

На правах рукописи



ФРОЛОВА МАРИЯ СЕРГЕЕВНА

**СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИЗДЕЛИЯ
МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ЛЕЧЕБНО-
ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ**

Специальность 05.13.01

Системный анализ, управление и обработка информации
(информационные технологии)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ТАМБОВ 2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ») на кафедре «Биомедицинская техника».

Научный руководитель

Строев Владимир Михайлович,
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Истомина Татьяна Викторовна,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Пензенский
государственный технологический
университет», зав. кафедрой
«Информационные технологии
и менеджмент в медицинских
и биотехнических системах»

Кутузов Денис Валерьевич,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Астраханский
государственный университет»,
доцент кафедры управления качеством

Ведущая организация

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Рязанский государственный
радиотехнический университет»

Защита состоится 10 октября 2013 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.260.07 при ФГБОУ ВПО «ТГТУ» по адресу: г. Тамбов, ул. Ленинградская, д. 1, ауд. 160.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных гербовой печатью, просим направлять по адресу: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, ФГБОУ ВПО «ТГТУ», ученому секретарю диссертационного совета Д 212.260.07.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «ТГТУ». Автореферат диссертации размещен на официальных сайтах ФГБОУ ВПО «ТГТУ» <http://www.tstu.ru> и ВАК Минобрнауки РФ <http://www.vak.ed.gov.ru>.

Автореферат разослан 6 сентября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сергей Яковлевич Егоров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности. Обеспечение достойного медицинского обслуживания населения невозможно без комплексного технического оснащения лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) изделиями медицинской техники (ИМТ). Несмотря на множество программ по модернизации здравоохранения, в большинстве ЛПУ проблема оснащения ИМТ остается нерешенной.

Выбор ИМТ – сложная задача, при решении которой надо обращаться к потребностям здравоохранения. Недостаточно обдуманый выбор ИМТ ведет к неверному использованию или к простоя ИМТ, а как следствие – к пустой трате финансовых средств.

В настоящее время оснащение и переоснащение ЛПУ дорогостоящими ИМТ во многих случаях происходит неэффективно без использования научных подходов. Известны единичные научные работы, посвященные проблемам рационального технического оснащения ИМТ ЛПУ, основанные на формализованном анализе проблемы и расчете сравнительной эффективности принятия решения.

В настоящее время отсутствует унифицированный способ выбора оптимальных ИМТ на этапе закупок. Не существует единой базы данных всех ИМТ, которая облегчила бы выбор ИМТ. Но стоит отметить, что в России внедрена Автоматизированная информационная система мониторинга ИМТ (АИС ММИ), используемая для контроля за ИМТ на этапе после поставки ИМТ в ЛПУ. Несмотря на имеющиеся достоинства АИС ММИ, эта система не позволяет на этапе планирования технического оснащения ЛПУ выбрать оптимальное ИМТ, а обеспечивает лишь оценку постпродажного состояния ИМТ. Так как выбор ИМТ для ЛПУ является сложным процессом, связанным с интеграцией и обработкой информации из различных областей знаний, то для решения этой проблемы требуется применение метода системного анализа.

В условиях, когда при закупках ИМТ имеется ограниченное время для принятия решения, актуальным является разработка системы поддержки принятия решений (СППР) выбора оптимальной модели ИМТ для ЛПУ. Эта система должна обеспечивать выбор оптимального ИМТ в соответствии с заданными критериями и оценивать потребность конкретного ЛПУ в ИМТ, принимая во внимание стоимость ИМТ. В этом случае ИМТ должно иметь заданные функции при минимальной стоимости. Внедрение указанной СППР позволит обеспечить оптимальное оснащение и переоснащение ЛПУ ИМТ, что в конечном итоге приведет к значительной экономии средств и повышению эффективности использования ИМТ.

Диссертационное исследование проводилось в соответствии с планами работ по индивидуальным грантам: стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики, проект СП-851.2012.4: «Задача выбора оптимального варианта комплексного оснащения лечебно-профилактического учреждения медицинской техникой»; совместной программы «Михаил Ломоносов» Министер-

ства образования и науки РФ и Германской службой академических обменов, проект № 10.117.2011: «Оптимальный выбор медицинской техники с учетом ее интеграции в информационную систему лечебно-профилактического учреждения», а также программы У.М.Н.И.К. Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, государственные контракты 5360p/7785, 6482p/9018: «Разработка аппаратных и программных средств в целях внедрения информационных технологий в производственный процесс».

Цель и задачи исследования. Целью исследования является разработка СППР выбора оптимальной модели ИМТ, способствующая проведению рационального технического оснащения ЛПУ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ и представить возможные пути решения проблем технического оснащения ЛПУ;
- построить систему логистических цепей поставок ИМТ от Производителя в ЛПУ с целью выявления значимого звена в процессе рационального технического оснащения ЛПУ ИМТ;
- разработать для целей создания СППР информационную модель ИМТ на основе метода объектно-ориентированной декомпозиции, представляющую собой иерархическую связанную систему классов;
- разработать на основе теоретико-множественного представления информационную модель ИМТ и технического задания на ИМТ для решения задачи многокритериального выбора оптимальной модели ИМТ;
- сформировать векторный критерий, поставить многокритериальную задачу выбора оптимальных моделей ИМТ при техническом оснащении ЛПУ и разработать алгоритм решения поставленной задачи;
- разработать на основе проведенных исследований программное обеспечение СППР выбора оптимальной модели ИМТ для ЛПУ;
- провести в качестве примера на основе созданной СППР выбор оптимальной модели биохимического анализатора.

Научная новизна:

- разработана логистическая цепь поставок ИМТ от Производителя в ЛПУ, отличающаяся представлением в единой системе всех логистических звеньев и операций, материальных, финансовых, информационных потоков процесса поставок ИМТ;
- на основе метода объектно-ориентированной декомпозиции разработана информационная модель ИМТ, отличающаяся построением структуры ИМТ в виде иерархически связанной системы классов;
- на основе теоретико-множественного представления получена информационная модель ИМТ, отличающаяся использованием для ее построения алгоритма трансформации;
- на основе информационных моделей ИМТ и технического задания на ИМТ разработан алгоритм решения многокритериальной задачи выбора оптимальной модели ИМТ, отличающийся применением метода построения области Парето с учетом балльной оценки важности каждого параметра ИМТ для потребностей лечебно-диагностического процесса в конкретном ЛПУ.

Теоретическая значимость заключается в разработке на основе методов объектно-ориентированной декомпозиции и теоретико-множественного представления информационных моделей высокотехнологичных изделий, представляющих собой сложную систему, что позволяет поставить и решить многокритериальную задачу выбора оптимального изделия с учетом потребностей заказчика.

Практическая значимость состоит в том, что разработанная СППР обеспечивает принятие оперативных решений по рациональному техническому оснащению ЛПУ. При этом, с одной стороны, выбранные с помощью СППР оптимальные модели ИМТ полностью обеспечивают потребности ЛПУ; с другой стороны, не происходит увеличение затрат на приобретение более дорогих моделей ИМТ, которые не дают преимуществ в повышении качества лечебно-диагностического процесса. Созданная СППР позволяет при планировании закупок ИМТ предупреждать ошибки, которые могут привести к значительным финансовым потерям ЛПУ и региона в целом. Результаты работы использованы на ОАО «Тулиновский приборостроительный завод «ТВЕС».

Методология и методы исследования. Для решения сформулированных задач в работе использовались методы системного анализа, теории логики, теории множеств, математической логики, теории оптимизации и принятия решений.

Положения, выносимые на защиту:

- система логистических цепей поставок ИМТ от Производителя в ЛПУ, в которой одновременно представляются все логистические звенья, операции, материальные, финансовые и информационные потоки процесса поставок ИМТ;
- информационная модель ИМТ на основе метода объектно-ориентированной декомпозиции, в которой структура ИМТ представлена в виде иерархически связанной системы классов;
- информационная модель ИМТ на основе теоретико-множественного представления, полученная путем трансформации из объектно-ориентированной модели;
- алгоритм решения многокритериальной задачи выбора оптимальной модели ИМТ, обеспечивающий построение области Парето с учетом балльной оценки важности каждого параметра ИМТ для потребностей лечебно-диагностического процесса;
- архитектура СППР, в которой совместно с базами данных используется интерактивное компьютерное моделирование, направленное на поддержку решений менеджеров и врачей, обеспечивающих процесс технического оснащения ЛПУ.

Степень достоверности исследования. Результаты, полученные в диссертационной работе, подтверждаются обоснованным и корректным применением верифицированного математического аппарата, сопоставлением теоретических результатов с данными, полученными в результате работы с созданной СППР выбора оптимальной модели ИМТ, свидетельствами о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Апробация результатов. Основные положения диссертации и отдельные ее результаты обсуждались и получили положительные отзывы на: Междуна-

родной студенческой школе-семинаре «Новые информационные технологии» (Судак, 2011, 2012, 2013); 18 Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика» (Москва, 2011); Всероссийской научной школе «Актуальные проблемы нано- и микроэлектроники» (Тамбов, 2011); XII Международной конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии» (Воронеж, 2012); XXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы» (Рязань, 2012); Всероссийской конференции студентов и молодых ученых (с международным участием) «Молодежная наука в развитии регионов» (Пермь, 2012); Всероссийской конференции «Развитие инженерного образования в России» (Санкт-Петербург, 2012); Всероссийской молодежной конференции «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы» (Йошкар-Ола, 2012); Всероссийской молодежной конференции «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине» (Саратов, 2012); XIX ежегодной конференции ECRI института «Creating «Systemness» within healthcare delivery: how Success be Proven and Shared?» (Вашингтон, 2012); Международной научной конференции «Information Technologies and Computer Systems for Medicine» (Маврикий, 2013); Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные вопросы биомедицинской инженерии» (Саратов, 2013); Международной научно-практической конференции «Наука и образование для устойчивого развития экономики, природы и общества» (Тамбов, 2013); Пятой международной конференции «Системный анализ и информационные технологии» (Красноярск, 2013).

Публикации. Материалы, отражающие основные результаты работы, представлены в 21 публикации (в том числе в 6 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, приложений; изложена на 177 страницах текста, содержит 60 рисунков и 10 таблиц. Список литературы включает 150 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, кратко описано содержание глав, приведены основные положения, выносимые на защиту, раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследования.

В первой главе «**Проблемы оснащения лечебно-профилактических учреждений медицинскими изделиями**» проанализирована используемая терминология при классификации медицинской продукции для здравоохранения, а также рассмотрены существующие российские и международные классификаторы медицинских изделий. Показано, что медицинское изделие (МИ) – общее понятие, которое включает в себя ИМТ (медицинские инструменты, медицинские приборы, медицинские аппараты, медицинское оборудование, медицинские комплексы) и изделия медицинского назначения.

Проведен анализ проблем оснащения ЛПУ МИ, на основе которого выявлены основные сложности, сдерживающие оптимальное оснащение ЛПУ, как в России, так и в мире: многообразие моделей одного вида МИ, их конфигураций и опций, сложность в оценке необходимости применения инновационных опций МИ, простой МИ в ЛПУ, неурегулированное взаимодействие врачей и чиновников при выборе МИ для ЛПУ, недостаточное постпродажное обслуживание МИ, отсутствие системы повышения квалификации персонала ЛПУ по работе с МИ и др.

С учетом того, что основную сложность при оснащении ЛПУ МИ представляет выбор оптимальных ИМТ, далее в работе рассматривается это подмножество МИ. Подмножество ИМТ является в общем объеме поставок МИ в ЛПУ экономически более значимым.

Показано, что разработка СППР выбора оптимальной модели ИМТ позволит обеспечить рациональное техническое оснащение и переоснащение ЛПУ, что в конечном итоге приведет к значительной экономии средств и повышению эффективности использования ИМТ. Рассмотрены СППР в здравоохранении и показана актуальность применения СППР для решения сложной задачи выбора оптимального ИМТ.

Установлено, что существуют работы по выбору рациональных моделей ИМТ для ЛПУ с использованием метода анализа иерархий. Однако при применении этого метода не учитываются количественные характеристики и цена ИМТ. Параметры моделей вида ИМТ сравниваются лишь качественно, что не позволяет использовать этот метод для организации поставок ИМТ в ЛПУ.

Проведен краткий обзор существующих медицинских информационных систем и описана важность интеграции ИМТ в информационную систему ЛПУ. Выявлены требования, которым должны соответствовать ИМТ при интеграции в информационную систему ЛПУ.

На основании проведенного в главе анализа сформулирована цель исследования, состоящая в разработке СППР выбора оптимальной модели ИМТ, которая способствует проведению рационального технического оснащения ЛПУ.

Во второй главе **«Системный анализ процесса поставок в лечебно-профилактическое учреждение и объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники»** построена система логистических цепей поставок ИМТ от Производителя в ЛПУ, позволяющая сделать вывод о том, что основной логистической операцией, определяющей эффективность технического оснащения ЛПУ, является составление технического задания на ИМТ. В логистической системе впервые одновременно представлены все логистические звенья и операции, материальные, финансовые, информационные потоки процесса поставок ИМТ.

Для решения этой задачи предлагается применять СППР выбора оптимальной модели вида ИМТ. На основе выбранных с использованием СППР оптимальных моделей вида ИМТ составляется техническое задание и осуществляется логистический процесс поставок ИМТ в ЛПУ.

Для создания СППР разработана информационная модель ИМТ на основе метода объектно-ориентированной декомпозиции, которая представляется в виде диаграммы классов на языке UML. Выявлены основные группы пара-

метров ИМТ, которые объединены в классы и являются общими для всех видов ИМТ (рис. 1).

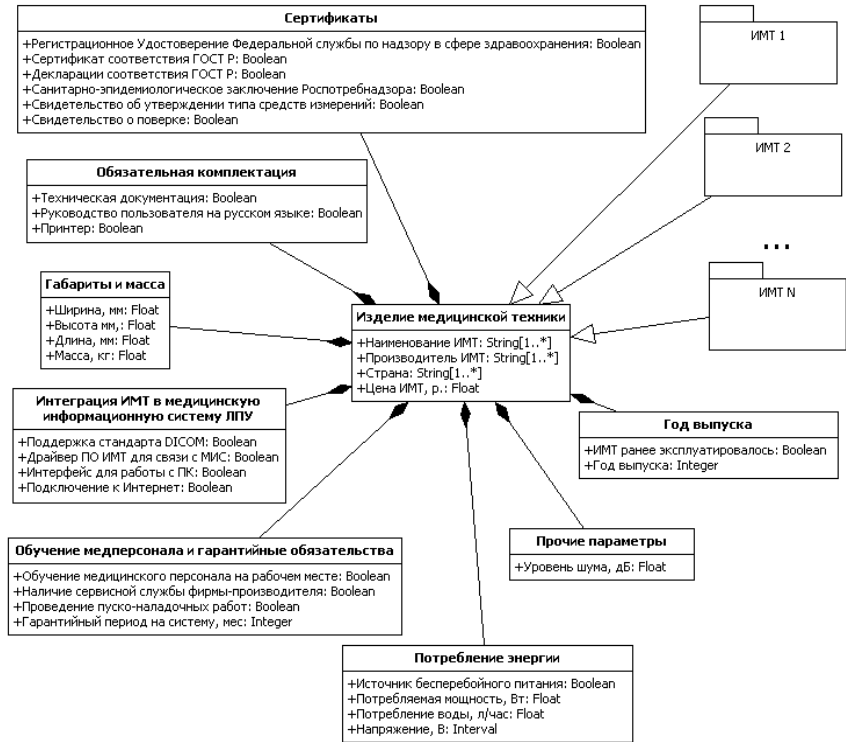


Рис. 1. Диаграмма классов «Информационная модель ИМТ»

На верхнем уровне иерархии информационной модели ИМТ находится класс «Изделие медицинской техники». В отношении композиции с классом «Изделие медицинской техники» состоят классы «Сертификаты», «Обязательная комплектация», «Обучение медперсонала и гарантийные обязательства», «Габариты и масса», «Интеграция ИМТ в медицинскую информационную систему ЛПУ», «Потребление энергии», «Год выпуска», «Прочие параметры». Класс «Сертификаты» построен в соответствии с разработанными логистическими цепями поставок ИМТ от Производителя в ЛПУ. На основе проведенного в работе исследования составлен класс «Интеграция ИМТ в медицинскую информационную систему ЛПУ».

Свойства классов (см. рис. 1) наследуют пакеты классов, которые соответствуют конкретным видам ИМТ и также представляют собой совокупность взаимосвязанных классов. На диаграмме ИМТ показаны как пакеты классов: ИМТ 1, ИМТ 2, ..., ИМТ N, которые состоят с классом «Изделие медицинской техники» в отношении обобщения.

В работе рассмотрены информационные модели в виде диаграмм классов видов ИМТ, входящие в информационную модель ИМТ в виде пакетов: информационные модели медицинского прибора (in vitro) – биохимического анализатора, медицинского прибора (in vivo) – ультразвукового диагностического аппарата, медицинского оборудования – медицинского стола.

Выявлены наиболее значимые виды ИМТ, ошибки при выборе которых могут привести к значительным финансовым потерям. Для этих видов ИМТ должны быть составлены информационные модели, которые будут являться базовыми для разработки СППР выбора оптимальной модели ИМТ.

В третьей главе **«Решение многокритериальной задачи выбора оптимальной модели изделия медицинской техники»** показано, что для формулировки и решения многокритериальной задачи выбора оптимальной модели ИМТ необходимо создать информационную модель ИМТ на основе теоретико-множественного представления. Для этого разработан алгоритм трансформации информационной модели ИМТ на основе объектно-ориентированной декомпозиции в информационную модель ИМТ на основе теоретико-множественного представления.

Информационная модель ИМТ на основе теоретико-множественного представления записывается в виде множества:

$$MD_k = \{s_k, L_k, N_k, A_k, B_k, c_k\}, \quad k = \overline{1, K}, \quad (1)$$

где s_k – параметр, определяющий наименование k -й модели вида ИМТ; L_k – множество параметров k -й модели вида ИМТ, принимающих логические значения; N_k – множество параметров k -й модели вида ИМТ, принимающих целочисленные значения; A_k – множество параметров k -й модели вида ИМТ, принимающих вещественные значения; B_k – множество параметров k -й модели вида ИМТ, принимающих интервальные значения; c_k – вещественный параметр, определяющий стоимость k -й модели вида ИМТ. Здесь k – номер модели вида ИМТ; K – количество моделей вида ИМТ.

Множество L_k представляется в виде последовательности кортежей:

$$L_k = \{\langle \tilde{l}_1^k, l_1^k \rangle, \dots, \langle \tilde{l}_f^k, l_f^k \rangle, \dots, \langle \tilde{l}_F^k, l_F^k \rangle\}, \quad (2)$$

где $\langle \tilde{l}_f^k, l_f^k \rangle$ – кортеж, в котором для k -й модели вида ИМТ переменная \tilde{l}_f^k является именем f -го параметра; переменная l_f^k определяет значение f -го параметра и принимает логическое значение «true», если параметр \tilde{l}_f^k присутствует в k -й модели вида ИМТ, «false» – если этот параметр отсутствует.

Множество N_k представляется в виде последовательности кортежей:

$$N_k = \{\langle \tilde{n}_1^k, x_1^k \rangle, \dots, \langle \tilde{n}_g^k, x_g^k \rangle, \dots, \langle \tilde{n}_G^k, x_G^k \rangle\}, \quad (3)$$

где $\langle \tilde{n}_g^k, x_g^k \rangle$ – кортеж, в котором для k -й модели вида ИМТ переменная \tilde{n}_g^k является именем g -го параметра; переменная x_g^k принимает целочисленное значение, соответствующее g -му параметру k -й модели вида ИМТ 2 группы (множество N_k).

Множество A_k представляется в виде последовательности кортежей:

$$A_k = \{ \langle \tilde{a}_1^k, y_1^k \rangle, \dots, \langle \tilde{a}_h^k, y_h^k \rangle, \dots, \langle \tilde{a}_H^k, y_H^k \rangle \}, \quad (4)$$

где $\langle \tilde{a}_h^k, y_h^k \rangle$ – кортеж, в котором для k -й модели вида ИМТ переменная \tilde{a}_h^k является именем h -го параметра; переменная y_h^k принимает вещественное значение, соответствующее h -му параметру k -й модели вида ИМТ 3 группы (множество A_k).

Множество B_k представляет последовательность кортежей:

$$B_k = \{ \langle \tilde{b}_1^k, [z]_1^k \rangle, \dots, \langle \tilde{b}_p^k, [z]_p^k \rangle, \dots, \langle \tilde{b}_p^k, [z]_p^k \rangle \}, \quad (5)$$

где $\langle \tilde{b}_p^k, [z]_p^k \rangle$ – кортеж, в котором для k -й модели вида ИМТ переменная \tilde{b}_p^k является именем p -го параметра; интервальная переменная $[z]_p^k$ характеризуется двумя значениями: \underline{z}_p^k и \overline{z}_p^k , соответственно целочисленным или вещественным значением нижней границы параметра $[z]_p^k$, переменная $[z]_p^k$ принимает интервальное значение, соответствующее p -му параметру k -й модели вида ИМТ 4 группы (множество B_k).

Таким образом, сформировав множество (1) путем присвоения переменным модели конкретных значений, получим информационную модель (1) – (5) вида ИМТ на основе теоретико-множественного представления.

Для формулирования задачи выбора оптимальной модели вида ИМТ из множества возможных моделей, число которых равно K , необходимо представить техническое задание на ИМТ. Предлагается построить в виде информационной модели единый шаблон технического задания на ИМТ для целей технического оснащения ЛПУ.

Информационную модель технического задания определенного вида ИМТ будем представлять в виде множества:

$$T = \{ L^T, N^T, A^T, B^T \}. \quad (6)$$

Здесь установлено соответствие между множествами k -й модели вида ИМТ и техническим заданием. Множество L_k соответствует L^T , N_k – N^T ,

$A_k - A^T$, $B_k - B^T$, для всех $k = \overline{1, K}$, т.е. параметры k -й модели вида ИМТ соответствуют параметрам технического задания.

Множество L^T представляется в виде последовательности кортежей:

$$L^T = \left\{ \langle l_1^T, \lambda_1^L \rangle, \dots, \langle l_f^T, \lambda_f^L \rangle, \dots, \langle l_F^T, \lambda_F^L \rangle \right\}. \quad (7)$$

Логическая переменная l_f^T определяет наличие f -го параметра в техническом задании. Выполнение равенства $l_f^T = \langle \text{true} \rangle$ означает, что f -й параметр присутствует в техническом задании. Коэффициент λ_f характеризует в техническом задании степень необходимости наличия f -го параметра в выбираемой модели рассматриваемого вида ИМТ, $f = \overline{1, F}$. Условимся степень необходимости наличия f -го параметра определять по следующей шкале. Коэффициент λ_f может принимать значения $\lambda_f^L = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$. Равенство означает: $\lambda_f^L = 0$ – наличие f -го параметра в ИМТ безразлично для заказчика; $\lambda_f^L = 1$ – малая значимость f -го параметра; $\lambda_f^L = 5$ – большая значимость f -го параметра. Равенство $\lambda_f^L = 6$ определяет строгую необходимость наличия f -го параметра при выборе вида ИМТ для ЛПУ. Градация значений λ_f^L в промежутке от 2 до 4 ($\lambda_f^L = 2, 3, 4$) означает степень значимости наличия для заказчика f -го параметра в выбираемой модели вида ИМТ, которая определяется на основе субъективных оценок лицом, принимающим решение о выборе оптимальной модели.

Множество N^T представляется в виде последовательности кортежей:

$$N^T = \left\{ \langle x_1^T, \sigma_1, \lambda_1^N \rangle, \dots, \langle x_g^T, \sigma_g, \lambda_g^N \rangle, \dots, \langle x_G^T, \sigma_G, \lambda_G^N \rangle \right\}. \quad (8)$$

Переменная x_g^T есть численная характеристика g -го параметра, больше, равно или меньше которой не должен быть параметр выбираемой модели вида ИМТ, $g = \overline{1, G}$. Параметр σ_g конкретизирует понятия «не больше», «равно», «не меньше»:

$$\sigma_g = \begin{cases} -1, & x_g^k \leq x_g^T \\ 0, & x_g^k = x_g^T, \quad k = \overline{1, K}. \\ 1, & x_g^k \geq x_g^T \end{cases} \quad (9)$$

Переменная λ_g^N определяет степень необходимости использования g -го параметра в ИМТ ($\lambda_g^N = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$).

Множество A^T представляется в виде последовательности кортежей:

$$A^T = \left\{ \left\langle y_1^T, \gamma_1, \lambda_1^A \right\rangle, \dots, \left\langle y_h^T, \gamma_h, \lambda_h^A \right\rangle, \dots, \left\langle y_H^T, \gamma_H, \lambda_H^A \right\rangle \right\}. \quad (10)$$

Параметры y_h^T , γ_h , λ_h^A определяются аналогично, как в (8), (9), $h = \overline{1, H}$.

Множество B^T представляется в виде последовательности кортежей:

$$B^T = \left\{ \left\langle [z]_1^T, \mu_1, \lambda_p^B \right\rangle, \dots, \left\langle [z]_p^T, \mu_p, \lambda_p^B \right\rangle, \dots, \left\langle [z]_P^T, \mu_P, \lambda_P^B \right\rangle \right\} \quad (11)$$

Интервальная переменная $[z]_p^T$ определяет заданный интервал изменения p -го интервального параметра технического задания на ИМТ, $p = \overline{1, P}$.

Здесь переменная λ_p^B выполняет такую же роль, как переменные $\lambda_f^L, \lambda_g^N, \lambda_h^A$.

Параметр μ_p конкретизирует понятия «не больше», «равно», «не меньше»:

$$\mu_p = \begin{cases} -1, & [z]_p^k \subseteq [z]_p^T \\ 0, & [z]_p^k = [z]_p^T, \quad k = \overline{1, K} \\ 1, & [z]_p^k \supseteq [z]_p^T \end{cases} \quad (12)$$

Критерий выбора оптимальной модели вида ИМТ имеет векторную форму:

$$\bar{I}(k) = (I_1(k), I_2(k)). \quad (13)$$

Критерий $I_1(k)$ характеризует функциональность k -й модели вида ИМТ и определяется как сумма, каждое слагаемое которой характеризует одну из четырех групп параметров выбираемой модели и технического задания ИМТ: логические, целочисленные, вещественные и интервальные значения:

$$I_1(k) = \sum_{f=1}^F \lambda_f^L \delta_f^L(k) + \sum_{g=1}^G \lambda_g^N \delta_g^N(k) + \sum_{h=1}^H \lambda_h^A \delta_h^A(k) + \sum_{p=1}^P \lambda_p^B \delta_p^B(k), \quad k = \overline{1, K}, \quad (14)$$

$$\text{где} \quad \delta_i^j(k) = \begin{cases} 1, & \text{если } (\lambda_i^j \neq 6) \wedge (T_i^j(k) = \text{"true"}); \\ \Psi, & \text{если } (\lambda_i^j = 6) \wedge (T_i^j(k) = \text{"false"}); \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (15)$$

здесь $(i, j) \in \{(f, L), (g, N), (h, A), (p, B)\}$, $f = \overline{1, F}$, $g = \overline{1, G}$, $h = \overline{1, H}$, $p = \overline{1, P}$.

Для определения составляющих критерия (15) вводится логическая переменная $T_i^j(k)$, которая принимает значение «true», если для k -й модели вида ИМТ для i -го параметра вида j выполняются условия технического задания, иначе выполняется равенство $T_i^j(k) = \text{«false»}$. При невыполнении обязательных условий технического задания: $\lambda_i^j = 6$ – значение штрафа равно очень большому отрицательному числу $\Psi = -10^6$.

Таким образом, критерий (14), (15) характеризует функциональные возможности модели MD_k , которые определяются своим численным значением. Эта численная характеристика формируется на основе требований лица, принимающего решение по техническому оснащению ЛПУ.

Критерий $I_2(k)$ определяет цену k -й модели вида ИМТ ($k = \overline{1, K}$):

$$I_2(k) = c_k. \quad (16)$$

Задача выбора оптимальной модели вида ИМТ формулируется следующим образом: для принятого к рассмотрению технического задания, определяемого множеством $T = \{L^T, N^T, A^T, B^T\}$, необходимо найти такую модель вида ИМТ MD_k^* из всего множества моделей $\{MD_1, MD_2, \dots, MD_k, \dots, MD_K\}$, для которой достигается оптимальное значение критерия $\overline{I}(k)$:

$$\overline{I}^*(k^*) = \underset{k=\overline{1, K}}{\text{opt}} (I_1(k), I_2(k)). \quad (17)$$

Для решения многокритериальной задачи (13) – (17) используется принцип Парето:

$$I_1(k') \geq I_1(k^*), I_2(k') < I_2(k^*) \text{ или } I_1(k') > I_1(k^*), I_2(k') \leq I_2(k^*). \quad (18)$$

Неравенство (18) формализует принцип оптимальности Парето, т.е. для оптимального решения: оптимальной k^* -й модели вида ИМТ не существует другой k' -й модели вида ИМТ, в которой при таких же функциональных возможностях, т.е. $I_1(k') = I_1(k^*)$, или лучших функциональных возможностях, $I_1(k') \geq I_1(k^*)$, была бы меньше цена $I_2(k') < I_2(k^*)$.

Алгоритм решения многокритериальной задачи (13) – (17) выбора оптимальной модели вида ИМТ состоит из следующих этапов. На первоначальном этапе осуществляется ввод всех параметров всего множества моделей $\{MD_1, \dots, MD_k, \dots, MD_K\}$ вида ИМТ. Далее формируется техническое задание $T = \{L^T, N^T, A^T, B^T\}$. После этого определяется начальное значение I_2^0 критерия $I_2(k)$ и задается шаг ΔI_2 изменения критерия $I_2(k)$. Для этого вычисляется минимально возможное значение критерия $I_2(k)$ как нижняя граница множества: $I_2^{\min} = \inf \{c_1, \dots, c_k, \dots, c_K\}$, тогда начальное значение определяется как сумма: $I_2^0 = I_2^{\min} + \Delta I_2$. После этого находится k^* -я модель вида ИМТ, которая имеет лучший критерий $I_1(k)$ для всех моделей ИМТ: MD_k , для которых $I_2(k) \leq I_2^0$. Если выполняются обязательные требования технического задания, т.е. $\Psi = 0$, то проводится запоминание модели MD_k^* и критерия $I_1^*(k^*)$ в область Парето. Далее с шагом ΔI_2 изменяется критерий $I_2(k)$

от начального I_2^0 до своего конечного заданного значения I_2^{\max} , которое находится как верхняя граница множества: $I_2^{\max} = \sup\{c_1, \dots, c_k, \dots, c_K\}$. Для каждой итерации определяется k^* -я модель вида ИМТ, которая имеет лучший критерий $I_1(k)$ для всех моделей ИМТ MD_k , находящихся в диапазоне шага ΔI_2 . Если эта k^* -я модель удовлетворяет принципу Парето (16) и выполняются обязательные требования технического задания, т.е. $\Psi = 0$, то проводится запоминание в область Парето модели MD_k^* и критерия $I_1^*(k^*)$. Модель k^* определяет точку области Парето. Далее выбирается новая большая цена ИМТ, т.е. критерий $I_2(k)$ увеличивается на шаг ΔI_2 . Аналогично определяется новая оптимальная по Парето k^* -я модель. Построение области Парето заканчивается тогда, когда будет достигнута максимально возможная цена вида ИМТ: граница I_2^{\max} изменения критерия $I_2(k)$. В результате работы алгоритма определяется множество моделей вида ИМТ, образующих область Парето, которые являются основой подготовки документации для проведения торгов в соответствии с Федеральным законом № 94-ФЗ. На основе области Парето по предложенному в работе алгоритму формируется техническое задание на проведение закупок ИМТ согласно рекомендациям Федеральной антимонопольной службы РФ.

В четвертой главе «Практическая реализация системы поддержки принятия решений выбора оптимальной модели изделия медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения» построена архитектура СППР выбора оптимальной модели ИМТ, представляющая собой диалоговую автоматизированную информационную систему (рис. 2).

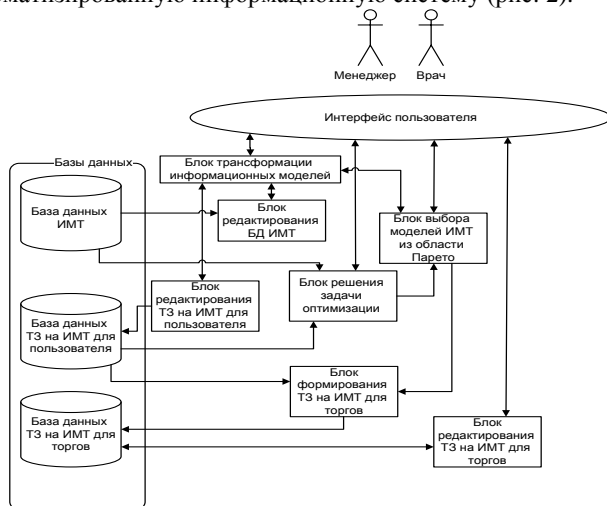


Рис. 2. Архитектура СППР выбора оптимальной модели ИМТ для ЛПУ

В СППР совместно с базами данных (см. рис. 2) используется интерактивное компьютерное моделирование, направленное на поддержку решений менеджеров и врачей, обеспечивающих процесс технического оснащения ЛПУ. Предложенная СППР есть человеко-машинная система, где важной составляющей является интерфейс пользователя. Панели редактирования баз данных ИМТ и технического задания пользователя в СППР организованы в соответствии с диаграммой классов «Информационная модель ИМТ».

Задача выбора оптимальной модели ИМТ в работе решена на примере биохимического анализатора. Для этого в базу данных ИМТ были занесены параметры 207 моделей биохимических анализаторов. На панели СППР было сформировано техническое задание на биохимический анализатор: заданы необходимость наличия каждого параметра и пределы его численных значений. Степень необходимости присутствия параметра в выбираемой модели определялась числом баллов лицами, принимающими решение о техническом оснащении ЛПУ: менеджерами по закупкам и врачами биохимической лаборатории. Построенная на основе СППР область Парето представлена на рис. 3.

На основе выбранных пользователем из области Парето трех наиболее подходящих для рассматриваемого ЛПУ биохимических анализаторов: анализатор биохимический автоматический Cobas с 311, анализатор биохимический ILab 650, анализатор биохимический AU480 – в СППР было сгенерировано техническое задание на торги и определена начальная цена контракта, равная 4 070 000 рублей.



Рис. 3. Область Парето оптимальных моделей биохимических анализаторов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты, полученные в диссертации, позволяют сформулировать следующие выводы.

1. Проведен глубокий анализ мировых и отечественных проблем технического оснащения ЛПУ ИМТ, в котором показано, что основную часть проблем может решить СППР выбора оптимальной модели ИМТ.

2. Построены логистические цепи поставок ИМТ от Производителя в ЛПУ, в которых одновременно представляются все логистические звенья и операции, материальные, финансовые и информационные потоки процесса поставок ИМТ. Логистическая система позволяет сделать вывод о том, что основной логистической операцией, определяющей эффективность технического оснащения ЛПУ, является составление технического задания на ИМТ.

3. На основе метода объектно-ориентированной декомпозиции разработана информационная модель ИМТ, представляющая собой иерархическую связанную систему классов.

4. Разработан алгоритм трансформации информационной модели ИМТ на основе объектно-ориентированной декомпозиции в информационную модель ИМТ на основе теоретико-множественного представления.

5. Построена информационная модель технического задания на ИМТ, которая учитывает требования лица, принимающего решения по техническому оснащению ЛПУ.

6. Сформирован векторный критерий выбора оптимальной модели вида ИМТ, включающий две составляющие, которые характеризуют выполнение технического задания, функциональность и стоимость модели вида ИМТ.

7. Сформулирована многокритериальная задача выбора оптимальной модели вида ИМТ на базе информационных моделей ИМТ и технического задания на ИМТ, а также сформированного векторного критерия оптимизации.

8. Разработан алгоритм решения многокритериальной задачи выбора оптимальной модели вида ИМТ, результатом выполнения которого является множество оптимальных моделей вида ИМТ, образующих область Парето.

9. Разработана архитектура СППР, включающая взаимодействующие с базами данных расчетные блоки и интерфейс пользователя и направленная на поддержку решений менеджеров и врачей, обеспечивающих процесс технического оснащения ЛПУ.

10. Разработано программное обеспечение СППР выбора оптимальной модели ИМТ для ЛПУ.

11. В качестве примера на основе созданной СППР проведен выбор оптимальной модели биохимического анализатора для требований конкретного ЛПУ и сформировано техническое задание на торги в соответствии с требованиями Федерального закона № 94-ФЗ и Федеральной антимонопольной службы.

12. Разработанная СППР выбора оптимальной модели вида ИМТ может быть использована в учреждениях здравоохранения для оперативного планирования технического оснащения ЛПУ, а также для нужд производителей и торговых посредников в целях проектирования новых моделей ИМТ, анализа рынка, планирования поставок.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из перечня ВАК:

1. Фролова, М.С. Разработка программно-аппаратного комплекса «Здоровый ребенок» для автоматизации работы врача-педиатра / М.С. Фролова, Д.Н. Труфанов // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2008. – № 46. – С. 90 – 96.
2. Фролова, М.С. Логистическая система поставок медицинского оборудования / М.С. Фролова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 615 – 628.
3. Фролова, М.С. К вопросу о выборе оптимальной модели медицинского оборудования / М.С. Фролова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2011. – № 2(33). – С. 136 – 145.
4. Фролова, М.С. Построение логистических цепей поставок медицинского оборудования / М.С. Фролова, В.М. Строев, А.Ю. Куликов // Логистика и управление цепями поставок. – 2011. – № 2(43). – С. 7 – 18.
5. Фролова, М.С. Проблемы комплексного технического оснащения лечебно-профилактических учреждений / М.С. Фролова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18, № 4. – С. 869 – 875.
6. Фролова, М.С. Современные способы классификации медицинских изделий / М.С. Фролова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2013. – № 1(45). – С. 26 – 36.

Материалы научных конференций:

7. Фролова, М.С. Постановка и решение задачи выбора оптимальной модели медицинского оборудования / М.С. Фролова // Новые информационные технологии : тез. докл. XIX Междунар. студенческой школы-семинара. – М. : МГИЭМ, 2011. – С. 127–128.
8. Фролова, М.С. Многокритериальная задача выбора оптимальной модели медицинского оборудования / М.С. Фролова // Микроэлектроника и информатика : материалы 18 Всерос. межвуз. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – М. : МИЭТ, 2011. – С. 331–332.
9. Фролова, М.С. Задача выбора электронного медицинского оборудования / М.С. Фролова // Актуальные проблемы нано- и микроэлектроники : тез. докл. Всерос. науч. школы. – Тамбов, 2011. – С. 230 – 232.
10. Фролова, М.С. Информационная система оптимального оснащения лечебно-профилактического учреждения медицинским оборудованием / М.С. Фролова // Информатика: проблемы, методология, технологии : материалы XII Междунар. конф. – Воронеж, 2012. – С. 420 – 422.
11. Фролова, М.С. Постановка задачи оптимального выбора для ЛПУ медицинского оборудования с учетом интеграции в медицинскую информационную систему / М.С. Фролова // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы : материалы XXIV Всерос. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – Рязань, 2012. – С. 73 – 78.
12. Фролова, М.С. Оптимальный выбор медицинской техники с учетом ее интеграции в информационную систему лечебно-профилактического учреждения / М.С. Фролова // Молодежная наука в развитии регионов : материалы Всерос. конф. студентов и молодых ученых (с международным участием). – Пермь : Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2012. – С. 15 – 17.

13. Фролова, М.С. Информационная система автоматизированного выбора оптимальной модели медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения / М.С. Фролова // Развитие инженерного образования в России : материалы Всерос. конф. – СПб., 2012. – С. 112.

14. Фролова, М.С. Оптимальный выбор медицинской техники с учетом ее интеграции в медицинскую информационную систему / М.С. Фролова // Новые информационные технологии : тез. докл. XX Междунар. студенческой школы-семинара. – М. : МГИЭМ, 2012. – С. 284–285.

15. Фролова, М.С. Построение информационной модели медицинской техники / М.С. Фролова // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы : тез. докл. Всерос. молодежной конф. – Йошкар-Ола : Марийский государственный технический университет, 2012. – С. 155 – 157.

16. Фролова, М.С. Решение задачи оптимального выбора медицинской техники для поставки в лечебно-профилактическое учреждение / М.С. Фролова // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине 2012 : тез. докл. Всерос. молодежной конф. – Саратов : Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, 2012. – С. 285–286.

17. Фролова, М.С. Main Principles of Integration of Medical Devices and Medical Information Systems / М.С. Фролова // Information Technologies and Computer Systems for Medicine : материалы Междунар. науч. конф. – Маврикий, 2013. – С. 64–65.

18. Фролова, М.С. Анализ проблем оснащения лечебно-профилактических учреждений медицинскими изделиями / М.С. Фролова // Новые информационные технологии : тез. докл. XXI Междунар. студенческой школы-семинара. – М. : МГИЭМ, 2013. – С. 226–227.

19. Фролова, М.С. Медицинские изделия: проблемы и решения при оснащении лечебно-профилактического учреждения / М.С. Фролова // Актуальные вопросы биомедицинской инженерии : тез. докл. Всерос. молодежной науч. конф. – Саратов, 2013. – С. 570 – 577.

20. Фролова, М.С. Возможности интеграции медицинской техники в информационную систему лечебно-профилактического учреждения / М.С. Фролова // Наука и образование для устойчивого развития экономики, природы и общества : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов, 2013. – Т. 3. – С. 405 – 415.

21. Фролова, М.С. Система поддержки принятия решений выбора оптимальной модели изделия медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения / М.С. Фролова // Системный анализ и информационные технологии : тез. докл. Пятой междунар. конф. – М. : Институт системного анализа Российской академии наук, 2013.

Авторские свидетельства Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам:

22. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012616725. Информационная модель медицинского прибора (аппарата) / М.С. Фролова. – 21 сентября 2012 г.

23. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012618633. Решение задачи многокритериальной оптимизации выбора модели медицинского прибора (аппарата) / М.С. Фролова. – 21 сентября 2012 г.

24. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013611505. Решение задачи оптимального оснащения лечебно-профилактического учреждения медицинской техникой с учетом ее интеграции в информационную систему / М.С. Фролова. – 22 января 2013 г.

Подписано в печать 04.09.2013.
Формат 60×84/16. 0,93 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 398

Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14