

На правах рукописи

Копаница Георгий Дмитриевич



**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ  
УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ ЛЕЧЕБНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ**

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 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГБОУ ВПО НИ ТПУ).

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор  
Силич Виктор Алексеевич

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор  
Цапко Геннадий Павлович

Кандидат технических наук, доцент  
Костюченко Евгений Юрьевич

Ведущая организация: Алтайский государственный технический  
Университет им. И.И. Ползунова

Защита состоится “13” декабря 2011 г. в 15.00 на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертация Д 212.269.06 при ФГБОУ ВПО НИ ТПУ по адресу: 634034, г. Томск, ул. Советская, 84, Институт Кибернетики ТПУ, ауд.214, тел/факс (3822)420479

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО НИ ТПУ по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 55.

Автореферат разослан “3” ноября 2011 г.

Ученый секретарь совета по  
защите докторских и  
кандидатских диссертаций  
Д 212.269.06,  
кандидат технических наук,  
доцент



Сонькин М.А.

**Актуальность работы.** Одним из важных факторов влияющим на уровень жизни в стране является качество предоставления медицинских услуг, которое существенно зависит от эффективности управления здравоохранением. Информатизация учреждений здравоохранения позволит сделать их более ориентированными на потребителя: пациента, получающего медицинские услуги, и органы власти, являющихся заказчиком услуг. Реализация медицинских информационных систем (МИС) позволит как автоматизировать бизнес-процессы лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ), так и решать задачи централизованного управления учреждениями здравоохранения. В области создания таких МИС накоплен определенный опыт, который описан в работах следующих авторов: А.И.Вялков, В.К.Гасников, Б. Блобель, С. Гарде, П. Кнауф, Т.Биль.

Особенностью российской системы здравоохранения является строгая иерархия организационной структуры, в рамках которой можно четко выделить центры управления различных уровней – муниципальный, региональный и национальный, в которых происходит концентрация отчетных данных и выработка управленческих решений. Разрабатываемые МИС должны учитывать особенности организации здравоохранения в регионе и выполнять не только функции автоматизации бизнес-процессов ЛПУ, но и являться поставщиком специфических медицинских данных для региональных центров управления.

В настоящее время функции информационных систем в региональных центрах управления здравоохранением ограничиваются сбором и накоплением статистических данных, что не достаточно эффективно для принятия эффективных управленческих решений.

Для обеспечения эффективности управления, необходима организация центров принятия управленческих решений, средствами которых можно на автоматической или автоматизированной основе осуществлять планирование, оперативное управление и мониторинг работы отрасли здравоохранения. В последнее время в России для решения подобных задач получили распространение ситуационные центры, которые показали свою эффективность в различных сферах деятельности, как при ежедневном управлении на различных уровнях, так и в кризисных ситуациях. Основным методологическим инструментом разработки интеллектуальных информационных систем в различных областях является аппарат системного анализа и теории принятия решений, в развитие которого большой вклад внесли следующие ученые: Месарович М., Мако Д., Такаха И., Холл А., Янг С., Оптнер С., Акофф Р., Саймон Г., Саати Т., Черняк Ю.И., Федоренко Н.П., Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П., Михалевич В.С., Волкович В.Л., Клир Дж., Волкова В.Н., Ларичев О.И. и др. Методы и модели, разрабатываемые в данном направлении, используются на этапах анализа проблемных ситуаций и синтеза создаваемых систем для формирования целей и задач, разработки вариантов достижения целей, а также проектирования требуемых видов обеспечений (организационного, информационного, программного, правового и т.д.).

Сложность формализации процесса принятия решений в здравоохранении связана с большим объемом качественных данных, влиянием субъективных мнений экспертов и накопленным опытом законченных случаев. Поэтому, ос-

новное внимание при проектировании информационной системы, начиная от постановки диагноза и назначения плана лечения врачом до принятия управленческих решений, следует уделять ее способности интеллектуально обработать данные, а именно, возможности обучения информационной системы на основе опыта ее использования и возможности работы с персонифицированными и нечеткими знаниями на основе методологии инженерии знаний и технологии экспертных систем. Среди авторов, развивающих данную методологию можно выделить Минского М., Хейеса-Рота Ф., Уотермана Д., Лената Д., Уэно Х., Исидзука М., Осуга С., Форсайта Р., Заде Л., Сугено М., Мамдани Е., Поспелова Г.С., Поспелова Д.А., Попова Э.В., Леоненкова А.В., Гаврилову Т.А. Недостаточно проработанным, по-прежнему, остается способность существующих моделей адекватно учесть слабую формализованность, неполноту и персонифицированность знаний такой предметной области как управление здравоохранением.

Таким образом, несмотря на наличие различных моделей и программных средств, задача разработки интеллектуальной информационной системы для управления сетью лечебных учреждений, входящих в систему здравоохранения региона еще не разрешена. Решение же данной задачи позволит, в конечном счете, повысить уровень жизни населения, что и определяет актуальность темы диссертационной работы.

**Цель диссертационной работы.** Разработка математического и программного обеспечения интеллектуальной информационной системы для управления сетью лечебных учреждений региона, обеспечивающей повышение эффективности принимаемых решений по улучшению качества медицинского обслуживания населения.

Для достижения поставленной цели необходимо последовательное решение следующих задач:

1. Построить модель предметной области для решения задач управления сетью лечебных учреждений;
2. Разработать требования к интеллектуальной информационной системе для управления сетью лечебных учреждений;
3. Провести анализ подходов к построению систем логического вывода и обосновать выбор класса математической модели для разрабатываемой системы поддержки принятия решений, реализующей функции логического вывода в условиях неопределенности и неполноты знаний предметной области здравоохранения. Провести анализ подходов к организации хранения и передачи данных в медицинских информационных системах и обосновать выбор модели для разрабатываемой системы;
4. Разработать математическую модель системы интеллектуальной обработки данных в рамках ситуационного центра по управлению здравоохранением, основанную на аппарате модальной логики и методе обратного вывода;
5. Разработать алгоритм упорядочивания путей логического вывода на основе модальной логики и метода обратного вывода;
6. Доказать теорему полноты для метода обратного вывода;
7. Выполнить программную реализацию интеллектуальной информационной системы оперативного сбора и обработки данных на основе модальной ло-

гики, метода обратного вывода и архетипного подхода для обработки данных медицинской статистики;

8. Провести апробацию и внедрение разработанных моделей, алгоритмов и программ для обработки данных в сети ЛПУ.

**Методы исследования.** В работе использованы методы математического и статистического анализа, теории доказательств, модальной логики, моделирования с использованием инструментальных средств моделирования бизнес-процессов Aris, BPWin, MS Visio. Для определения медицинских знаний применялось моделирование медицинских архетипов с применением дуального подхода и пакета моделирования LinkENR. Для статистической обработки результатов эксперимента использовался пакет MS Excel. Для программной реализации применялась интегрированная среда разработки MS Visual Studio.

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

1. Разработана математическая модель принятия решений, на основе модальной логики и обратного вывода, позволяющая повысить адекватность описания экспертных знаний путем добавления модальных операторов «известно» и «возможно» и отсутствием необходимости использования внелогических инструментов при организации вывода;
2. Доказана теорема полноты для обратного вывода  $KT^{Ф, >}_{inv}$ , что позволяет использовать данный метод для реализации достоверной системы поддержки принятия решений;
3. Разработан алгоритм упорядочивания путей логического вывода для обратного вывода  $KT^{Ф, >}_{inv}$ , позволяющий снизить трудоемкость обработки данных с полиномиальной со степенью 2.3 до полиномиальной со степенью 1.2;
4. Разработан метод моделирования ситуаций предметной области на основе архетипного подхода и модальной логики, позволяющий исключить трудозатраты со стороны ЛПУ при внесении изменений в набор внешних данных без изменения структуры базы данных и дополнительного программирования систем;
5. Создана и исследована программная система оперативной обработки и интеллектуального анализа медицинской статистики на основе модальной логики, метода обратного вывода и архетипного подхода, позволяющая увеличить эффективность обработки данных.

**Достоверность** результатов работы основана на корректности постановок задач и адекватности построенных математических моделей, подтвержденных экспертными оценками.

**Практическая ценность и реализация результатов работы.**

Практическая значимость исследования заключается в разработке интеллектуальной информационной системы ситуационного центра для управления сетью лечебных учреждений, использующей модальную логику, метод обратного вывода и архетипный подход. Использование системы позволяет автоматизировать процесс обработки медицинских данных, осуществлять их интеллектуальный анализ, извлекать отсутствующие данные, увеличивать скорость их обработки. Система имеет web-интерфейс, что позволяет использовать ее в любых операционных средах.

### **Внедрение результатов исследований:**

Созданный программный комплекс прошел апробацию и используется следующими предприятиями: Сеть медицинских учреждений GO IN, г. Ингольштад (Германия), МЛПМУ "Больница №2, г. Томск.

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

1. Математическая модель принятия решений интеллектуальной информационной системы для управления сетью лечебных учреждений;
2. Алгоритм упорядочивания путей вывода для метода обратного вывода  $KT^{\Phi}_{inv}$ ;
3. Теорема полноты для обратного вывода для логики  $KT$ ;
4. Метод моделирования ситуаций на основе архетипного подхода и модальной логики;
5. Программная реализация ИИС сбора и обработки медицинской статистики на основе модальной логики, метода обратного вывода и архетипного подхода международного стандарта ISO 13606;
6. Результаты практического применения разработанного математического и программного обеспечения для управления сетью ЛПУ.

### **Личный вклад автора**

Основные результаты диссертационной работы получены автором лично. Теоремы полноты были сформулированы и доказаны совместно с Новосельцевым В.Б. Внедрение в МЛПМУ "Больница №2 проводилось совместно с компанией ЮМССофт (Директор Меркер Э.С.) под техническим руководством Пономарева А.А. Внедрение в сети GO IN проводилось совместно с центром Гельмгольца, г. Мюнхен (Германия).

**Апробация работы.** Основной материал представлен в научных докладах, которые обсуждались на следующих конференциях и форумах:

VI Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления» (Томск, 2010);

Всероссийская научная конференция «Когнитивные науки: междисциплинарное исследование мышления и интеллекта» (Томск, 2009);

VII, VIII, IX и X Всероссийские научно-практические конференции студентов «Молодежь и современные информационные технологии» (Томск, 2007-2010);

VII Всероссийская научно-практическая конференция «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» (Томск, 2010);

IX Международная конференция форума Коха-Мечникова (Новосибирск, 2010);

Международная конференция «Фундаментальные проблемы разработки и эксплуатации медицинских информационных систем в РФ» (Томск, 2010);

Международная конференция EFMI STC E-health without borders (Lasko, Slovenia).

Работа поддержана грантом УМНИК фонда Бортника.

**Публикации.** Основное содержание диссертационной работы отражено в 7 статьях, 2 из которых опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников 150 наименований и двух приложений. Объем основного текста диссертации - 134 страниц машинописного текста, иллюстрированного 36 рисунками и 14 таблицами.

### **Основное содержание работы**

**В первой главе** проанализирована ситуация в области управления здравоохранением, проведен обзор математических формализмов, лежащих в основе системы поддержки принятия решений. Проведен анализ подходов к организации взаимодействия медицинских информационных систем. Поставлены задачи по повышению эффективности управления в области здравоохранения.

На основе проведенного анализа сделано заключение, что имеющиеся теоретические знания и практические рекомендации по разработке интеллектуальных систем для управления сетью лечебных учреждений недостаточны для разработки интеллектуальной системы, обеспечивающей эффективное управление сетью лечебных учреждений, что свидетельствует об обоснованности цели и способов ее достижения, сформулированных во введении.

**Во второй главе** приводится постановка задачи разработки интеллектуальной информационной системы для управления в рамках системы здравоохранения. Формулируются требования к интеллектуальной информационной системе, лежащей в основе ситуационного центра, приводится ее структура и технология работы. Сформулированы основные требования к математической модели системы и к модели хранения и передачи данных системы. На основе требований заданы критерии выбора классов соответствующих моделей для разрабатываемой системы и произведен их выбор на основе метода Саати и интегральных критериев.

Процесс создания системы, предназначенной для разрешения сложной многофакторной проблемы, рассматривается как процесс поиска средств ликвидации данной проблемы. Декомпозиция по жизненному циклу продукции позволяет выделить этапы системной последовательности принятия решений, которая и составляет основу процесса проектирования сложной системы.

#### **Моделирование предметной области (лечебных бизнес-процессов)**

Для выявления основных задач ситуационного центра разработана модель предметной области. Система регионального здравоохранения представлена в виде структуры бизнес-процессов, сформированной на основе методологии структурно-функционального анализа. Модель лечебных бизнес-процессов сформированная в нотации IDEF0, отражает структуру и иерархию бизнес-процессов, детали выполнения, исполнителей и последовательность документооборота.

В рамках этой модели были исследованы этапы формирования данных, на основании которых осуществлялась оценка деятельности как ЛПУ, так и системы регионального здравоохранения в целом.

#### **К основным входящим данным относятся:**

- паспортные данные пациента, необходимые для регистрации пациента в базе данных ЛПУ и оформления медицинской документации в виде форм № 025;
- план-график осмотра граждан подлежащих дополнительной диспансеризации;
- норматив консолидированного бюджета субъекта РФ и подушевые нормативы финансового обеспечения;
- нормативы объема медицинской помощи.

**К основным исходящим данным** относятся показатели оценки эффективности деятельности органов власти и субъектов РФ в области здравоохранения.

#### **Связь с другими процессами.**

Основной набор первичных медицинских данных формируется в процессе «Амбулаторное лечение», являющемся поставщиком данных для других процессов управления здравоохранением, от которых он, в свою очередь получает управляющие воздействия в виде приказов и распоряжений начальника департамента здравоохранения города или региона, а также формы для заполнения данных медицинской статистики. Связь с процессами анализа данных и принятия решений показана на рисунке 1.

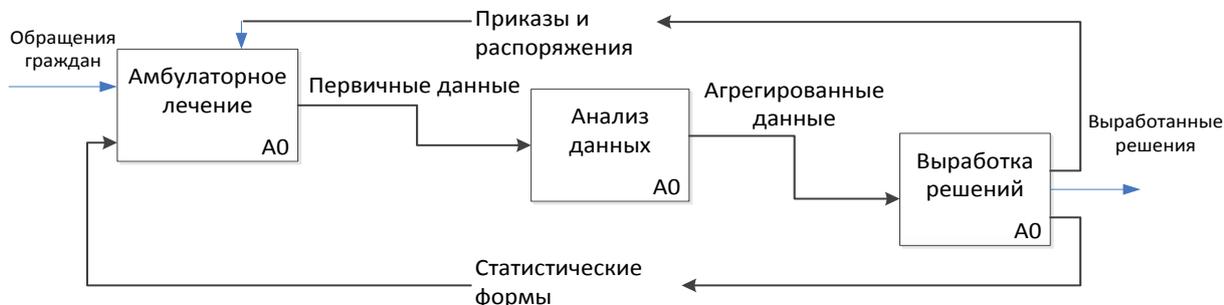


Рисунок 1 - Взаимосвязь процессов «Амбулаторное лечение», «Анализ данных» и «Выработка решений»

### Основные задачи управления в области здравоохранения.

В управлении региональной системой здравоохранения можно выделить два основных класса ситуаций: кризисные ситуации в период эпидемий и чрезвычайных ситуаций и рутинное управление системой с планированием, исполнением и мониторингом основных процессов по ключевым показателям. Для повышения эффективности управления системой здравоохранения в региональном масштабе предлагается методология ситуационного управления с двумя основными задачами: кризисный ситуационный центр управления эпидемиологической ситуацией и центр обеспечения анализа и прогнозирования основных индикаторов качества оказания медицинской помощи в регионе.

В ходе анализа модели процесса «Амбулаторное лечение» выявлены основные этапы формирования первичных медицинских данных, которые формируются в подпроцессе «Оказание лечебно-диагностических услуг», а после исполнения данного подпроцесса в системе возникает ситуация, когда необходимо передать информацию различным получателям. Это вызывает большую нагрузку на пользователей в связи с необходимостью повторного ввода и ручной пересылки данных.

Анализ модели предметной области показал, что в зависимости от эпидемиологической ситуации изменяется набор статистических данных и периодичность их передачи в Роспотребнадзор и в департаменты статистики здравоохранения региона и города. В результате этого исполнение бизнес-процесса замедляется, а данный этап процесса можно охарактеризовать как «узкое место» системы. Таким образом, решение задач, связанных с обработкой данных на этапе «Оказание лечебно-диагностических услуг» процесса «Амбулаторное лечение» а также организация эффективного взаимодействия между процессами «Амбулаторное лечение», «Анализ данных» и «Выработка решений» позволит повысить эффективность функционирования системы здравоохранения. На рисунке 2 представлена иерархия задач ситуационного центра.

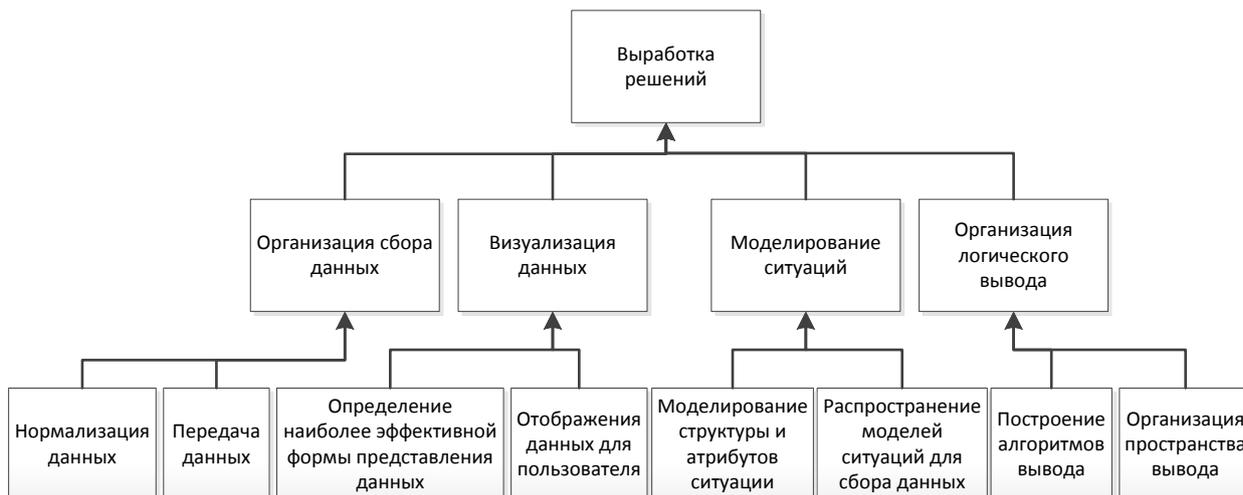


Рисунок 2 - Иерархия задач ситуационного центра

### Структура ситуационного центра управления здравоохранением

Для решения поставленных задач управления предлагается разработка ситуационного центра, в котором в автоматизированном режиме вырабатываются управленческие решения. В соответствии с «классической» архитектурой ситуационного центра были выделены следующие модули (рисунок 3).

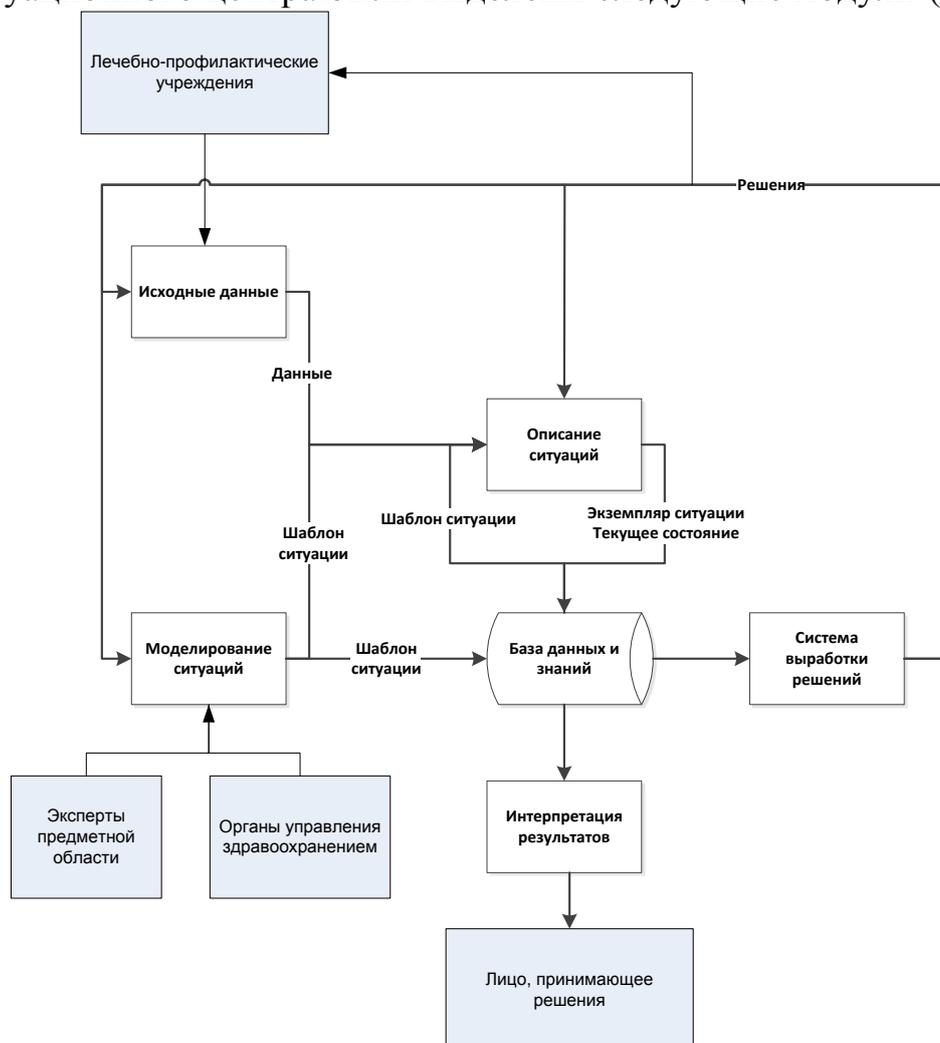


Рисунок 3 - Структурная схема ситуационного центра  
Блок «Система выработки решений»

В блоке осуществляется оценка текущей ситуации по определенным значениям индикаторов для выявления проблем. Значения индикаторов сравниваются с некоторыми пороговыми значениями. При этом учитываются факторы уверенности, оценивается тренд изменения индикатора, частота попадания значения в заданные области и т.д.

Блок может формировать решения как в автоматическом режиме (если имеет место стандартная ситуация), так и в автоматизированном (в случае нестандартной ситуации). Осуществляется классификация ситуации на основе значений индикаторов и исходных данных. При этом используются типовые классы ситуаций, хранящиеся в базе знаний. Если текущая ситуация относится к одному из стандартных классов, то используются типовые решения, «привязанные» к этому классу.

Создание математического обеспечения разрабатываемой системы предполагает обоснование выбора класса математической модели из множества  $X$  альтернативных вариантов  $x_i$ , а также непосредственное описание предметной области в терминах выбранного класса. К числу основных логических моделей, для которых разработаны формальные методы логического вывода, относятся: исчисление высказываний, исчисление предикатов, семантическая сеть, нечеткая логика, модальная логика. Выбор класса математической модели из пяти альтернативных вариантов основывается на использовании пяти частных критериев, представленных на рисунке 4, на котором приведена также иерархия цели для выбора класса математической модели по методу Саати.



Рисунок 4 - Иерархия цели для выбора математической модели

На первом уровне представлена глобальная цель – повышение эффективности поддержки принятия решений. На втором уровне представлены акторы – группы лиц, заинтересованных в решении проблемы. Третий уровень составляют цели (требования) акторов. Нижний уровень составляют альтернативные сценарии, соответствующие модели обработки данных.

Для оценки были построены матрицы парных сравнений для второго и третьего уровней иерархии. Для каждого из экспертов была построена своя матрица парных сравнений. Для построения обобщенной матрицы использовался метод средней оценки влияния, т.е. каждый элемент обобщенной матри-

цы сравнений является средним арифметическим значением из соответствующих элементов матриц отдельных экспертов.

На основе каждой из построенных матриц парных сравнений сформированы наборы локальных приоритетов, каждый из которых поделен на сумму приоритетов в строке. В итоге для уровня акторов были получены следующие значения нормализованных приоритетов:  $a_1=0,8$ ;  $a_2=0,2$ .

Значения нормализованных приоритетов для уровня целей и требований акторов:  $G_1=0,67$ ;  $G_2=0,33$ ;  $G_3=0,12$ ;  $G_4=0,32$ ;  $G_5=0,56$ .

На последнем шаге анализа локальные приоритеты были пересчитаны с учетом приоритетов направляемых элементов. В таблице 1 приведены данные для расчета глобальных приоритетов и результаты расчетов.

Таблица 1 - Расчет глобальных приоритетов

Глобальные приоритеты направляемых элементов		Локальные приоритеты сценариев				
Элемент	Приоритет	Исчисление высказываний (y1)	Исчисление предикатов первого порядка (y2)	Семантическая сеть (y3)	Нечеткая логика (y4)	Модальная логика (y5)
Отсутствие необходимости использования внелогических операторов (G1)	0,54	0,23	0,15	0,07	0,22	0,33
Возможность работы с персонифицированными знаниями (G2)	0,26	0,14	0,12	0,02	0,25	0,47
Возможность работы в условиях неопределенности (G3)	0,02	0,05	0,13	0,05	0,21	0,56
Высокая скорость обработки данных (G4)	0,06	0,11	0,21	0,06	0,17	0,45
Возможность работы с персонифицированными знаниями	0,11	0,06	0,09	0,08	0,1	0,67
		Глобальные приоритеты сценариев				
		0,18	0,13	0,07	0,21	0,41

Обоснование выбора модели хранения и передачи данных является важным этапом при разработке системы. Это связано с необходимостью учета особенности исследуемой предметной области, в которой постоянно изменяются требования к набору анализируемых данных и представлению медицинских сведений.

В мире существует несколько стандартов хранения и передачи данных электронной истории болезни. Среди них ISO 13606, HL-7.

Таким образом, выбор модели обработки данных из трех альтернативных вариантов основывается на использовании пяти частных критериев, представленных на рисунке 5, на котором также приведена иерархия цели для выбора класса модели хранения и передачи медицинских данных по методу Саати.

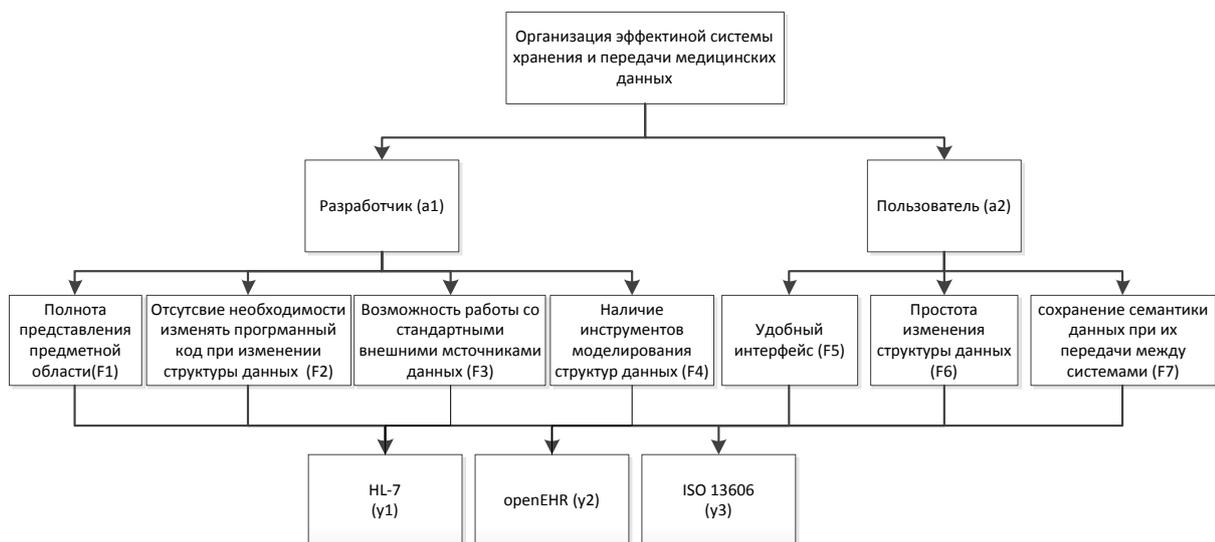


Рисунок 5 - Иерархия цели для выбора модели обработки данных

На первом уровне представлена глобальная цель – организация эффективной системы хранения и передачи медицинских данных. На втором уровне представлены акторы – лица, заинтересованных в решении проблемы. Третий уровень составляют цели (требования) акторов. Нижний уровень составляют альтернативные сценарии, соответствующие модели обработки данных.

Таблица 2 - Расчет глобальных приоритетов

Глобальные приоритеты направляемых элементов	Локальные приоритеты			
	Приоритет	HL 7 (x <sub>1</sub> )	openEHR (x <sub>2</sub> )	ISO 13606 (x <sub>3</sub> )
Полнота представления предметной области (F1)	0,055	0,14	0,15	0,58
Отсутствие необходимости изменять программный код при изменении структуры данных (F2)	0,037	0,35	0,13	0,32
Возможность работы со стандартными внешними источниками данных (F3)	0,138	0,16	0,19	0,44
Наличие инструментов моделирования структур данных (F4)	0,02	0,1	0,14	0,51
Удобный интерфейс (F5)	0,21	0,21	0,15	0,45
Простота изменения структуры данных (F6)	0,43	0,11	0,19	0,39
Сохранение семантики данных при их передаче между системами (F7)	0,11	0,15	0,22	0,37
	Глобальные приоритеты сценариев			
	0,15	0,18	<b>0,418</b>	

В качестве модели хранения и передачи медицинских данных ситуационного центра была обоснована и выбрана модель стандарта ISO 13606, как имеющая преимущества перед альтернативными вариантами математического обеспечения системы по всем интегральным критериям, а также самый высокий глобальный приоритет, определенный методом анализа иерархий Саати.

В третьей главе разработана математическая модель логического вывода на основе модальной логики и метода обратного логического вывода.

Для управления эпидемиологической ситуацией использовалась следующая модель (Рисунок 6):

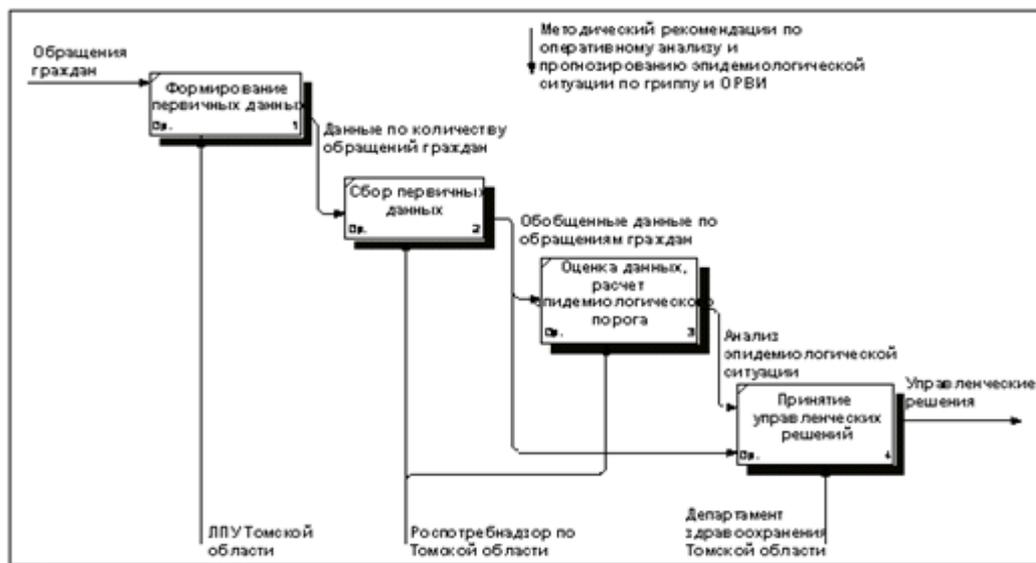


Рисунок 6 - Модель управления эпидемиологической ситуацией в нотации IDEF0

На данной модели можно оценить бизнес-процесс «Оценка эпидемиологической ситуации» в том виде, в котором он осуществляется в настоящее время. Низкую эффективность процесса можно оценить при помощи замера времени, которое уходит на выполнение всех этапов процесса. Исполнение процесса занимает около 24 часов. Причинами столь длительного исполнения бизнес-процесса являются:

1. Передача данных между участниками процесса на бумажных носителях;
2. Дублирование функций по обработке данным между Роспотребнадзором и департаментом здравоохранения.

Оптимизированная модель процесса представлена на рисунке 7. Из процесса удалено дублирование функций, а многие из них были переданы информационной системе.

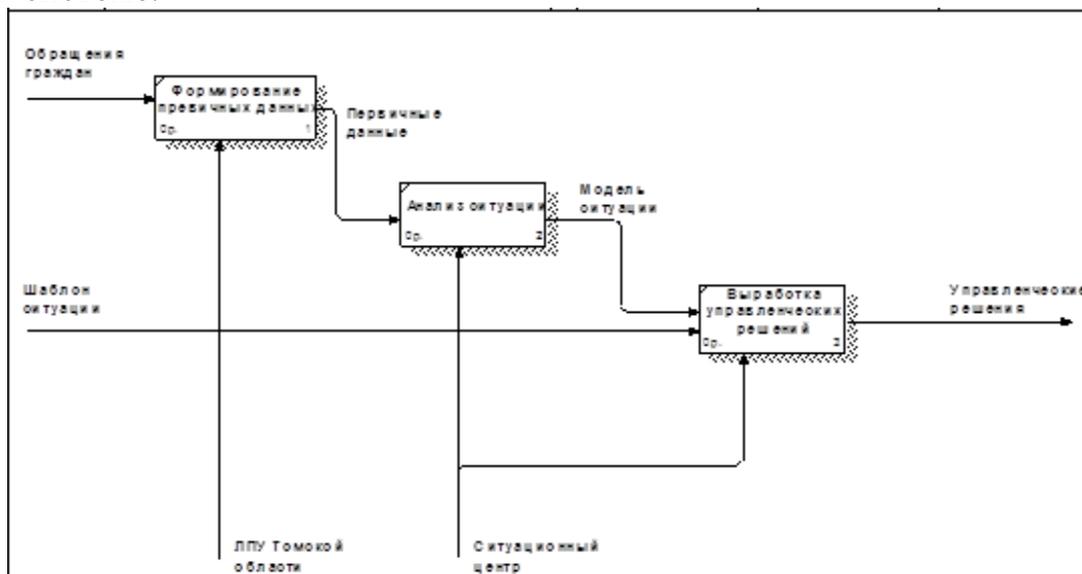


Рисунок 7 – Разработанная модель управления эпидемиологической ситуацией

На основе анализа текущей ситуации по индикаторам (таблица 3) и их изменению за данный интервал времени была определена необходимость следующих мероприятий по управлению ситуацией:

1. Классифицировать эпидемиологическую ситуацию по классу опасности;

2. Определить количество койко-мест в ЛПУ, необходимых для дополнительного выделения или освобождения;
3. Определить количество лекарственных средств, для дополнительной закупки;
4. Определить количество медицинских работников, которых необходимо дополнительно привлечь для оказания медицинской помощи.

Использование ИС в сложноформализуемых предметных областях затруднено их неспособностью решать задачи, связанные с необходимостью принятия экспертных решений в условиях неопределенности. Традиционным инструментом автоматического поиска вывода является метод резолюций в таких системах для модальных логик как \*SAT и DLP – традиционно, такие методы называют целеориентированными или прямыми. Не менее мощным является обратный метод, предусматривающий при оценке формулы движение от аксиом. Успешность применения обратного метода обусловлена его настройкой на анализируемую формулу и возможностью применения эффективных критериев борьбы с избыточностью пространства вывода, что способствует сокращению трудоемкости поиска. В качестве базового исчисления в работе рассматривается модальная логика знания – система, которая имеет больше средств для выражения знаний по сравнению с минимальной модальной логикой  $K$  за счет добавления аксиомы  $T: \Box A \supset A$  которая  $T$  отвечает свойству рефлексивности бинарного отношения  $R$  структуры модальной логики. Логика знания имеет большое значение при реализации информационных систем, когда модальный оператор  $\Box$  принимает трактовку «известно», а схема  $T$  как раз и требует, чтобы в системе  $KT$  то, что известно, являлось истинным. Для подтверждения корректности разработанной модели была доказана теорема полноты для обратного вывода  $KT^{\Phi, \succ}_{inv}$ .

**Теорема полноты  $KT^{\Phi, \succ}_{inv}$**  Формула  $\Phi$  системы  $KT$  невыполнима тогда и только тогда, когда  $\varepsilon$  имеет опровержение в исчислении  $KT^{\Phi, \succ}_{inv}$ .

**Доказательство.** ( $\Rightarrow$ ) Предположим, что формула  $\Phi$  невыполнима. По теореме полноты для  $KT^{\Phi}_{path}$  секвенция  $\varepsilon$  имеет опровержение в  $KT^{\Phi, \succ}_{path}$ . По лемме подсеквенциальности для деревьев вывода в  $KT^{\Phi, \succ}_{inv}$ , существует подсеквенция секвенции  $\varepsilon$ , имеющая опровержение в  $KT^{\Phi, \succ}_{inv}$ . Очевидно, что пустая секвенция не имеет опровержения в  $KT^{\Phi}_{inv}$ , поэтому  $\varepsilon$  имеет опровержение в  $KT^{\Phi, \succ}_{inv}$ .

Предположим, что  $\varepsilon$  имеет опровержение в  $KT^{\Phi, \succ}_{inv}$ . По лемме бимоделирования для  $KT^{\Phi}_{inv}$ , формула  $\Phi$  имеет опровержение в  $KT^{\Phi}_{inv}$ . Поскольку в  $KT^{\Phi, \succ}_{inv}$  каждая секвенция, имеющая опровержение является невыполнимой, следовательно,  $\Phi$  – невыполнима.

Для сокращения пространства поиска и повышения эффективности вывода был разработан алгоритм упорядочивания путей:

1.  $S_i$  определяется как множество путей в формуле  $\Phi$  модальной длины  $i$ ;
2. Для всех  $S_i$ , исключая последнее множество, делаем следующее;
3. Выбираем все пути  $\pi_1, \dots, \pi_n$  в  $S_i$  заканчивающиеся  $\Box \diamond$ ;
4. Разбиваем  $S_i$  на  $S_i \setminus \{\pi_1, \dots, \pi_n\} \succ \{\pi_1\} \succ \dots \succ \{\pi_n\}$ ;
5. Разбиваем  $S_0$  на  $S_0 \setminus \{\varepsilon\} \succ \{\varepsilon\}$ ;
6. Пока существуют  $S_i$  с более чем одним членом, делаем следующее;
7. Выбираем  $\pi \wedge \vee_l$  и  $\pi \wedge \vee_r$  – два брата в  $S_i$  такие, что  $\pi \notin S_i$ ;

8. Выбираем **L** и **R** – множества всех префиксов соответственно из  $\pi \wedge \vee_1$  и  $\pi \wedge \vee_r$ ;

9. Разбиваем  $S_i$  на  $S_i \setminus (L \cup R) \succ R \succ L \succ \{\pi \wedge \vee_r\} \succ \{\pi \wedge \vee_l\}$ .

В таблице 3 предоставлены входные и выходные параметры системы поддержки принятия решений для управления системой здравоохранения в кризисной ситуации, которые использовались при тестировании системы.

Таблица 3 – индикаторы, характеризующие ситуацию

Описание	Ед. измерения
<b>Входные параметры</b>	
Заболееваемость	%
Количество первичных обращений	Ед.
Количество обращений средней степени тяжести	Ед.
Количество обращений средней степени тяжести	Ед.
Количество «тяжелых» обращений	Ед.
Количество койко-мест в стационарах	Ед.
Запас лекарственных средств	Ед.
<b>Выходные параметры</b>	
Увеличение запаса лекарственных средств в ЛПУ	Ед.
Изменение типа койки в ЛПУ	Ед.
Увеличение времени работы ЛПУ	Ед.
Уменьшение запаса лекарственных средств в ЛПУ	Ед.
Увеличение количества коек в ЛПУ	Ед.
Сокращение дней пребывания в стационаре	Ед.
Повышение норм обслуживания населения	Ед.

Предложенный формализм положен в основу организации логического вывода в системе поддержки принятия решений, что позволило повысить гибкость и интеллектуальность системы по использованию понятия «возможности/необходимости».

На основе архетипного подхода и модальной логики разработан **метод моделирования ситуаций**, который позволяет добавлять модальности «возможно» и «известно» при моделировании набора архетипов, характеризующих ситуацию. В спецификацию ISO 13606 были добавлены атрибуты, позволяющие работать с модальностями при моделировании архетипов и при обработке архетипов в медицинской информационной системе.

В структуру архетипа в раздел «Определение» (definition) добавлена работа с модальностями «возможно» и «известно» для структур «Composition», «Cluster», «Element» (Рисунок 3.5). К описанию поля добавлена возможность добавлять два новых типа данных: `is_known` и `is_possible`.

**Data field** `is_known`: Boolean

**Ensure Result** = `is_known` **and not** `is_known`

**Data field** `is_possible`: Boolean

**Ensure Result** = `is_possible` **and not** `is_possible`

При анализе модели архетипа также добавлена возможность учитывать модальности на этапе анализа раздела «Определение». Это позволило автома-

тически, без предварительной подготовки работать с архетипами, при определении которых применялись модальности.

Данный метод позволяет более адекватно учесть описание предметной области экспертами. Возможность работы с модальностями была учтена при разработке редактора архетипов путем добавления их к атрибутам различных структур архетипа.

В четвертой главе приведена программная реализация методов, моделей и алгоритмов, представленных в предыдущих главах.

В результате анализа информационных потребностей пользователей и модели бизнес-процесса, а также общего описания предметной области были выделены сущности, представленные на рисунке 8.

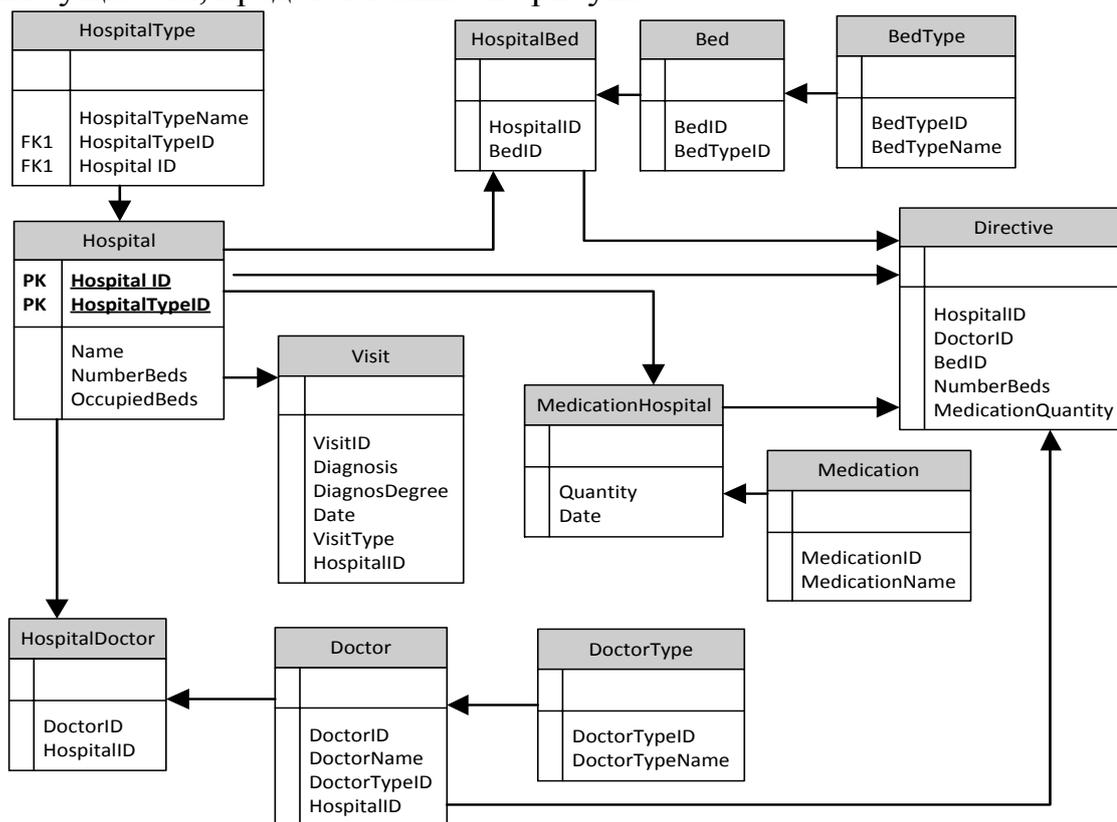


Рисунок 8 - Фрагмент схемы КИМПО для исследуемой системы

Для моделирования ситуаций разработан редактор архетипов. Основными функциями данного инструмента являются:

1. Разработка модели ситуации.
2. Установление нормальных показателей для атрибутов ситуации.
3. Описание атрибутов ситуации.

Применение для сбора данных единой концепции ситуации, соответствующей международному стандарту ISO 13606, позволяет осуществлять сбор данных для анализа текущей ситуации без дополнительных преобразований данных в ситуационном центре. В таблице 4 приведены варианты использования системы. На рисунке 9 показана функциональная структура системы:

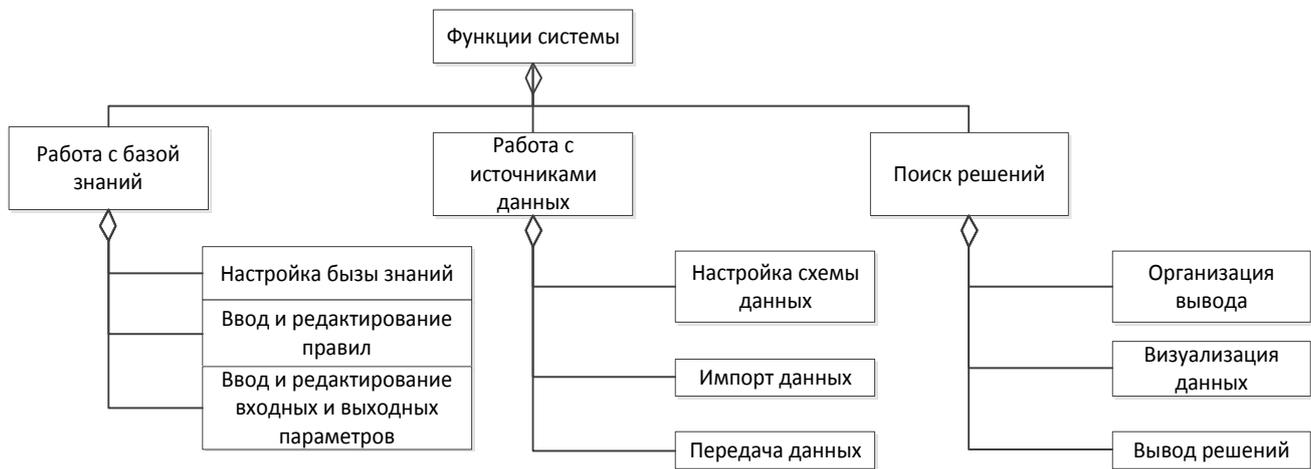


Рисунок 9 - Функциональная структура системы

Таблица 4 - Варианты использования системы

Вариант использования	Описание
Регистрация в системе	Ввод индивидуальных данных для регистрации в системе
Изменение данных	Просмотр и изменение пользовательских данных
Просмотр данных пользователей	Просмотр информации о пользователях программы клиент
Просмотр статистики	Просмотр информации о статистике, по конкретному ЛПУ
Вывод отчета	Формирование и вывод отчета по ЛПУ на экран
Печать отчета	Формирование и печать отчета по всем ЛПУ
Ввод и редактирование правил логического вывода	Руководитель при помощи администратора системы имеет возможность вводить, изменять и удалять правила логического вывода в системе.
Принятие управленческих решений	Только ЛПР имеет возможность принимать/отклонять управленческие решения, предложенные системой.
Просмотр предлагаемых решений	Администратор и ЛПР имеют возможность просматривать сгенерированные системой решения.

Далее была разработана схема взаимодействия модулей системы (рисунок 10)

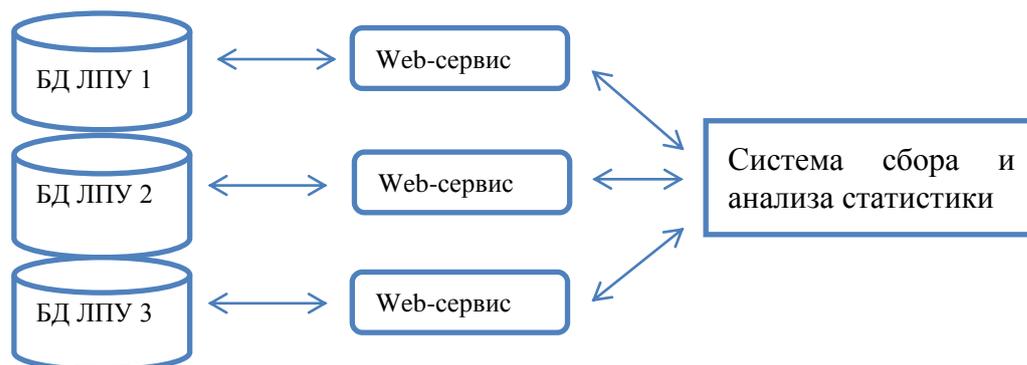


Рисунок 10 - Схема взаимодействия модулей системы

Для хранения данных была спроектирована XML-структура и утилита, работающая на стороне сервера для обеспечения совместимости данных различного формата. На стороне ЛПУ предусмотрены web-сервисы поставщики данных.

### Визуализация данных

В данной работе визуализация применяется в качестве дополнительного средства эффективного отображения и интеллектуального анализа данных для

принятия решений. В качестве инструментального средства визуализации данных использовалась системы Novospark Visualizer 2.1. Данный продукт был применен для анализа данных при внедрении и апробации системы.

### Внедрение в МЛПМУ «Больница №2»

Внедрение системы производилось в поликлиническом отделении МЛПМУ «Больница №2». Данное ЛПУ состоит из сети территориальной распределенных по городу Томску филиалов, что позволило протестировать систему обмена данных и систему поддержки принятия решений.

Основные направления внедрения системы:

1. Разработан набор данных для обмена между ситуационным центром и лечебными учреждениями. Набор данных сформирован в виде множества архетипов, моделирование которых проводилось в ранее разработанном редакторе.
2. Разработаны и установлены на серверах пользователей веб-сервисы для нормализации и экспорта данных для их последующей обработки.
3. Сформулированы правила модального логического вывода в системе.

Система была настроена на прогнозирование показателей эффективности деятельности данного лечебного учреждения. Учтены как показатели эффективности хозяйственной деятельности ЛПУ, так и показатели качества медицинской помощи.

Для оценки эффективности разработанной и внедренной системы был проведен эксперимент по измерению скорости обработки системой с использованием алгоритма упорядочивания и без него. В качестве экспериментальных данных были взяты данные электронных медицинских карт пациентов и данные о хозяйственной деятельности ЛПУ. Измерение трудоемкости обработки данных показало, что при использовании алгоритма упорядочивания, трудоемкость стремится к линейной (Рисунок 11). Для определения достоверности результатов был рассчитан коэффициент достоверности, равный 0.96.

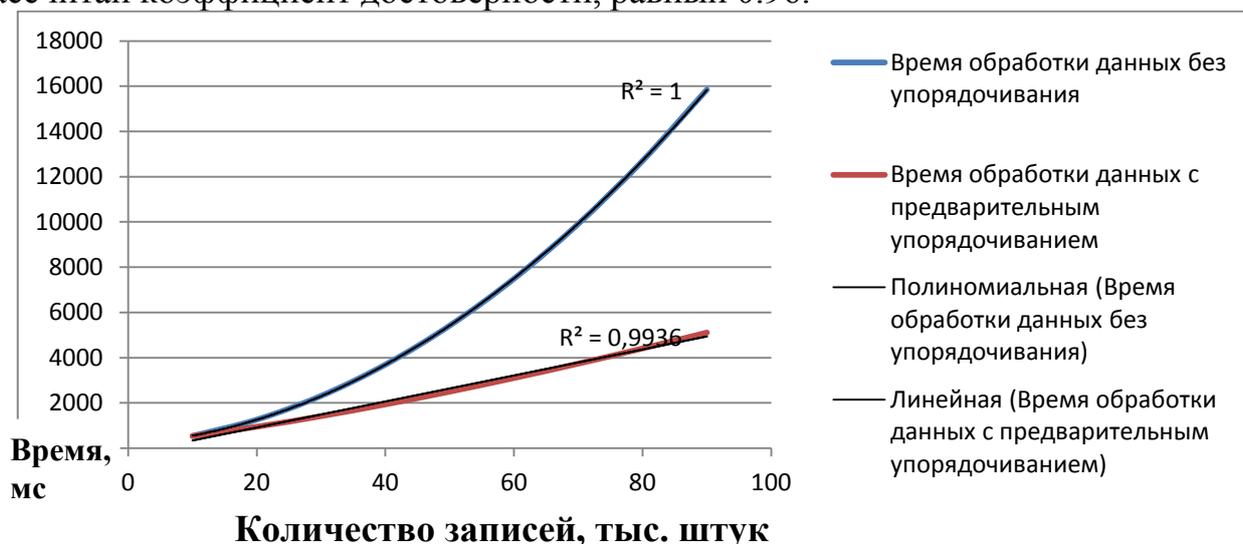


Рисунок 11 – Сравнение скорости обработки данных до и после внедрения  
Основные результаты внедрения системы в МЛПМУ "Больница №2:

1. Появилась возможность обмена данными между филиалами ЛПУ;
2. Уменьшение стоимости и времени обмена данными;
3. Применение интеллектуальной обработки данных и автоматизированной поддержки принятия решений позволило точнее прогнозировать работу ЛПУ.

## **Внедрение в системе здравоохранения города Ингольштадт, (Германия).**

Система здравоохранения «GO IN» – сообщество частнопрактикующих врачей и клиник города Ингольштадт, состоящая из врачей частной практики и 20 ЛПУ.

Основные направления внедрения системы:

1. Разработан набор данных в виде множества архетипов для обмена между ситуационным центром и лечебными учреждениями;
2. Разработаны и установлены на серверах пользователей веб-сервисы для нормализации и экспорта данных для их последующей обработки.
3. Сформулированы правила модального логического вывода в системе.

К основным результатам внедрения в системе здравоохранения GO IN относятся:

1. Появилась возможность импорта-экспорта данных между разнородными системами.
2. Уменьшение стоимости и времени обмена данными.
3. Использование интеллектуальной обработки данных и организации автоматизированной поддержки принятия решений позволила более точно прогнозировать работу системы здравоохранения.

**В Заключении** приведены выводы по полученным результатам.

**В Приложениях** приведены акты внедрения результатов диссертационной работы, свидетельство о регистрации электронного ресурса и функциональные элементы, используемые в разработанном программном комплексе.

### **Основные выводы по работе:**

1. Построена модель бизнес-процессов предметной области здравоохранения.
2. На основе модели предметной области и мнений экспертов разработаны требования к интеллектуальной информационной системе для управления сетью лечебных учреждений.
3. Проанализированы модели обработки данных и классы математических моделей описания медицинских данных, что позволило обосновать выбор модальной логики в качестве математической модели разрабатываемой интеллектуальной информационной системы, а модель данных стандарта ISO 13606 в качестве модели обработки данных.
4. Разработана математическая модель системы интеллектуальной обработки данных в рамках ситуационного центра по управлению здравоохранением, основанная на аппарате модальной логики и методе обратного вывода, позволяющая снизить трудоемкость обработки данных с экспоненциальной до полиномиальной степени 2.3 без предварительного упорядочивания и полиномиальной степени 1.2 с предварительным упорядочиванием.
5. Разработан алгоритм упорядочивания путей логического вывода для обратного вывода  $KT^{\Phi, \succ}_{inv}$ , позволяющий снизить трудоемкость обработки данных с полиномиальной со степенью 2.3 до полиномиальной со степенью 1.2.
6. Доказана теорема полноты для обратного вывода  $KT^{\Phi, \succ}_{inv}$ , что позволяет использовать данный метод для реализации достоверной системы поддержки принятия решений.
7. Разработана система оперативной обработки и интеллектуального анализа данных, использующей модальную логику, метод обратного вывода и архетипный подход, что позволило повысить эффективность обработки данных и сни-

зять время разработки при изменении набора собираемых данных. Полученные модели были реализованы в виде системы с сервис-ориентированной архитектурой с использованием технологии ADO.Net и СУБД MS SQL Server 2008.

8. Выполнена апробация разработанных моделей и алгоритмов для управления сетью ЛПУ.

#### **Основные публикации по теме диссертации:**

##### **Статьи в журналах, рекомендованных ВАК**

1. Новосельцев В.Б., Копаница Г.Д. Нецелеориентированная стратегия вывода формул в модальных исчислениях //Известия Томского политехнического университета, 2006. - т.309 - № 7. - С. 121-125.
2. Копаница Г.Д., Мещеряков Р.В. Применение разрешимых модальных формализмов для оценки информационной безопасности, Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2007. № 2. С. 11-15.

##### **Другие издания**

3. Копаница Г.Д. Стратегия организации вывода в модальном исчислении КТ, Сборник трудов сборник трудов Конференции Ломоносов 2006 Москва, С. 181-187.
4. Копаница Г.Д., Реализация систем представления и управления знаниями на базе разрешимых формализмов, Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых - Томск, 27 февраля – 1 марта 2007. - Томск: ТПУ, 2007. – С. 245–246.
5. Г.Д. Копаница Применение модели ситуационного центра для повышения качества управления бизнес-процессами в здравоохранении в масштабах региона России Молодежь и современные информационные технологии. Сборник трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». Томск, 3 - 5 марта 2010 г., ч.1. Томск: Изд-во СПб Графикс – С. 36–42
6. Г.Д. Копаница, Разработка системы мониторинга бизнес-процессов в области здравоохранения, сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции «Технологии Microsoft в теории и практике программирования», Томск 2010. – С. 169-174.
7. Г.Д. Копаница, Реализация подсистемы сбора и обработки статистики ситуационного центра «Здравоохранение», Материалы докладов Международной научно-практической конференции (13–16 октября 2010 г.). – Томск: В-Спектр, 2011:– Ч. 1. – С. 85–92.