Y_k) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m w_{ij} \cdot d(X_j, Y_i)$$

где v_{jk} - затраты при передаче блока информации в процессе телемедицинской консультации между j -м ТМП и k -й ЭС, а w_{ij} - затраты на единицу передачи информации) при передаче блока информации в процессе телемедицинской консультации между j -м ТМП и абонентом.

В качестве метрики измерения расстояния $d(X_j, Y_i)$ принята оценка пропускной способности C_r каналов связи, через которые абонент и ЭС соединяются в процессе телеконсультации.

Принятые ограничения: процессы, протекающие в ТМС – марковские; максимальное время ожидания в очереди запросов - T_0

Получена модель системы массового обслуживания вида М/М/1 - СМО с одним обслуживающим прибором, бесконечной очередью, экспоненциальными законами распределения интервалов времени между поступлениями заявок и времени обслуживания, дисциплиной обслуживания (FIFO), были введены следующие обозначения: Пусть $A = \{i : i = 1, \dots, N\}$ - множество узлов подключения подсетей абонентов к сети ТМП; M_r - параметр, величина, обратная среднему времени обслуживания одной заявки. t^* - предельно допустимое время задержки сообщений в сети; $\lambda_i^{(1)}$ - интенсивность запросов на консультацию от i -го абонента, поступающих в k -й ТМП; $\lambda_i^{(2)}$ - интенсивность ответов на запросы, передаваемые от j -го эксперта i -му абоненту, перетранслируемых k -м ТМП;

$\{0, C_1^{(1)}, C_1^{(2)}, \dots, C_1^{(s)}, \dots, C_1^{(S_1)}\}$ - упорядоченное множество дискретных значений пропускных способностей элементов абонентских каналов связи такое, что $0 < C_1^{(s-1)} < C_1^{(s)}$ для $s = 2, \dots, S_1$; $\{0, C_2^{(1)}, C_2^{(2)}, \dots, C_2^{(s)}, \dots, C_2^{(S_2)}\}$ - упорядоченное множество дискретных значений пропускной способности элементов сети ТМП, такое что $0 < C_2^{(s-1)} < C_2^{(s)}$ для $s = 2, \dots, S_2$; $\{0, C_3^{(1)}, C_3^{(2)}, \dots, C_3^{(s)}, \dots, C_3^{(S_3)}\}$ - упорядоченное множество дискретных значений пропускной способности элементов каналов связи с экспертным сервисом такое, что $0 < C_3^{(s-1)} < C_3^{(s)}$ для $s = 2, \dots, S_3$; Λ_r - суммарная интенсивность запросов и ответов поступающих в r -й элемент сети; C_r - неизвестная пропускная способность r -го элемента сети, где $r = 1, \dots, R$.

Среднее время задержки сообщений в r -м элементе определяется соотношением $T_r = (M_r C_r - \Lambda_r)^{-1}$ При $(M_r C_r - \Lambda_r) > 0$, а среднее время реакции сети на запрос -

соотношением
$$T = \gamma^{-1} \sum_{r=1}^R T_r$$
 где γ - суммарная интенсивность первичных запросов, поступающих в сеть,

$$\gamma = \sum_{i=1}^N \lambda_i^{(1)}$$

Индекс r принимает значения согласно соотношениям:

$$r \in \left\{ \begin{array}{l} \{ik\} \text{ для абонентских каналов связи между абонентами в пунктах} \\ i \in A \text{ ТМП в } k \in A; \\ \{k\} \text{ для ТМП в пунктах } k \in A; \\ \{kl\} \text{ для магистральных каналов связи между } k\text{-ым ТМП и } l\text{-ым ЭС в} \\ \text{пунктах } k, l \in A. \end{array} \right.$$

Очевидно, что в любом пункте $k \in A$ размещается ТМП, если к этому пункту прикрепляется хотя бы один эксперт, причем это может быть единственный эксперт, установленный в том же самом пункте.

В свете построенных выражений дана математическая формулировка задачи оптимального размещения ТМП следующим образом:

1) каждая абонентская подсеть подключается абонентским каналом связи только к

одному ТМП:
$$\sum_{i=1}^{i=N} X_{ik} = 1, k = 1, \dots, N;$$

2) загрузка элементов сети не должна превышать предельно допустимую нагрузку, определяемую пропускной способностью цепи «абонент – ТМП – ЭС» ($M_r C_r - \Lambda_r > 0, r \in \{r\}$);

3) среднее время задержки сообщений в сети не должно превышать предельно допустимое значение: $T \leq t^*$;

4) пропускная способность элементов сети может принимать только дискретные неотрицательные значения из заданных множеств:

$$C_{ik} \in \{C_1^{(S)}\}, i \in A; k \in Y \subseteq A, C_k \in \{C_2^{(S)}\}, k \in Y \subseteq A, C_{kl} \in \{C_3^{(S)}\}, k, l \in Y \subseteq A;$$

5) переменные X_{ik} могут принимать только значения 0 (отключён) или 1 (подключен), $i, k \subseteq A$.

Суммарные приведенные затраты на создание и эксплуатацию сети должны быть минимальными:

$$Z = \min \left\{ \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{k=1}^{k=N} Z_{ik}(C_{ik}) + \sum_{k=1}^{k=N} Z_k(C_k) + \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{k=1}^{k=N} Z_{kl}(C_{kl}) \right\}$$

Первое слагаемое учитывает затраты на абонентские каналы связи, второе – затраты на ТМП, третье – затраты на каналы связи с ЭС.

Для решения задачи моделирования использовался метод локальной оптимизации с использованием множителей Лагранжа.

Разработаны алгоритмы, основанные на использовании метода локальной оптимизации: Алгоритм выбора количества телемедицинских провайдеров в ТМ сети (Рисунок 2) предназначен для поиска оптимального решения задачи о выборе количества ТМП при разработке структуры ТМС ГР, и Алгоритм выбора размещения телемедицинских провайдеров в фиксированных зонах - (Рисунок 3)



Рисунок 2 - Схема алгоритма расчёта количественного состава элементов телемедицинской сети.

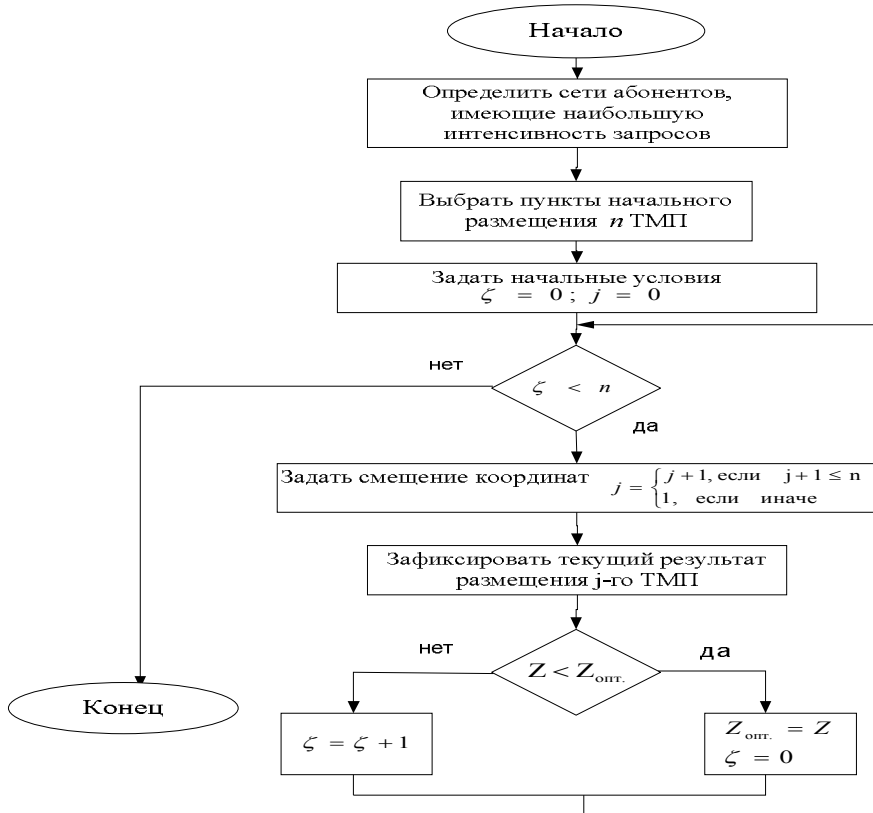


Рисунок 3 - Схема алгоритма выбора размещения телемедицинских провайдеров в фиксированных зонах. ζ – индикатор; j - текущий номер ТМП; $Z_{\text{опт.}}$ - оптимальное значение функционала; Z -текущее значение функционала.

Показано, что в результате оптимизации, во-первых, наилучшее размещение ТМП выбирается таким образом, чтобы были минимальными суммарные приведенные затраты на передачу сообщений между ТМП и абонентами определённой зоны, а также между рассматриваемыми ТМП и ЭС, и, во-вторых, ТМП целесообразно размещать по возможности «равномерно» на всей территории, где имеются подсети абонентов в (высокая концентрация населения).

Должно выполняться требование о том, чтобы производительность ТМП была достаточна для обработки всех запросов любого абонента и пропускная способность канала связи была достаточна для передачи запросов любого абонента и получения ответов им на эти запросы.

Проведенный системный анализ элементов ТМС ГР позволил выработать основные технические требования, предъявляемые к ТМС ГР, а также технические требования, предъявляемые к медицинским приборам, работающим в условиях горных районов.

В третьей главе проведены численные экспериментальные исследования полученных научных результатов. Экспериментальная проверка разделена на два этапа. Первый – состоит в обосновании целесообразности создания ТМС на основании расчётов стоимости затрат ресурсов лечебных учреждений республики Йемен на эвакуацию больных из горных районов. Вторая – практический расчет числа необходимых пунктов ТМП и их географического размещения на территории республики Йемен с использованием разработанной математической модели и методов.

Проведен вычислительный эксперимент в интересах проверки работоспособности разработанных методов на основании реальных данных об имеющихся медицинских логистических ресурсах республики Йемен. Представлено практическое решение задачи поиска оптимального плана перевозок больных в случае экстренных консультаций в интересах разработки ТМС ГР с целью минимизировать транспортные затраты на эвакуацию больных.

В результате вычислительного эксперимента выполненного численным методом на основе разработанных методов оптимизации определено число ТМП и места их относительного размещения. Для проведения эксперимента были выбраны 4 района: Тайз, Сана, Ибб и Аль-худайда, где имеются подсети абонентов высокая концентрация населения. Применили и проверили методы расчёта параметров ТМС ГР для одного района, а потом распространили результаты на остальные района с учётом рассмотрения сценариев экстренных и отложенных консультаций.

Полученные результаты приведены в таблице (Таблица 2)

Таблица 2 - Расчёт количества элементов ТМС ГР Йемена.

Муниципальные районы	Количества абонентских сетей	Количества экспертных сервисов	Количества ТМП
Тайз	4	3	2
Аль-Худайда	2	2	1
Ибб	2	2	1
Сана	2	2	1

Результаты эксперимента на район Тайз доказали, что в районе необходимо размещать минимум два ТМ провайдера, через которые можно обрабатывать запросы абонентов.

Дана оценка возможных средств связи, которые целесообразно применять для создания ТМ сети ГР района Тайз. При создании структуры ТМ сети в районе Тайз в результате оценки возможных ресурсов, целесообразно выбрать проводные и кабельные линии связи для передачи данных. Для начала вычислений разместили одного ТМП в Аль-Шамайтин, что определяется стоимостью эксплуатации линий связи. Второй пункт ТМП разместили в центре города в больнице УИН, чтобы минимизировать стоимость связи между ТМП и экспертным сервисом. Для остальных районов были размещены, минимум по одному ТМП в каждом районе. В последнем случае поиск оптимального места размещения ТМП теряет смысл.

Определено минимально необходимое количество ТМП для проведения удаленных консультаций в зависимости от спектра заболевания. Результаты эксперимента показали, что для полноценного обеспечения функционирования ТМС в структуре ТМ сети Йемена (Рисунок 4) достаточно разместить 5 ТМП, которые позволят обрабатывать все поступающие запросы от абонентских сетей.

Определены оптимальные места относительного размещения ТМП по критерию минимальной стоимости таким образом, чтобы были минимальными суммарные приведенные затраты на средства связи между абонентами и ЭС, соединенными ТМП.

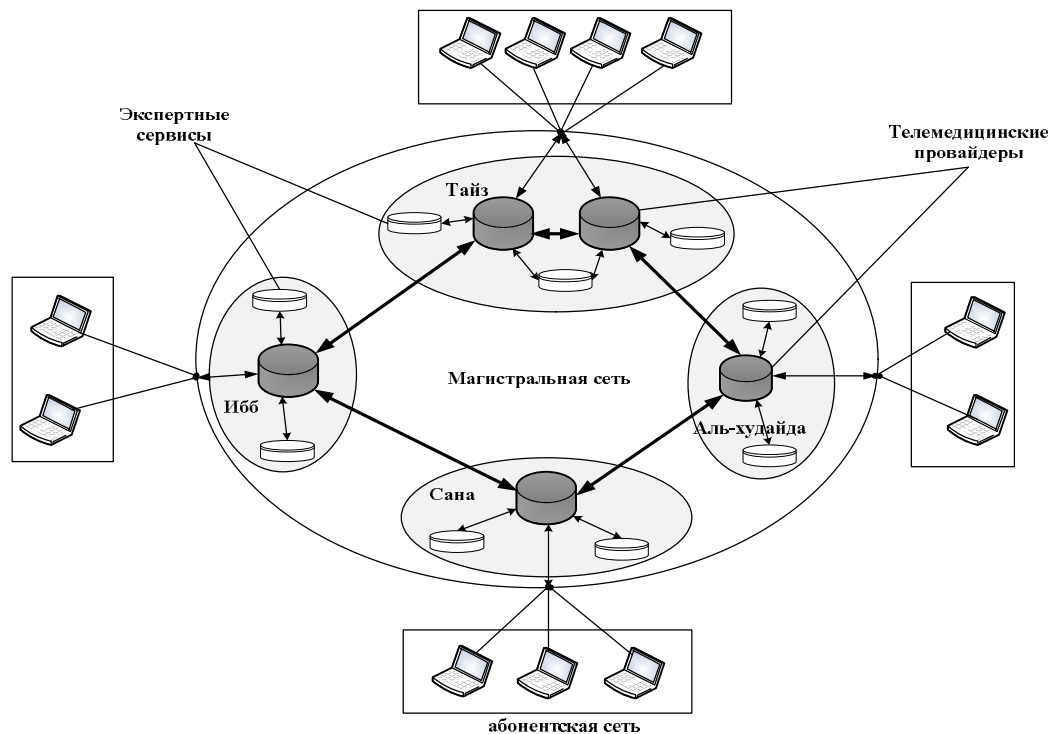


Рисунок 4- Структура телемедицинской системы Йемена.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ:

В результате проведенных исследований получены следующие результаты, соответствующие поставленным задачам исследования:

1. Обоснована и разработана научная концепция проектирования структуры ТМС адаптированной к условиям ГР, базирующаяся на опыте создания современных инструментальных технических средств телемедицины, функционирующих в различных географических зонах с учётом влияния факторов выбранного региона.
2. Разработана структурная модель ТМС ГР на базе информационной топологии вычислительных сетей «клиент-сервер» с внедрённой службой телемедицинского провайдера. Описаны свойства и функции основных компонентов ТМС, ориентированной на работу в ГР.
3. Разработана математическая модель, отражающая прохождения потоков информации и данных при проведении телеконсультаций с учётом функционирования ТМП, на основе которой осуществляется поиск оптимального состава и структуры ТМС.
4. Разработаны метод расчёта количественного состава управляющих элементов ТМ сети, вычисляемый на основании данных о количестве абонентов и пропускной способности каналов обмена информацией, и метод расчёта территориального размещения провайдеров ТМС относительно абонентов телемедицинской сети и центров экспертного сервиса.
5. Проведен вычислительный эксперимент в интересах проектирования ТМС ГР на основании реальных данных об имеющихся медицинских логистических ресурсах республики Йемен.

Полученные результаты диссертационных исследований доказывают, что в данной работе решена важная научная проблема оказания медицинской консультативной помощи в горных районах путём обоснования и разработки инструментов (моделей, методов и алгоритмов) для проектирования структуры телемедицинской системы, адаптируемой к конкретным экстремальным географическим зонам.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях, определенных ВАК РФ

1. Аль-Румайма М.А.¹ Опыт исследований процесса адаптации человека в условиях горных районов / Сенкевич Ю.И., Аль-Румайма М.А.// Биомедицинская технологии и радиоэлектроника. - 2009.- №11.-С.63-66.
2. Аль-Румайма М.А. Выбор критериев эффективности функционирования телемедицинской системы экстремальных географических зон / Аль-Румайма М.А.// Биомедицинская технологии и радиоэлектроника. - 2011.- № 5.-С.66-69.

Статьи, опубликованные в других изданиях

3. Аль-Румайма М.А. Особенности применения телемедицинских систем в горных районах // Украинский журнал телемедицины и медицинской телематики.- Донецк, 2010.-Т.8.-№2.-С.167-169.
4. Аль-Румайма М.А. К вопросу о влиянии экстремальных факторов горных районов на разработку телемедицинских систем //сборник трудов молодых ученых "Всероссийская научная школа по биомедицинской инженерии" СПбГЭТУ.-Санкт-Петербург, 2009.-С.207-211
5. Аль-Румайма М.А. , К вопросу о применении телемедицинских систем в горных районах // Специальный выпуск научное издание. Тезисы докладов XIV Российского национального конгресса "Человек и его здоровье".-Санкт-Петербург, 2009.- №3(37).-С.183-184
6. Аль-Румайма М.А. Концепция разработки телемедицинских систем адаптированных к условиям горных районов // сборник научных трудов IV международный научный конгресс "Нейробиотелеком-2010".- Санкт-Петербург, 2010.-С.148-152
7. Аль-Румайма М.А. Организация телемедицинских консультаций в горных районах // XXXIX Неделя науки СПбГПУ: материалы международной научно-практической конференции. Ч. XXI .- Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та , 2010.-С.69-70.

¹ Имя Аль-Румайма М.А. читать в редакции Махмуд Абдулазиз Мохаммед Аль-Румайма