

На правах рукописи

**Фам Ван Тап**

**АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА  
ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ ПРИ СОЗДАНИИ  
ЭЛЕКТРОННЫХ МЕДИЦИНСКИХ КАРТ**

Специальность 05.13.11

«Математическое и программное обеспечение вычислительных машин,  
комплексов и компьютерных сетей»

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Томск – 2011

Работа выполнена на кафедре Автоматики и компьютерных систем государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национального исследовательского Томского политехнического университета».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Цапко Геннадий Павлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор

доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:

Защита состоится 07 марта 2011 г. в 15 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.06 ГОУ ВПО Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу: г. Томск, ул. Советская, 84, институт «Кибернетический Центр» ГОУ ВПО Национального исследовательского Томского политехнического университета.

С диссертацией можно ознакомиться в Научно-технической библиотеке ГОУ ВПО Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу: г. Томск, ул. Белинского, 55.

Автореферат разослан 07 февраля 2011 г.

Ученый секретарь совета по защите докторских и кандидатских диссертаций  
кандидат технических наук, доцент  
Сонькин М.А.

## **Общая характеристика работы**

**Актуальность темы.** В рамках исполнения федеральной программы «Электронная Россия», направленной на информатизацию широкого спектра областей жизнедеятельности человека и реализацию прав граждан на доступ к информации, в работе рассматриваются актуальные вопросы разработки документооборота для задач описания электронной истории болезни в едином информационном пространстве (ЕИП) здравоохранения.

В настоящее время перед всеми специалистами, занимающимися разработкой программных продуктов для здравоохранения остро стоит вопрос организации медицинских данных. Это обуславливается тем, что медицинская информация имеет сложную структуру и очень разнообразна по своему составу. Более того, высокие требования к точности, надежности, безопасности и в потребности постоянного обновления медицинских данных накладывают дополнительные требования для реализации способов работы с ними.

Как показывает практический опыт использования информационных технологий в различных медицинских учреждениях, внедрение медицинских информационных систем (МИС) позволяет повысить качество и эффективность медицинского обслуживания и снизить стоимость медицинских услуг.

Полноценная МИС должна обеспечивать механизм формирования электронной медицинской карты (ЭМК), автоматизацию электронного документооборота, интеграцию данных, а также иметь техническую возможность проведения удаленных консультаций специалистов и позволять повысить эффективность принятия управленческих решений.

В рамках диссертационной работы рассматривается новый способ решения задачи автоматизации медицинского электронного документооборота с использованием процессного подхода. В отличие от существующих способов, применяемых для разработки МИС, рассматриваемый способ предлагает:

- использовать новый формат Open UMS, являющийся адаптацией международных медицинских стандартов (HL7 CDA и openEHR) к условиям российского здравоохранения, для ведения ЭМК пациента;
- использовать язык описания бизнес-процессов BPEL, тесно связанный с концепцией сервис-ориентированной архитектуры, использующей веб-сервисы в качестве универсального способа интеграции данных;
- использовать Office Open XML, представляющий собой серию форматов файлов для хранения электронных документов пакетов офисных приложений, что предоставляет пользователю альтернативный вариант работы с ЭМК;
- использовать различные информационно-коммуникационные технологии для решения задач проведения удаленных консультаций в рамках ЕИП.

Для органов управления здравоохранением с целью оперативного управления важно получать актуальную информацию для принятия управленческих решений. Таким образом, задача создания информационной модели, обеспечивающей формирование ЭМК пациента и автоматизации бизнес-процессов медицинского обслуживания с использованием современных открытых форматов и технологий очень актуальна. Решение такой задачи позволит пользователям отказаться от использования традиционного бумажного документооборота и перейти к эффективной модели автоматизации и управлению бизнес-процессами с применением электронных документов.

**Цель диссертационной работы** состоит в разработке алгоритмических и программных средств интеграции данных при создании ЭМК пациента. Для достижения поставленной цели ставились и решались следующие задачи:

- анализ современного состояния здравоохранения в России и за рубежом;
- разработка рекомендаций по модификации формата медицинских данных для задач организации хранения и обмена данными в ЕИП;

- разработка методологии формирования ЭМК пациента с использованием сочетания форматов Open UMS и Office Open XML;
- проектирование шаблонов медицинских документов в форматах Office Open XML для систем ведения ЭМК;
- разработка алгоритмического обеспечения для задач динамической настройки конфигурации МИС;
- разработка алгоритма формирования лечебно-диагностического процесса для описания потока исполнения задач на языках UML и BPEL с целью динамической реконфигурации исполнения МИС;
- разработка веб-модуля для решения задачи проведения удаленных консультаций между специалистами.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач в диссертационной работе использованы методы проектирования программного обеспечения, моделирования и структурного анализа бизнес-процессов, теории вероятности и математической статистики.

**Научная новизна работы.** В диссертационной работе обоснована проблема разработки ЭМК пациента, предложен способ динамической организации состава и маршрута документа, выбраны средства управления медицинским электронным документооборотом, в том числе для задач ЕИП, решена задача проведения удаленных консультаций специалистов в рамках ЕИП.

Научную новизну работы определяют следующие основные положения:

- критерии оценки форматов представления и хранения медицинских данных;
- модификация формата медицинских данных для задач организации хранения и обмена данными в ЕИП;
- способ ведения ЭМК с использованием шаблонов медицинских документов в форматах Office Open XML с применением электронной цифровой подписи (ЭЦП);

- алгоритмическое обеспечение для задач динамической настройки конфигурации МИС;
- алгоритм формирования лечебно-диагностического процесса для описания потока исполнения задач на языке BPEL с целью динамической реконфигурации исполнения МИС.

**Практическая ценность.** Разработанная модель может применяться для построения МИС и систем ведения ЭМК в масштабах региона на основе открытого формата Open UMS. При выполнении исследовательской части работы были получены следующие практические результаты, выносимые на защиту:

- разработанные шаблоны медицинских документов, представленных в форматах Office Open XML, в которых содержатся элементы ввода данных, для внесения или обновления информации о пациенте в системе;
- структурная схема конфигурации МИС для ведения ЭМК в рамках ЕИП;
- модель *амбулаторного* обслуживания пациента в среде Eclipse BPEL для управления медицинским электронным документооборотом;
- веб-модуль и способ поддержки удаленных консультаций в отложенном режиме с использованием технологии Silverlight и трехзвенной архитектуры.

**Практическое применение.** Разработаны шаблоны медицинских документов, таких как, талон амбулаторного пациента (форма № 025-6/у-89), направление на госпитализацию, восстановительное лечение, обследование, консультацию (форма № 057/у-04), карта контроля артериального давления (форма № 140/у), карта больного с имплантированным электрокардиостимулятором (форма № 073/у), рецептурный бланк (форма № 148-1/у-88) и т.д. Разработана конфигурация МИС для ведения ЭМК в рамках ЕИП, BPEL-модель бизнес-процесса *амбулаторного* обслуживания пациента, а также веб-модуль «DICOMAX Графический редактор медицинских изображений» в составе разработанной конфигурации в МЛПМУ «Больница №2» и МЛПУ «Поликлиника №2» города Томска.

**Апробация результатов работы.** Материалы диссертации были представлены в следующих докладах:

1. «Разработка ActiveX компонентов для организации удаленной работы с использованием клиент-серверной технологии и цифровых протоколов обмена данными», А.А. Пономарев, Тап Ван Фам, конференция «Современные техника и технологии», 27 марта 2007 г.
2. «Стандартизация представления электронных медицинских документов», А.А. Пономарев, Тап Ван Фам, конференция «Молодежь и современные информационные технологии», 25 февраля 2009 г.
3. «HL7/CDA инфраструктура для проектирования и предоставления телемедицинских услуг и документов медицинского назначения при организации ЕИП», А.А. Пономарев, Тап Ван Фам, конференция «Современные техника и технологии», 6 мая 2009 г.
4. «Технологии Microsoft для решения задач интеграции данных здравоохранения», А.А. Пономарев, Тап Ван Фам, конференция «Молодежь и современные информационные технологии», 03 марта 2010 г.
5. «Разработка модуля – Редактор изображений, для задач АРМ врача инструментальной диагностики с использованием Microsoft Silverlight», А.А. Пономарев, Тап Ван Фам, конференция «Технологии Microsoft в теории и практике программирования», 23 марта 2010 г.
6. «Решение задачи выписки направлений пациентам с использованием веб-сервисов, стандарта HL7 при поддержке Microsoft BizTalk сервера», А.А. Пономарев, Тап Ван Фам, конференция «Современные техника и технологии», 14 апреля 2010 г.
7. «Использование Silverlight для решения задачи обработки медицинских изображений в лечебно-диагностическом процессе», А.А. Пономарев, Тап Ван

Фам, IV научно-практическая конференция иностранных студентов, магистрантов и аспирантов, обучающихся в НИ ТПУ, 15 апреля 2010 г.

**На защиту выносятся** следующие основные результаты:

- обзор существующих программных продуктов для ведения ЭМК в различных масштабах, на основе которого выделена их сравнительная характеристика;
- обзор международных и российских форматов представления и хранения медицинских данных, на основе которого выделены критерии их оценки;
- использование формата Open UMS для организации хранения медицинских данных в динамической исполняемой среде;
- способ представления ЭМК пациента в формате Open UMS на основе шаблонов медицинских документов в форматах Office Open XML с применением ЭЦП;
- алгоритмическое обеспечение для задач динамической настройки конфигурации МИС. Разработка структурной схемы конфигурации МИС для ведения ЭМК в рамках ЕИП;
- алгоритм формирования лечебно-диагностического процесса для описания потока исполнения задач на языке BPEL с целью динамической реконфигурации исполнения МИС. Разработка модели *амбулаторного* обслуживания пациента в среде Eclipse BPEL для управления медицинским электронным документооборотом;
- подход к проведению удаленных консультаций с использованием Silverlight и трехзвенной архитектуры. Разработка веб-модуля для удаленных консультаций между специалистами.

**Публикации.** По материалам диссертационной работы опубликовано 9 тезисов докладов и 3 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК, рекомендуемых для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.



Зарегистрированы следующие программные приложения в государственном информационном фонде неопубликованных документов:

- «Редактор DICOM изображений» № 50201000076;
- «MedicalDoc Редактор клинических документов» № 50201000921;
- «DICOMAX Графический редактор медицинских изображений» № 50201000922.

Работа также была отмечена следующими наградами: диплом I степени на IV научно-практической конференции иностранных студентов, магистрантов и аспирантов, обучающихся в ТПУ «Коммуникация в учебно-профессиональной и научной сферах», 12 – 16 апреля 2010 года, г. Томск; диплом I степени и диплом участника за лучшую презентацию на III Всероссийской научно-практической конференции «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов», 19 – 21 мая 2010 года, г. Томск.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из 4 глав, введения, заключения, списка использованных источников, списка сокращений, списка иллюстраций и списка таблиц. В конце каждой главы сформулированы основные выводы и перечислены полученные результаты. Объем работы – 186 страниц машинописного текста, содержит 13 таблиц, 50 рисунков, библиографический список включает в себя 79 наименований.

## **Содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, ее практическое значение, сформулирована цель и определены задачи исследования, а также выделены основные положения, выдвигаемые на защиту.

**Первая глава** диссертационной работы содержит анализ проблем в построении МИС и систем ведения ЭМК в рамках ЕИП.

В данной главе рассмотрено текущее положение в здравоохранении и обосновано применение МИС. Отмечена необходимость создания электронных документов и их формирования в ЕИП.

В последнее время, во многих экономически-развитых странах, большинство медицинских учреждений уже отказалось от бумажного документооборота, в это же время началось проектирование различных МИС, значительно облегчающих обслуживание пациентов и упорядочивающих бизнес-процессы. Со временем встал вопрос об интеграции накопленных данных, поэтому начались исследования в этой области и разработка стандартов для хранения и обмена данными.

Рассмотрены отечественные и международные стандарты, регламентирующие ведение ЭМК пациента, в состав которых входят структурированные и/или неструктурированные элементы. В настоящее время существует несколько популярных стандартов управления, хранения и обмена данными. К наиболее известным можно отнести HL7 CDA и openEHR. Первый главным образом направлен на обмен данными, тогда как openEHR сконцентрирован на информационной модели. В первой главе проанализированы недостатки концепции HL7 CDA и обосновано неуместное использование набора архетипов, использующих в концепции openEHR для задач российского здравоохранения. Рассмотрены вопросы адаптации HL7 CDA с учетом спецификаций медицинских документов, используемых в российских информационных системах. Ключевым элементом в документах, сформированных на основе предложенного формата, являются разработанные шаблоны, которые рекомендованы к использованию в условиях российского здравоохранения.

В главе приведены рекомендации по формированию формата Open UMS:

- разработка XML-хранилищ данных для шаблонов медицинских документов;
- разработка схем преобразования данных на языке XSLT;

- замена значения Code элемента Entry в HL7 CDA документе ссылкой на согласованную и формальную модель – медицинские шаблоны;
- публикация и согласование разработанных медицинских шаблонов;
- формирование сервисов для интеграции медицинских данных в ЕИП;
- использование открытой структуры информационной модели;
- поддержка международных стандартов по хранению и обмену данными.

Особенность использования обычного подхода HL7 CDA заключается в том, что каждый документ данного формата содержит множество элементов Entry для описания объектов обследования при осмотре пациента. Такие элементы Entry характеризуются двумя основными атрибутами Code (значение берется от классификатора медицинских терминов SNOMED-CT) и Value (значение берется от результата обследования). В обычном подходе HL7 CDA, модель RIM не обеспечивает тесную связность между этими атрибутами. В рекомендациях вместо такого подхода, предложено заменить значение атрибута Code, полученное от классификатора SNOMED-CT на ссылку на согласованную и формальную спецификацию для хранения результатов обследования.

В данной главе также рассмотрены технологии, используемые для обеспечения работы с медицинскими документами. Технология XML способна работать со структурированными данными и позволяет описать сложные форматы медицинских данных произвольной структуры. При этом структурные теги документа, имеющего форматы Office Open XML, позволяют использовать источники данных в данном формате. BPEL – универсальный язык для описания алгоритма выполнения бизнес-процессов. Язык часто рассматривается как ключевая составляющая сервис-ориентированной архитектуры приложений. BPEL позволяет эффективно управлять вызовами веб-сервисов.

В рамках первой главы получены следующие выводы и результаты:

- процесс внедрения и применения информационных технологий в здравоохранении проходит медленно. В тоже время большинство публикаций в России и в мире по проблемам разработки МИС посвящено узким специфичным задачам, предназначенным только для конкретных решений территориальных поликлинических служб;
- несмотря на наличие ряда стандартных протоколов, нормативных документов и программных средств, регламентирующих решение поставленных задач, они до конца не проработаны или не подходят к условиям российского здравоохранения, что приводит к необходимости разработки новой информационной модели;
- выделены проблемы применения и стандартизации ЭМК для усовершенствования информационных систем в здравоохранении.

**Во второй главе** рассмотрены методы организации ЕИП в здравоохранении и их классификация.

В работе отмечается, что увеличение темпов научно-технического развития, возрастание сложности и объема взаимоотношений «врач-пациент» медицинских учреждений приводит к информационной перегрузке, невозможности эффективно обрабатывать и учитывать все накопленные данные. Необходимо создание информационной инфраструктуры в этой сфере деятельности на базе парадигмы ЕИП, предусматривающей интеграцию разнородной клинической, научно-технической, финансовой, маркетинговой и других видов информации в рамках единой системы.

Рассмотрены основные типы медицинских данных, выделены требования к каждому типу, представлены методологии интеграции данных и модель распространения информации между системами/узлами. На сегодняшний день существуют два противоположных направлений в решении задачи интеграции данных в ЕИП: модели *централизованного* и *распределенного* хранения данных.

*Централизованная* модель представляет собой способ организации информации, при которой все данные хранятся в выделенном хранилище и доступны всем потребителям через это хранилище. Другие подсистемы могут действовать как обслуживающие системы для заполнения, предоставления или передачи информации к центральному хранилищу.

Главная идея *распределенной* модели заключается в том, что заполняемые данные сохраняются не в одном центральном хранилище, а на распределенных узлах. Для получения полного набора информации необходимо собрать элементы из различных источников в единственную «виртуальную запись». В настоящее время существуют различные способы реализации распределенной модели данных, такие как, широковещательный запрос, центральное индексирование, центральная репликация и т.д.

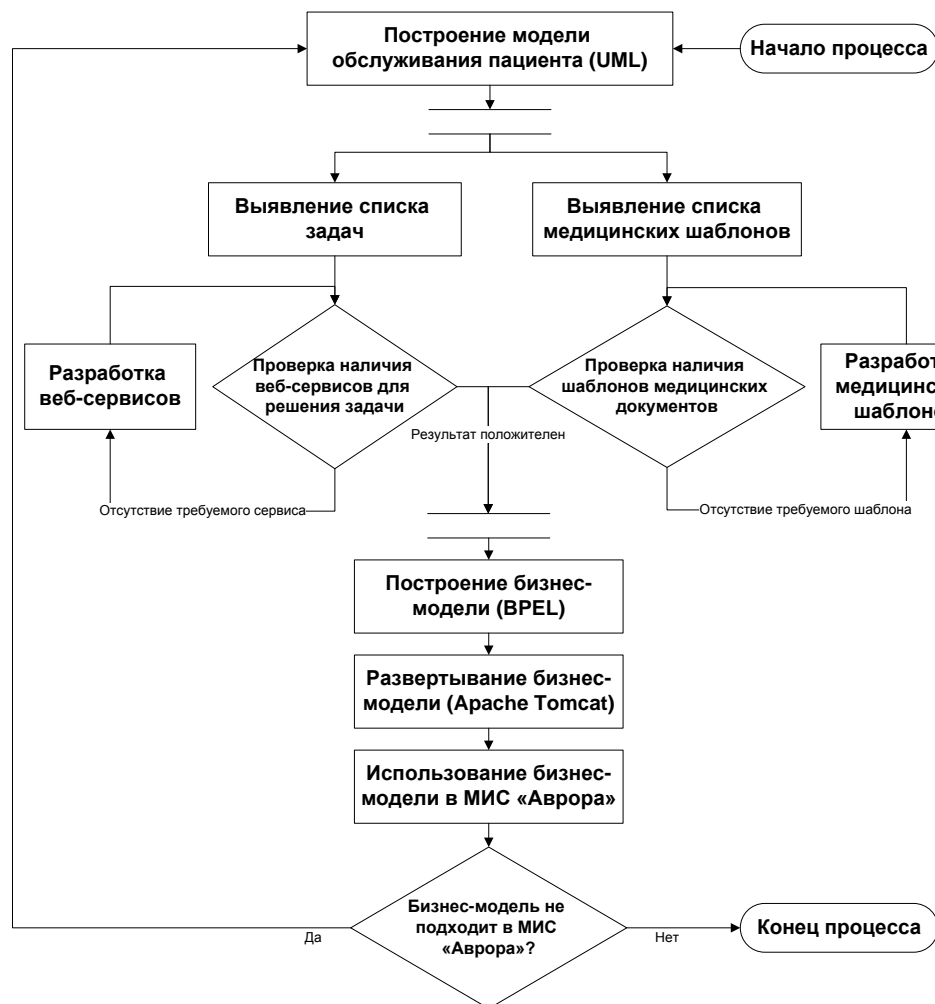
Кроме вышеописанных моделей существует и их комбинация – гибридная модель, в которой имеется центральное хранилище, обеспечивающая механизм извлечения требуемой информации из участвующих узлов. Для каждой модели данных были выделены их достоинства и недостатки, а также даны рекомендации по их реализации и применению.

В ходе выполненного анализа сделаны следующие результаты и выводы:

- получено представление о современном состоянии методологий построения ЕИП в сфере здравоохранения;
- выделены критерии выбора модели организации ЕИП;
- отмечена необходимость широкого внедрения новых медицинских технологий и механизмов финансирования, которые осложняются сбором и обработкой огромных массивов медико-экономической информации, используемой при анализе, прогнозировании и оптимизации расходов на медицинскую помощь населению.

**Третья глава** посвящена алгоритмическому обеспечению для динамической настройки конфигурации МИС, решению медицинских задач по разработке ЭМК пациента на основе предложенного подхода, автоматизации и управлению документооборотом здравоохранения на основе BPEL модели, а также разработке веб-модуля, предназначенного для проведения удаленных консультаций специалистов в рамках ЕИП.

Использование языка BPEL в реализации МИС дает пользователям возможность динамической реконфигурации модели управления потоками работ без особых трудов и переработки структуры системы. Такое преимущество объясняется ниже показанным алгоритмом, разработанным в рамках диссертационной работы, для задач динамической настройки конфигурации МИС «Аврора».



**Рис. 1.** Алгоритм для задачи динамической конфигурации МИС

В главе подробно рассмотрены решения по автоматизации медицинского электронного документооборота с использованием языка BPEL и форматов Open UMS и Office Open XML, а также с использованием сетевых технологий для задач удаленной инструментальной диагностики.

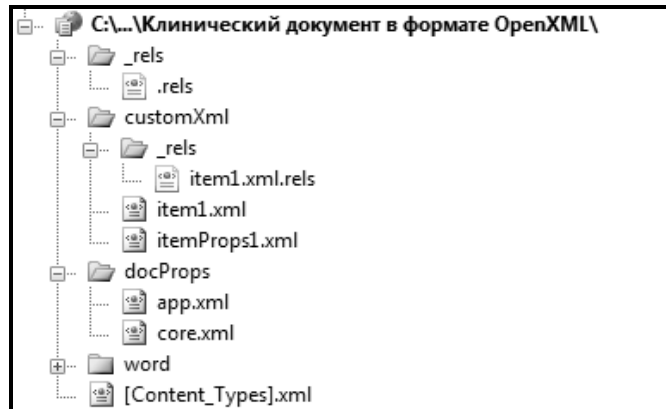
Электронный документ в форматах Office Open XML представляет собой zip-архив, в состав которого входят текстовые компоненты в виде XML, графики и другие данные, которые могут быть сериализованы с применением защищённых патентами двоичных форматов. Такая особенность дает программистам возможность вносить изменения в структуру документа и является предпосылкой выбора данных форматов для решения задачи автоматизации медицинского документооборота.

Рассмотрена методология представления ЭМК пациента в формате Open UMS на основе шаблонов медицинских документов, предназначенных для внесения информации о пациенте в систему, в форматах Office Open XML с применением ЭЦП. Данная методология разделена на следующие шаги:

- создание и внесение XML-хранилища в структуру документов в форматах Office Open XML;
- реализация связей между узлами XML-хранилища и элементами ввода данных с помощью Xpath-запросов;
- обеспечение ЭЦП медицинских документов;
- реализация функции внесения данных в систему с использованием разработанных шаблонов;
- разработка схем преобразования данных XSLT для преобразования ЭМК в стандартном формате Open UMS.

Одной из привлекательных характеристик в Microsoft Office 2007 или более поздних является поддержка элементов ввода, использующих структурные теги документа. Более того, эти теги позволяют использовать источники данных (XML-

хранилища), располагающиеся на внутреннем уровне документа (в директории *customXml*, как показано на рис. 2).



**Рис. 2.** Структура медицинского документа в форматах Office Open XML

Привязка элементов ввода к узлам файла источника данных осуществляется с помощью Xpath-запросов. Это позволяет пользователю построить взаимосвязь между внутренним и внешним уровнями документа. На рис. 3 показан фрагмент медицинского документа в форматах Office Open XML, содержащий различные элементы ввода данных для внесения в систему информации о пациенте.

Текущая дата: 28.03.2010																																																			
<b>Персональная информация пациента</b>																																																			
Фамилия: Фам	Имя: Тайп	Отчество: Ван																																																	
Номер телефона: +7(960) 975 9462	Пол: Мужской	BirthDate ождения: Выбрать дату. ▾																																																	
Страна:	Введите здесь.	<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Март 2010</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Пн</th><th>Вт</th><th>Ср</th><th>Чт</th><th>Пт</th><th>Сб</th><th>Вс</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Today</p> </div>	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пн	Вт		Ср	Чт	Пт	Сб	Вс																																												
1	2		3	4	5	6	7																																												
8	9		10	11	12	13	14																																												
15	16		17	18	19	20	21																																												
22	23		24	25	26	27	28																																												
29	30	31	1	2	3	4																																													
5	6	7	8	9	10	11																																													
Область:	Введите здесь.																																																		
Город:	Введите здесь.																																																		
Улица:	Введите здесь.																																																		
Дом:	Введите здесь.																																																		
<b>Документ</b>																																																			

**Рис. 3.** Фрагмент медицинского документа в форматах Office Open XML

Ниже приведен листинг фрагмента описания XML-хранилища данных в соответствии с полученным документом:

### Листинг 1. Источник данных в произвольном XML формате

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<Data xmlns="urn:OpenXmlDemo.NewPatientInformationForm">
```

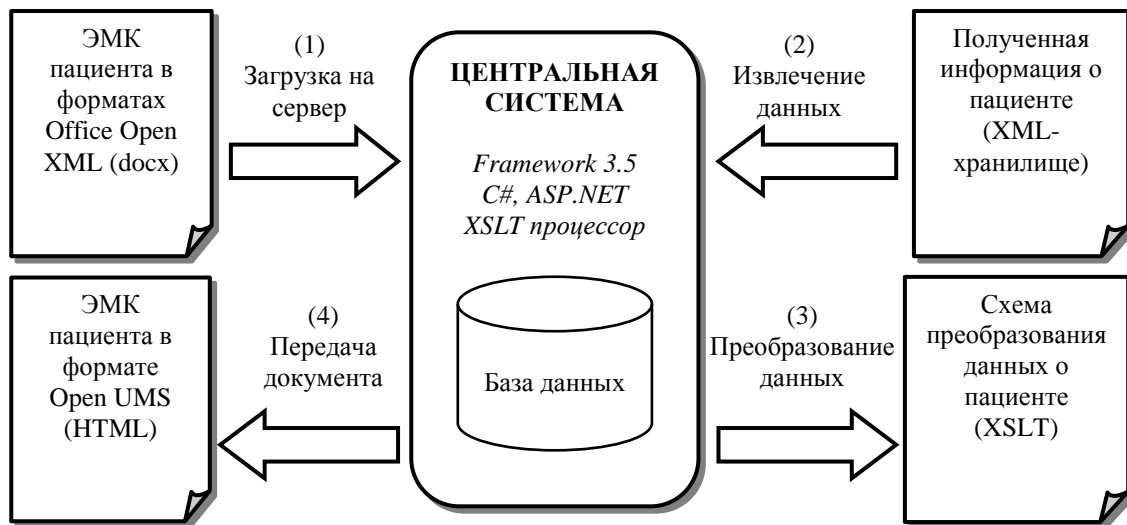


```

<Patient>
<Id>1</Id>
<BirthDate>01.11.1939</BirthDate>
<Sex>Мужской</Sex>
<Name>
<Last>Фам</Last>
<First>Тар</First>
<Middle>Ван</Middle>
</Name>
...
</Patient>
</Data>

```

С точки зрения специалистов, занимающихся стандартизацией форматов медицинских документов с целью интеграции данных, произвольный XML формат неинтересен. Поскольку он предназначен лишь бы для МИС, где его обрабатывает. Поэтому поставленной задачей является преобразование его в общепринятый формат Open UMS, который представляет собой адаптацию международных стандартов HL7 CDA и openEHR к условиям российского здравоохранения. В рамках данной работы разработан шаблон с целью предоставления пациентам доступа к ЭМК в формате Open UMS на основе форматов Office Open XML. Для построения ЭМК в формате Open UMS, часть данных передается из XML-хранилища, другая часть извлекается непосредственно из базы данных. На рис. 4 показан процесс преобразования информации о пациенте с целью создания ЭМК в формате Open UMS, при помощи расширяемого языка преобразования стилей XSLT.

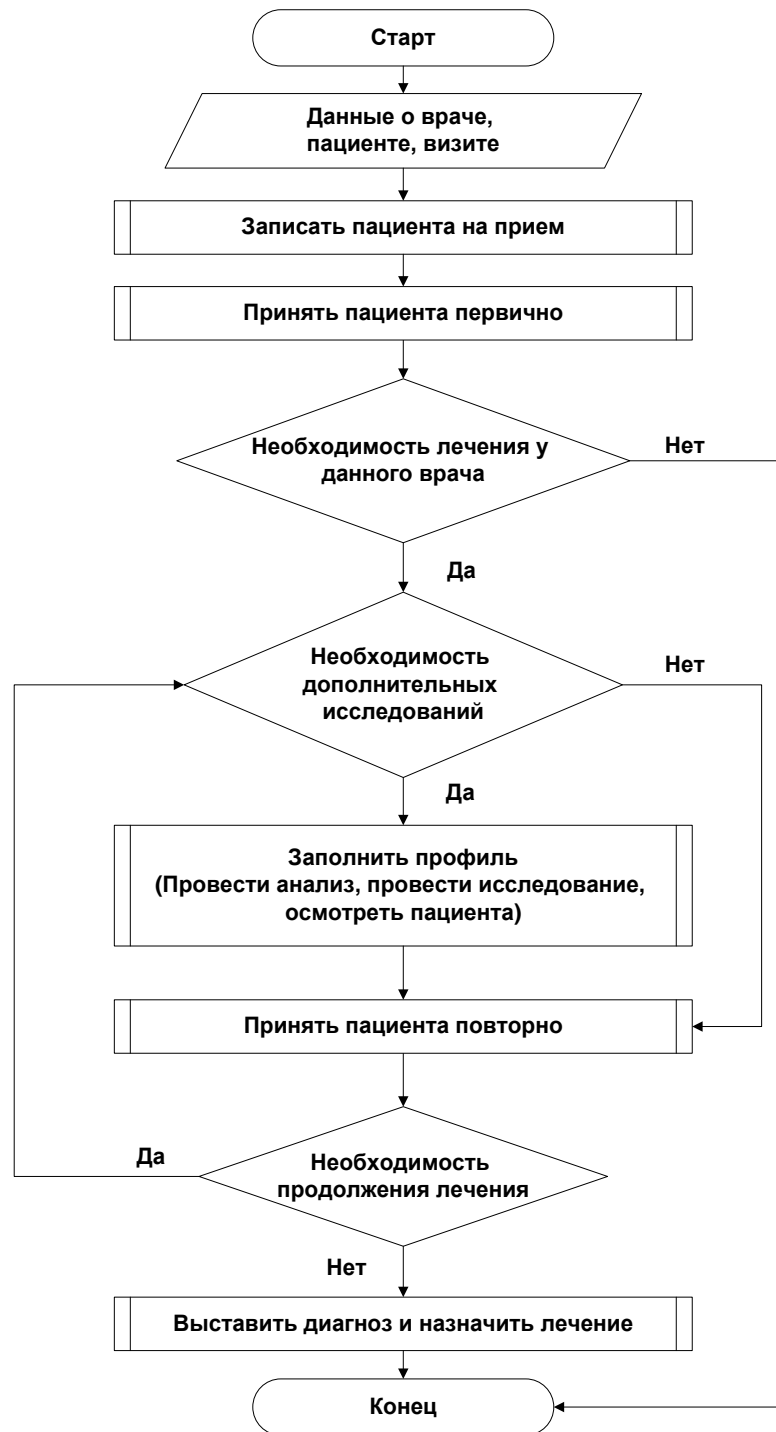


**Рис. 4.** Процесс создания ЭМК в формате Open UMS

Медицинские записи по своей специфике несут важные и конфиденциальные данные о пациенте, поэтому не менее важной является задача обеспечения безопасности при организации доступа к ним. Использование класса *PackageDigitalSignatureManager* в пространстве имен *System.IO.Packaging* дает возможность подписать либо все документы, либо только отдельные части документа, или даже отношения/связи между ними. Кроме обеспечения ЭЦП, данный класс также поддерживает функцию верификации подписанных документов, что предоставляет разработчикам возможность управлять клиническими документами, обеспечивая при этом безопасность.

Кроме того, возможна разработка собственных «Add-in» элементов, предназначенных для выполнения задач (сохранение заполненных данных, отмена результата заполнения и т.д.) непосредственно через интерфейс Microsoft Office Word 2007 документа, имеющего форматы Office Open XML.

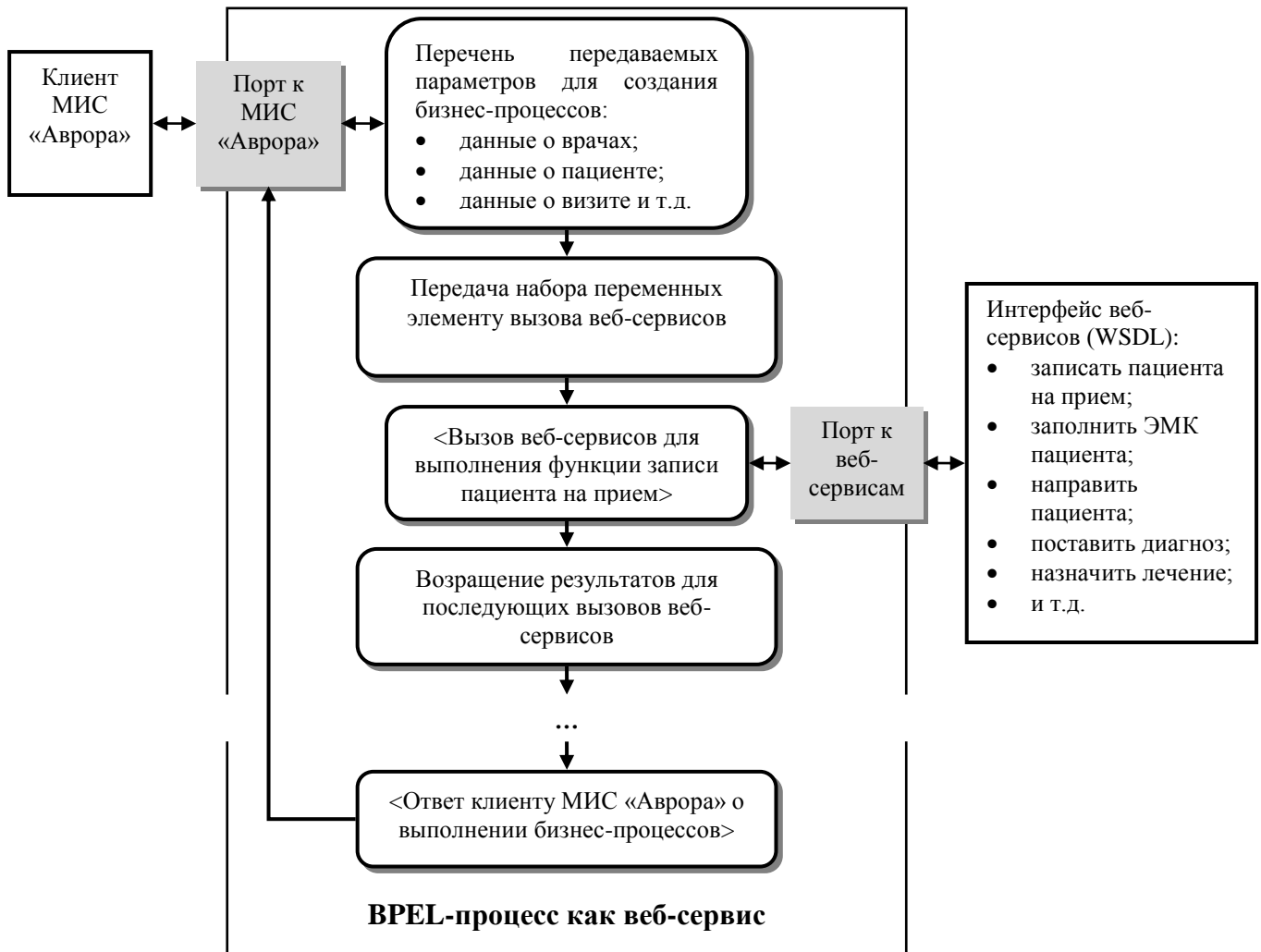
ВРЕЛ-процесс создается с помощью специализированных графических редакторов, которые позволяют моделировать потоки работ и очередность задач. В рамках работы рассмотрена типовая модель обслуживания пациента, которая описывает основные этапы плана лечения пациента с момента записи на прием до постановки диагноза и назначения лечения. На следующем рисунке показана блок-схема, описывающая алгоритм выполнения модели обслуживания пациента, рассмотренной в рамках МИС «Аврора».



**Рис. 5.** Блок-схема, описывающая алгоритм выполнения модели обслуживания пациента в рамках МИС «Аврора»

Для управления системой ведения ЭМК на основе построенного алгоритма необходимо спроектировать и запустить ВРЕЛ-модель, после чего она сама будет являться веб-сервисом, к которому клиент может обращаться при необходимости

создания нового лечебно-диагностического процесса. В среде Eclipse BPEL поддерживается набор управляющих компонентов, позволяющих осуществить алгоритм выполнения рассмотренной модели. На рис. 6 показана схема, отражающая связь между BPEL-процессом и внешними элементами, которые участвуют в модели обслуживания пациента.



**Рис. 6.** Связь между BPEL-процессом и веб-сервисами

В листинге ниже приведен фрагмент описания процесса «записи пациента на прием» в текстовом виде.

**Листинг 2.** Описание процесса «записи пациента на прием» модели обслуживания пациента в текстовом виде

```
<bpel:process name="AuroraProcess" ... >
...

```

```

<bpel:partnerLinks>
// Описание всех участников в процессе;
</bpel:partnerLinks>
...
<bpel:variables>
// Перечень всех переменных, которые передаются в процесс;
</bpel:variables>
<bpel:sequence name="Модель обслуживания пациента">
// Описание логики исполнения бизнес-процессов;
<bpel:sequence name="Запись пациента на прием">
<bpel:receive name="Ожидание новой заявки" partnerLink="client" />
<bpel:assign name="Передача входных переменных для вызова веб-сервиса">
// Описание механизма передачи переменных веб-сервису;
</bpel:assign>
<bpel:invoke name="Вызов внешней функции (веб-сервиса)" ></bpel:invoke>
<bpel:assign validate="no" name="Передача полученного результата функции">
// Описание механизма передачи переменных следующему процессу;
</bpel:assign>
<bpel:reply name="Возвращение результата" />
</bpel:sequence>
...
</bpel:process>

```

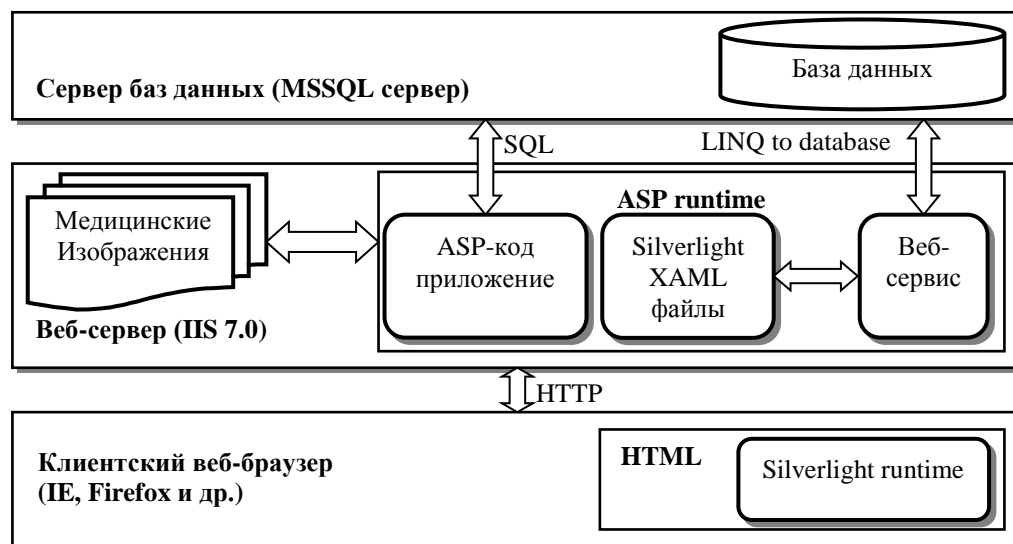
В представленном бизнес-процессе используются следующие компоненты:

- веб-сервисы, предназначенные для решения и выполнения определенных задач в рассматриваемой информационной системе, а также разработки и отображения данных. Такие веб-сервисы доступны в формате WSDL;
- средство потокового ввода данных Microsoft Office Word 2007, с использованием форматов Office Open XML;
- МИС «Аврора» выступает в качестве программного приложения клиента.

В качестве исполняемой среды может использоваться сервер бизнес-процессов, такой как, ActiveBPEL Engine или Apache ODE. В данной работе была использована среда Apache ODE, функционирующая на платформе Apache Tomcat.

В данной главе показана методология выполнения задач проведения удаленных консультаций специалистов, решение которых позволяет широкому спектру пользователей получить доступ к ЭМК пациента, содержащей не только текстовые, но и графические данные (изображения в различных форматах, метки на них). С целью организации общего пространства данных использована трехзвенная

архитектура, включающая три уровня: клиентский веб-браузер, веб-сервер и сервер баз данных, как показано на рис. 7.



*Рис. 7. Трёхзвенная архитектура системы*

Основным преимуществом выделения логики приложения в отдельную составляющую являются возможность её повторного использования, повышение производительности используемых серверов и т.д.

В рамках третьей главы получены следующие выводы и результаты:

- использование языка BPEL в реализации МИС дает пользователям возможность динамической реконфигурации модели управления потоками работ без особых трудов и переработки структуры системы;
- ключевым решением задач автоматизации и управления электронным документооборотом в работе является использование языка BPEL и стандартов Open UMS для формирования ЭМК и Office Open XML для ведения медицинских документов в офисном приложении Microsoft Office Word;
- задачи проведения удаленных консультаций между специалистами становятся востребованной. В данной главе рассмотрен современный подход реализации таких задач, который позволяет широкому спектру пользователей получить

доступ к ЭМК пациента, содержащей не только текстовые, но и графические данные.

**В четвертой главе** рассмотрено практическое применение разработанной модели, методов и программных средств, а также сформулированы преимущества их использования для решения задач здравоохранения.

Все важные события в учреждении здравоохранения фиксируются при помощи первичной учетной документации, позволяющей произвести накопление медицинских данных во времени и затем выполнить их анализ для принятия оперативных и управленческих решений. Поэтому при проектировании системы медицинского документооборота нужно целесообразно заложить в ее архитектуру те же принципы и алгоритмы, которые применяются в архитектуре других популярных учетных систем, таких как:

- в системе должна быть предусмотрена возможность хранения библиотеки шаблонов медицинских документов;
- каждый шаблон медицинского документа должен быть по возможности максимально структурирован и формализован;
- в системе должны быть предоставлены различные средства для повышения скорости заполнения медицинского документа и т.д.

На основании изучения схем медицинского документооборота и рассмотрения стандартов HL7, openEHR и формата клинических документов HL7 CDA были проведены консультации с ведущими специалистами различных специализаций, такими как, хирург, невропатолог, терапевт и т.д. Результатом такой работы стало формирование шаблонов обследования пациентов для задач включения их в ЭМК. При этом для организации электронного документооборота с их применением они были сначала формализованы, а затем представлены в формате медицинского документа на основе формата Open UMS.

В процессе внедрения разработанной информационной модели были проведены испытания использования шаблонов медицинских документов для заполнения данных, а также использования модуля «DICOMAX Графический редактор медицинских изображений» для задач проведения удаленных консультаций в отложенном режиме между специалистами. Подробный протокол испытания разработанных программных продуктов приведен в приложении 1.

Рассмотрены методологические подходы для разработки модели интегрального показателя здоровья населения с использованием показателей заболеваемости. Уровни заболеваемости учитывались с двумя коэффициентами: коэффициентом степени тяжести заболевания  $h_j$  и возрастным коэффициентом  $t_i$  (где  $i$  – возраст обследуемого,  $j$  – группа здоровья). Значения коэффициентов  $h_j$  фиксированы и находятся в интервале  $[0; 1]$ . В данном случае рассмотрен простой подход распределения населения по группам здоровья (всего 6 групп). Первая группа (здоровых) характеризуется коэффициентом степени тяжести  $h_1 = 0$ , шестая группа (умерших)  $h_6 = 1$ . Остальные коэффициенты предположены следующими:  $h_2 = 0,2$ ,  $h_3 = 0,4$ ,  $h_4 = 0,6$ ,  $h_5 = 0,8$ .

Коэффициент  $t_i$  (значение  $i$  в интервале  $[0; 115]$ ) вычисляется следующей линейной функцией возраста, убывающей от 1 ( $t_0 = 1$ ) до 0 ( $t_{115} = 0$ ). При значениях  $i$ , больших 115,  $t_i = 0$ .

$$t_i = \begin{cases} 1 - \frac{i}{115} & \text{при } i \in [0; 115] \\ 0 & \text{при } i > 115 \end{cases}$$

Далее обозначим количество случаев в возрастной категории  $i$  при тяжести заболевания  $j$  величиной с двумя индексами  $x_{ji}$ . Произведение  $x_{ji}h_jt_i$  является характеристикой заболеваемости степени тяжести  $j$  в возрастной категории  $i$ . В результате вычислений получена следующая формула:

$$K = \sum_i K_i = \sum_j K^j = \sum_{i,j} x_{ji}h_jt_i$$



где  $K_i$  - показатель «здоровья» в возрасте  $i$ ,  $K^j$  - показатель «здоровья» по категории заболеваемости  $j$ ,  $K$  - обобщенный показатель «здоровья» всего обследуемого населения. На основе собранной информации при заполнении разработанного шаблона медицинского документа «Талона амбулаторного пациента» и использования предложенной формулы был проведен расчет уровня «здоровья» по возрастным категориям населения города Томска.

Также при внедрении МИС «Аврора» в МЛПМУ «Больница №2» в городе Томске были собраны статистические данные в течение месяца, которые позволяют оценить преимущества от использования разработанной модели.

В данной главе приведена оценка времени оказания медицинской помощи с использованием разработанной модели, которая получена методом теории вероятности. Вероятность обслуживания для различной длительности времени оказания медицинской помощи рассчитывается по формуле:

$P(\text{время оказания медицинской помощи} \leq t) = 1 - e^{-\mu t}$  где  $\mu$  – среднее число обращений за медицинской помощью в единицу времени (одна минута  $\mu = 0.0666$ , один час  $\mu = 3.996$ ).

Ниже приведены результаты расчетов вероятности для трех случаев:

$$P(\text{время оказания медицинской помощи} \leq 5 \text{ мин}) = 1 - 0.7167 = 0.2833$$

$$P(\text{время оказания медицинской помощи} \leq 10 \text{ мин}) = 1 - 0.5137 = 0.4863$$

$$P(\text{время оказания медицинской помощи} \leq 15 \text{ мин}) = 1 - 0.3682 = 0.6318$$

Таким образом, в большинстве случаев (с вероятностью 0.6318) медицинская помощь будет оказана за время меньшее, чем 15 минут.

Проведен анализ качества обслуживания пациентов с использованием разработанной модели. Рассмотрены случаи с различной частотой обращений за медицинской помощью: 3, 2 и 1 обращение к врачу в течение часа. Результаты расчетов сведены в следующей таблице.

**Таблица.** Результаты расчетов

Частота обращений за медицинской помощью $\beta$	3	2	1
Вероятность отсутствия обращений за медицинской помощью $P_0 = 1 - \frac{\beta}{\mu}$	0.25	0.50	0.75
Среднее число обращений за медицинской помощью в ожидании $Lq = \frac{\beta^2}{\mu(\mu - \beta)}$	2.25	0.50	0.08
Среднее время ожидания для пациента $Wq = \frac{Lq}{\beta}$	45 мин.	15 мин.	5 мин.
Вероятность того, что обращение за медицинской помощью будет в ожидании $P_w = \frac{\beta}{\mu}$	0.75	0.50	0.25

В результате рассмотрения вопросов использования разработанной модели в медицинском учреждении получены следующие результаты:

- при создании ЭМК необходимо предусмотреть общие принципы формирования электронных документов;
- практическое использование предложенной модели показало ее состоятельность;
- с использованием метода теории вероятности и статистических наблюдений произведена оценка качества оказания медицинской помощи при использовании разработанной модели на практике.

**В заключении** приведены основные научные и практические результаты, достигнутые в ходе диссертационного исследования и решения поставленных задач.

**В приложениях** приведены следующие элементы:

- протокол испытания разработанной модели;
- копии свидетельств об официальной регистрации программ и алгоритмов.

## Основные результаты

Основными теоретическими и практическими результатами являются:

1. Обзор и общий анализ текущего положения в применении информационных технологий для построения МИС и систем ведения ЭМК в сфере здравоохранения. Рассмотрены методы и технологии, позволяющие

организовать сбор, хранение, документирование и обмен данными. Выделена сравнительная характеристика существующих программных продуктов для организации медицинского электронного документооборота, а также выделены критерии оценки форматов представления и хранения медицинских данных.

2. Проанализированы недостатки существующих подходов для создания ЭМК пациента. Обосновано применение формата Open UMS, который может использоваться в российском здравоохранении для задач ведения ЭМК.
3. Предложен новый способ внесения или обновления информации о пациенте в электронную историю болезни в формате Open UMS с использованием шаблонов медицинских документов, представленных в форматах Office Open XML при поддержке ЭЦП. Разработаны шаблоны медицинских документов в форматах Office Open XML, в которых содержатся элементы ввода данных.
4. Построен алгоритм для задач динамической настройки конфигурации МИС. Разработана структурная схема конфигурации МИС для ведения ЭМК в рамках ЕИП.
5. Построен алгоритм формирования лечебно-диагностического процесса для описания потока исполнения задач на языках UML и BPEL с целью динамической реконфигурации исполнения МИС. Разработана модель *амбулаторного* обслуживания пациента в среде Eclipse BPEL для управления медицинским электронным документооборотом с использованием веб-сервисов и разработанных медицинских шаблонов.
6. Реализован веб-модуль «DICOMAX Графический редактор медицинских изображений» с использованием технологии Silverlight и трехзвенной архитектуры для решения задач проведения удаленных консультаций специалистов.

## Публикации по теме диссертации

1. Фам Ван Тап, Пономарев А.А. Разработка ActiveX компонентов для организации удаленной работы с использованием клиент-серверной технологии и цифровых протоколов обмена данными // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 27 февраля – 1 марта 2007 г. – Томск : Изд-во ТПУ, 2007. – С. 453–455.
2. Фам Ван Тап, Пономарев А.А. Стандартизация представления электронных медицинских документов // Коммуникация иностранных студентов, магистрантов и аспирантов в учебно-профессиональной и научной сферах: сборник тезисов III университетской научно-практической конференции иностранных студентов, магистрантов и аспирантов ТПУ. Томск, 13–17 апреля 2009 года. Томск : Изд-во ТПУ, 2009. – С. 153–157.
3. Фам Ван Тап, Пономарев А.А. HL7/CDA инфраструктура для проектирования и предоставления телемедицинских услуг и документов медицинского назначения при организации ЕИП // XV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» : сборник трудов: В 3 т. – Томск : Изд-во ТПУ, 2009. – Т. 1. – С. 588–590.
4. Фам Ван Тап, Пономарев А.А. Технологии Microsoft для решения задач интеграции данных здравоохранения // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 3–5 марта 2010 г., ч. 2. – Томск : Изд-во СПб Графикас, 2010. – С. 114–115.
5. Фам Ван Тап, Пономарев А.А. Разработка модуля «Редактор изображений» для задач АРМ врача инструментальной диагностики с использованием Microsoft Silverlight // Технологии Microsoft в теории и практике

- программирования: сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых; ТПУ. – Томск : Изд-во ТПУ, 2010. – С. 164–167.
6. Фам Ван Тап, Пономарев А.А. Решение задачи выписки направлений пациентам с использованием веб-сервисов, стандарта HL7 при поддержке Microsoft BizTalk сервера // Современные техника и технологии: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: В 3 т. – Томск : Изд-во ТПУ, 2010. –Т. 1. – С. 396–398.
  7. Фам Ван Тап, Пономарев А.А. Использование Silverlight для решения задачи обработки медицинских изображений в лечебно-диагностическом процессе // IV научно-практическая конференция иностранных студентов, магистрантов и аспирантов, обучающихся в ТПУ «Коммуникация в учебно-профессиональной и научной сферах». Томск, 12–16 апреля 2010 года. – Томск : Изд-во ТПУ, 2010. – С. 153–157.
  8. Фам Ван Тап, Пономарев А.А. Организация ЭМК с использованием стандарта HL7 для формирования ЕИП здравоохранения // Всероссийская конференция с элементами научной школы для молодежи «Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации», 1–5 декабря 2009 г. Россия, Ульяновск : сборник научных трудов: В 4 т. – Ульяновск : УлГТУ, 2009. – Т. 1. – С. 53–60.
  9. Pham Van Tap, Ponomarev A.A. Solution for integrating data in healthcare using Microsoft technologies // The Junior Scientist Conference 2010, 7–9 April 2010. – Austria, Vienna : Vienna University of Technology, 2010. – P. 311–312.
  10. Фам Ван Тап, Пономарев А.А. Организация МИС с использованием электронных клинических документов в стандарте HL7 CDA при поддержке

- форматов Office Open XML // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 5. – С. 177–182.
11. Фам Ван Тап, Пономарев А.А. Использование Open XML для формирования клинических документов в формате HL7 CDA // Научно-практический журнал «Экономика, Статистика и Информатика». Вестник УМО. – 2010. – № 3. – С. 147–152.
  12. Фам Ван Тап, Пономарев А.А. Автоматизация электронного документооборота в сфере здравоохранения с использованием стандартов ВРЕL и OpenXML // Журнал «доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники». – 2010. – № 2. – С. 281–286.
  13. Регистрация программного приложения «Редактор DICOM изображений» в государственном информационном фонде неопубликованных документов, № 50201000076.
  14. Регистрация программного приложения «MedicalDoc Редактор клинических документов» в государственном информационном фонде неопубликованных документов, № 50201000921.
  15. Регистрация программного приложения «DICOMAX Графический редактор медицинских изображений» в государственном информационном фонде неопубликованных документов, № 50201000922.