



УДК 004.89:61

© 2017 г. **В.В. Грибова<sup>1</sup>**, д-р техн. наук,  
**М.В. Петряева<sup>1</sup>**, канд. мед. наук,  
**Д.Б. Окунь<sup>1</sup>**, канд. мед. наук,  
**Д.А. Краснов<sup>2</sup>**,  
**Г.Е. Островский<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток,  
<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток)

## ПРОГРАММНАЯ ОБОЛОЧКА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ПРАКТИЧЕСКОЙ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ МЕДИЦИНЕ\*

В работе рассматривается специализированная облачная оболочка для разработки медицинских экспертных систем и компьютерных тренажеров. Особенностью оболочки является использование специализированных онтологий для формирования баз знаний, не зависящих от раздела медицины.

**Ключевые слова:** медицинские интеллектуальные системы, оболочка экспертных систем, онтология, база знаний, тренажер виртуального пациента.

DOI: 10.22250/isu.2017.54.114-124

### Введение

В настоящее время в мире сложилась ситуация, когда объем медицинских знаний удваивается ежегодно, а средства адаптации этих знаний к практическому использованию разработаны недостаточно.

В современном мире существуют и постоянно разрабатываются различные классы медицинских интеллектуальных систем (ИС), такие как: экспертные системы для диагностики заболеваний (одного или группы) и назначения лечения [1 – 7], виртуальные медицинские симуляторы-тренажеры [8, 9] для отработки теоретических и практических навыков обучающихся и др. Однако такие системы существуют разрозненно, базы данных и знаний, как правило, недоступны экс-

\* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проекты 17-07-00956-а и 16-07-00340-а.

пертам предметной области для просмотра и модификации, что значительно снижает доверие к ним и делает невозможным своевременное внесение необходимых изменений (дополнение знаний в связи изменением предметной области, исправление ошибок и неточностей).

Учитывая сложность создания ИС, для снижения трудоемкости их разработки и сопровождения традиционно используются оболочки, каждая из которых предлагает разработчику систему управления базами знаний, основанную на некоторой модели представления знаний, и решатель задач, который реализует алгоритм обработки знаний и данных. Создание (сопровождение) ИС с помощью оболочки сводится к формированию (модификации) базы знаний через систему управления базами знаний и связывание ее с решателем задач.

Большинство оболочек, реализованных к настоящему времени, являются проблемно-независимыми. Их достоинством является универсализм – потенциальная возможность использования для создания интеллектуальных систем, предназначенных для решения широкого круга задач в различных предметных областях. В то же время разработка и сопровождение ИС с помощью проблемно-независимой оболочки часто оказываются трудоемкими и интеллектуально сложными [10].

Проблемно-ориентированные (или специализированные) оболочки, как правило, имеют более узкую область применения, чем проблемно-независимые. Однако создание и сопровождение ИС для задач и предметных областей, на которые ориентирована такая оболочка, имеют меньшую трудоемкость и интеллектуальную сложность, что делает их более жизнеспособными [11, 12].

Целью работы является описание специализированной программной оболочки, для создания медицинских интеллектуальных систем в практической медицине и образовании, основанных на совместно используемых базах знаний и данных.

### **Основные принципы создания программной оболочки и ее концептуальная архитектура**

Программная оболочка для создания медицинских интеллектуальных систем для практической и образовательной медицины представляет собой интегрированную среду, обеспечивающую поддержку создания следующих типов интеллектуальных систем: диагностика и дифференциальная диагностика заболеваний, назначение лечения, его прогноз и мониторинг, а также компьютерные тренажеры для диагностики и назначения лечения.

В качестве средства реализации оболочки используется платформа IASPaas [13]. Она представляет собой программно-информационный интернет-комплекс

для обеспечения поддержки разработки, управления и удаленного использования прикладных и системных мультиагентных облачных сервисов (прежде всего интеллектуальных) и их компонентов. Комплекс основан на технологии облачных вычислений и обеспечивает удаленный доступ конечным пользователям к интеллектуальным системам, а разработчикам и управляющим – к средствам их создания и управления.

Система управления базами знаний основана на проблемно-ориентированной модели представления знаний и данных, учитывающей специфику данной предметной области (медицины). Она содержит набор онтологий для формирования баз знаний и баз данных. Каждая онтология представляет собой систему понятий, понятную экспертам в области медицины, в терминах которой они могут формировать базы знаний и базы данных без посредников в лице инженеров знаний и системных аналитиков. Онтологии имеют графовое представление с циклами и петлями.

Особенностью оболочки является общий набор онтологий и, соответственно, формируемых по ним базам знаний и данных, которые повторно будут использоваться в медицинских интеллектуальных системах различных типов. Все онтологии не зависят от раздела медицины.

Для формирования баз знаний и данных используется набор редакторов, управляемых онтологиями. Система управления базами знаний и решатели задач являются облачными, что дает, во-первых, возможность разработки баз знаний и данных всем заинтересованным сообществам, независимо от географического положения, во-вторых, интеллектуальные системы, созданные на основе предлагаемой оболочки, также являются облачными, что расширяет круг их потенциальных пользователей.

Решатели задач имеют формальные параметры. Имени формального параметра соответствует онтология знаний или данных. Создание интеллектуального сервиса на основе оболочки состоит в формировании с помощью системы управления базами знаний необходимых баз знаний и данных – фактических параметров, соответствующих формальным параметрам решателя, и сборке из них и решателя интеллектуального сервиса. На рис. 1 представлена концептуальная архитектура оболочки.

### **Создание экспертных систем по диагностике и дифференциальной диагностике заболеваний**

Создание экспертной системы по диагностике и дифференциальной диагностике заболеваний сводится к созданию (либо повторному использованию) следующих баз знаний и баз данных: базы медицинской терминологии и наблюдений, баз(ы) знаний по диагностике заболевания(й), для которого(ых) строится

экспертная система, а также историй болезни, подлежащих диагностике.



Рис. 1. Концептуальная архитектура оболочки для создания интеллектуальных систем в практической и образовательной медицине.

База медицинской терминологии и наблюдений является универсальным ресурсом, применяемым для формирования различных баз наблюдений и баз знаний, используемых в интеллектуальных системах. База сформирована [14] на основе метаинформации «Онтология базы медицинской терминологии и наблюдений».

В разделе «Термины» описаны основные разделы медицины: анатомия, физиология, патология, фармакология, патогенные факторы, методы лечения, продукты питания, единицы измерения. Каждый раздел включает подразделы, – например, раздел анатомия включает: нормальную анатомию человека, патологическую анатомию человека, топографическую анатомию; раздел физиология – возрастную физиологию, физиологические процессы и т.д.

Подразделы могут включать, в свою очередь, дополнительные подразделы. Внутри подраздела последнего уровня присутствуют понятия *группа терминов* и *термины*. Раздел «Наблюдения» включает подразделы: события, признаки, фак-

торы. События обозначают понятия, соответствующие событиям, которые могут происходить с пациентом до заболевания и являются причиной заболевания. Они описаны в терминах *группа событий* и *событие*. Жалобы, данные объективного исследования, лабораторные и инструментальные исследования являются признаками заболеваний, они описаны в онтологических терминах: *группа признаков*, *признак*, *характеристика*, *значение*. Признаки описываются совокупностью *возможных значений*, которые могут быть: качественными, числовыми, интервальными (задаются набором значений, каждое из которых задается нижней и верхней границами) и составными. Каждое составное значение есть характеристика, которая в свою очередь описывается аналогичной совокупностью возможных значений. Факторы – это класс понятий, соответствующий внешним условиям и анатомо-физиологическим особенностям пациента, которые могут повлиять на течение и исход заболевания. Они описаны в терминах *группа факторов* и *фактор*.

*Онтология баз знаний о заболеваниях и синдромах* описывает клиническую картину заболеваний и синдромов, которая состоит из описания *клинических проявлений*, строящихся на основе соответствующих признаков. Признаки описаны в зависимости от *периода динамики* заболевания, характеристики в соответствии с *вариантом динамики*. Характеристики имеют *значения* и *модальность*. Значение характеристики может измениться *под воздействием события* или *условия на воздействующий фактор*. Такая онтология позволяет описывать заболевания как сложные процессы, развивающиеся во времени, в соответствии с современными медицинскими представлениями. В разработанной онтологии используются термины *группы заболеваний* и *заболевания*, *группы синдромов* и *синдромы* соответственно системной патологии: заболевания органов дыхания, заболевания органов пищеварения, заболевания сердца и сосудов; синдромы заболеваний органов дыхания, синдромы заболеваний органов пищеварения и т.д. К настоящему времени на основе данной онтологии разработаны следующие базы знаний: заболевания органов дыхания (бронхиальная астма, пневмония), заболевания органов пищеварения (язвенная болезнь, острый аппендицит, острый и хронический панкреатит, острый и хронический колит), заболевания глаза (конъюнктивиты, кератиты, глаукома) и др. [15 – 18].

*Онтология базы историй болезни* описывает данные о пациенте в соответствии со структурой традиционной истории болезни и включает разделы: паспортная часть, жалобы пациента при поступлении, жалобы пациента до поступления, история заболевания, история жизни, общий осмотр, дневники ведения пациента, диагноз. Компьютерный диагноз, который вычисляет система, включает подразделы: подтвержденные гипотезы о диагнозе, опровергнутые гипотезы о диагнозе. Онтология ссылается (использует) на термины базы медицинской терминологии и наблюдений.

Для формирования баз знаний и данных для экспертных систем по диагностике и дифференциальной диагностике заболеваний используется набор редакторов: *редактор баз медицинской терминологии и наблюдений, редактор баз знаний о заболеваниях и синдромах, редактор баз историй болезней*. Каждый редактор управляется соответствующей онтологией.

### **Создание тренажера по диагностике виртуального больного**

Медицинский тренажер диагностики виртуального больного предназначен для отработки обучающимися навыков постановки диагноза заболеваний, что достигается в результате многократного выполнения учебных и контрольных заданий, представляющих собой истории болезней пациентов с набором наблюдений (жалоб, результатов объективных методов исследований, в том числе лабораторных и инструментальных). Тренажер является обучающей системой, поэтому его важная составляющая – объяснение результатов диагностики (особенно в случае неправильного выполнения задания).

Создание компьютерного тренажера сводится к созданию (либо повторному использованию) тех же баз знаний и данных, которые необходимы для создания экспертной системы по диагностике заболеваний: базы медицинской терминологии и наблюдений, баз(ы) знаний по диагностике заболевания(й), а также специфических для тренажера компонентов: банка заданий (учебные истории болезни, возможно – реальные истории болезни), а также информации об обучающемся. Создание данных ресурсов также осуществляется на основе онтологий.

*Онтология информации об обучающимся* описывает информацию, необходимую для определения пользователя системы, – такую как паспортные данные и статистика выполнения заданий.

*Онтология банка заданий* описывает структуру задания для тренажера, которое представляет собой совокупность истории болезни пациента, заболевания, идентификатора этого задания (название или номер) и некоторых дополнительных характеристик (сложность задания, дата создания, тип задания). Результатом выполнения задания обучающимся является объяснение поставленного диагноза. Объяснение строится соответствующим решателем на основе онтологии объяснения постановки диагноза.

*Онтология объяснения постановки обучающимся диагноза* используется решателем тренажера диагностики для демонстрации обучающемуся правильного ответа и результата выполнения им задания по постановке диагноза, и также объяснения, какие из запрошенных им наблюдений были запрошены верно, какие неверно, а какие должны быть запрошены, но не были.

Программными компонентами, составляющими решатель тренажера, и обес-

печивающими обработку знаний и данных, являются *сервис обучающегося* и *сервисы управления тренажером*. Сервис обучающегося используется непосредственно для выполнения обучающих и контрольных заданий по постановке диагноза, а также для просмотра личной статистики. Стоит отметить, что сервис обучающегося программно не связан с сервисами управления, однако они используют одни и те же информационные ресурсы. Сервисы управления тренажером состоят из *сервиса преподавателя* и *сервиса редактирования информации об обучающихся*. Сервис преподавателя включает модуль формирования и назначения заданий и модуль просмотра статистики обучающегося. Модуль формирования заданий необходим для наполнения и модификации банка заданий. Модуль назначения заданий позволяет назначить задание или группу заданий конкретным обучающимся или группе обучающихся. В модуле просмотра статистики преподаватель может просмотреть статистику конкретного обучающегося или целой группы. Сервис редактирования информации об обучающихся используется администраторами для поддержки информации о пользователях в актуальном состоянии.

### **Создание экспертной системы назначения персонифицированного лечения, прогноза и мониторинга**

Создание экспертной системы назначения персонифицированного лечения, прогноза и мониторинга сводится к созданию (либо повторному использованию) следующих баз знаний и баз данных: базы медицинской терминологии и наблюдений, баз(ы) знаний по диагностике заболевания(й), истории болезни, фармакологического справочника, базы знаний о лечении заболеваний и его прогнозе. Все базы знаний формируются на основе онтологий и являются информационными ресурсами системы [19].

*Онтология фармакологического справочника* содержит основные разделы описания действующего вещества, используемые в медицинской практике в виде онтологических терминов, таких как: название действующего вещества: международное непатентованное наименование; латинское название; code АТС; фармакологическая группа; фармакологические свойства; показания к применению; противопоказания; взаимодействие с другими лекарственными средствами; побочные действия; способ применения и дозы (форма выпуска, разовая дозировка, правило приема, условия применения доз и форм); максимальная суточная дозировка; торговые названия; передозировка (симптоматика и лечение) [20]. Благодаря использованию онтологического подхода в описании свойств действующего вещества лекарственного средства открывается возможность не только текстового описания его свойств, но и внесения структурированных знаний о действующем

щем веществе. Онтология также подразумевает использование условий для определения формы выпуска, способа применения и правил приема лекарственного средства.

*Онтология базы знания о лечении заболеваний* включает формальное описание использования лекарственных средств в соответствии с клинической картиной заболевания, строящихся на основе соответствующих наблюдений и выполнения определенных условий, допускающих их использование. В данной онтологии присутствует возможность группировки заболеваний в соответствии с их группами или классами по международному классификатору болезней. Онтология имеет раздел «Группа(ы) заболеваний с общими принципами лечения» с подразделом «Заболевание». Группа заболеваний с общими принципами лечения объединяет заболевания, имеющие общие принципы терапии, – как правило, симптоматического и/или патогенетического характера. Для всей группы заболеваний формируется блок(и) терапии, в котором сгруппированы терапевтические мероприятия по лечебному эффекту. Подраздел «Заболевание» также имеет блок терапии, в котором сконцентрированы лечебные мероприятия на основе установленных причин, механизмов развития и характерных клинико-морфологических проявлений конкретного заболевания. Каждый блок терапии содержит набор клинических условий в виде признаков и/или наблюдений.

*Онтология базы прогнозов лечения* базируется на принципе оценки эффективности лечения больных, используя клинический способ, который описывает угасание характерных симптомов или их отсутствие за определенный промежуток времени. Онтология включает такие онтологические термины как: диагноз заболевания, признак(и) заболевания, характеристика признака и значение признака. Каждая характеристика признака имеет подраздел «следующее значение», который и выражает динамические изменения характеристик признака и его значения для описания угасания симптоматики заболевания. Стоит отметить, что в данной онтологии не учитывается метод терапии, а берется во внимание только сам факт угасания симптоматики при полноценном и адекватном лечении.

Каждой онтологии соответствует свой редактор для формирования и модифицирования баз данных и знаний. Решатель задач предназначен для реализации персонифицированной терапии прогноза и мониторинга.

### **Создание тренажера по назначению и коррекции лечения виртуального больного**

Медицинский тренажер назначения и коррекции персонифицированного медикаментозного лечения виртуального больного предназначен для отработки навыков назначения медикаментозного лечения, а также последующей его кор-



рекции, что достигается в результате многократного выполнения учебных и контрольных заданий. Задания представляют собой истории болезней пациентов, с уже назначенным диагнозом и набором наблюдений. Одним из важнейших элементов тренажера является система объяснения лечения, назначенного обучающимся.

Как и в случае с тренажером по диагностике, создание тренажера для отработки навыков назначения и коррекции медикаментозного лечения сводится к повторному использованию онтологий и баз знаний, предназначенных для экспертной системы назначения персонифицированного лечения, прогноза и мониторинга. Дополнительно используются специфические для тренажера компоненты: банк заданий и информация об обучающимся, которые являются общими компонентами для тренажеров по диагностике и по назначению лечения и коррекции. Для данного тренажера требуется следующий набор онтологий и соответствующих им баз: онтология фармакологического справочника, онтология базы знаний о лечении заболеваний, онтология базы прогнозов лечения, онтология назначения и коррекции лечения, онтология объяснения назначенного лечения и коррекции, онтология истории болезни, онтология банка заданий и онтология информации об обучающимся. Дополнительно разработаны следующие онтологии:

*онтология назначения лечения и коррекции* (Ontology of medical treatment and correction). Данная онтология используется решателем для создания структуры, на основе которой формируется ответ обучающегося на поставленную ему задачу – назначение медикаментозного лечения и последующая его коррекция для данной истории болезни;

*онтология объяснения назначенного лечения и коррекции* (Ontology of the explanation of the prescribed treatment and correction) описывает информацию, необходимую для понимания обучающимся того, насколько правильно им выполнено назначение лечения для соответствующей истории болезни и как правильно была проведена коррекция этого лечения.

На основе данной онтологии решатель тренажера формирует результат выполненного обучающимся задания.

### **Заключение**

В работе описана программная оболочка для создания сообщества медицинских интеллектуальных систем. Актуальность создания ее обусловлена необходимостью концентрации в одном виртуальном пространстве информационных и программных ресурсов для создания различных типов интеллектуальных медицинских систем из повторно используемых компонентов, а также для обеспече-

ния доступа к системам практикующих врачей и студентов, независимо от их географического нахождения (в частности – для решения сложных клинических случаев).

Немаловажным в рассмотренной задаче является предоставление доступа к информационным ресурсам (прежде всего базам знаний) высококвалифицированным экспертам для их сопровождения (поддержки в актуальном состоянии). К настоящему времени коллективом уже разработан ряд компонентов программной оболочки, работа по ее расширению и реализации продолжается.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Abu Naser S., Mahdi, A.*, A proposed Expert System for Foot Diseases Diagnosis // American Journal of Innovative Research and Applied Sciences. – 2016. – №2(4). – P.160-174.
2. *Abu Naser S., El Hissi H, Abu-Rass M, El-Khozondar N*, An expert system for endocrine diagnosis and treatments using JESS // Journal of Artificial Intelligence. – 2010. – №3(4). – P.239-251.
3. *Santosh Kumar Patra, Dipti Prava Sahu Indrajit Mandal*: An Expert System for Diagnosis of Human Diseases // International Journal of Computer Applications (0975-8887). – 2010, – Vol.1, No. 13. – P.71-73.
4. *Kamaev V.A., Panchenko D.P., Vien Le N., Trushkina O.A.* An Intelligent Medical Differential Diagnosis System Based on Expert Systems in Communications in Computer and Information Science, CCIS. – 2014. – Vol. 466. – P.576-584.
5. *Prasad B.D.C.N., Prasad P.E.S.N.K., Sagar Y.* A Comparative Study of Machine Learning Algorithms as Expert Systems in Medical Diagnosis (Asthma). In: Meghanathan N., Kaushik B.K., Nagamalai D. (eds) Advances in Computer Science and Information Technology. CCSIT. Communications in Computer and Information Science. Springer, Berlin, Heidelberg. – 2011. – Vol. 131.
6. *Kumar S.* Image Processing for Recognition of Skin Diseases. – 2016 – Vol. 149, No. 3. – P.37-40.
7. *Hashem Hashemi, Hossein Alizadeh Moghaddam, Pegah Keyvan, Shahram Jafari.*, A Decision Support System for Polyuria Patient's Treatment. International Journal of Engineering Science Invention. – 2013. – Vol. 2, Issue 1. – P.70-76.
8. Виртуальные медицинские симуляторы-тренажеры: новая эра в медицинском образовании // URL: <http://airestech.ru/virtualnye-medicinskie-simulyatory-trenazhery-novaya-era-v-medicinskom-obrazovanii> (Дата обращения: 4.04.2017).
9. *Gribova V.V., Fedorishev L.A.* Computer teaching simulator with virtual reality for ophthalmology // The 9th International Conference on Information Technology and Applications (ICITA2014), 1-4 July. – Sydney, Australia, 2014.
10. *Kumar S., Prasad R.* Importance of Expert System Shell in Development of Expert System// International journal of innovative research & development. – 2015. – Vol. 4, Issue 3. – P.128-133.
11. *Рыбина Г.В.* Интеллектуальные системы: от А до Я. Серия монографий в трех книгах – Кн. 3. Проблемно-специализированные интеллектуальные системы. Инструментальные средства построения интеллектуальных систем. – М.: ООО "Научтехлитиздат", 2015.
12. *Грибова В.В., Клещев А.С., Крылов Д.А., Москаленко Ф.М., Тимченко В.А., Шалфеева Е.А.* Методы и средства разработки жизнеспособных интеллектуальных сервисов // Вестник Дальневосточного отделения РАН. – 2016. – № 4. – С.133-141.

13. Грибова В.В., Клещев А.С., Крылов Д.А., Москаленко Ф.М., Смагин С.В., Тимченко В.А., Тютюнюк М.Б., Шалфеева Е.А. Проект IASaaS. Комплекс для интеллектуальных систем на основе облачных вычислений // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2011. – №1. – С.27-35.
14. Москаленко Ф.М., Окунь Д.Б., Петряева М.В. База терминов для интеллектуальных медицинских сервисов // Материалы X Международной научной конференции «Системный анализ в медицине» (САМ 2016) / под общ. ред. В.П. Колосова. – Благовещенск, 2016. – С.155-158.
15. Петряева М.В. База знаний о глаукоме для диагностического облачного сервиса по офтальмологии// Материалы X Международной научной конференции «Системный анализ в медицине» (САМ 2016) / под общ. ред. В.П. Колосова. – Благовещенск, 2016. – С.67-69.
16. Петряева М.В. База знаний о заболеваниях сетчатки – новый информационный ресурс для медицинского облачного сервиса // Материалы IX Международной научной конференции «Системный анализ в медицине» (САМ 2015) / под общ. ред. В.П. Колосова. – Благовещенск, 2015. – С.76-80.
17. Москаленко Ф.М., Петряева М.В., Черняховская М.Ю. Формальное описание заболевания «Острый колит» // Информатика и системы управления. – 2013. – №3(37). – С.133-142.
18. Петряева М.В., Окунь Д.Б. Язвенная болезнь в формальном представлении // "Научная дискуссия: вопросы медицины". Материалы XLVII Междунар. науч.-практ. конф. «Научная дискуссия: вопросы медицины». – М.: Изд. «Интернаука». – 2016. – № 3(34).
19. Okun D., Chernyakhovskaya M. A Base of Observations as a Part of the Information Content of Medical Knowledge Bank // Pacific Science Review. – 2012. – Vol. 14, No 1. – P.1-4.
20. Грибова В.В., Окунь Д.Б., Черняховская М.Ю. Онтология и модель онтологии предметной области "Медикаментозное лечение" // Информатика и системы управления. – 2015. – №2(44). – С.70-79.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А.С. Клещевым.*

*E-mail:*

*Грибова Валерия Викторовна – gribova@iasp.dvo.ru;*

*Петряева Маргарита Вячеславовна – margaret@iasp.dvo.ru;*

*Окунь Дмитрий Борисович – okdm@dvo.ru;*

*Краснов Дмитрий Александрович – mrhantbk@gmail.com;*

*Островский Георгий Евгеньевич – nofu95@gmail.com.*