



## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДИАГНОСТИЧЕСКИ-ЛЕЧЕБНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

**А.И. ПОВОРОЗНИК**  
**О.А. ПОВОРОЗНИК**  
**М.В. БУРЦЕВ**

*Национальный технический  
университет «Харьковский  
политехнический институт»,  
Украина*

*e-mail:  
perederiy@mail.ru  
thur@insart.com*

Представлены результаты применения информационных технологий при разработке компьютерных систем поддержки принятия решений при проведении диагностически-лечебных мероприятий на следующих этапах преобразования информации: формирование множества диагностических признаков, включая анализ биосигналов и медицинских изображений; синтез моделей объектов диагностики и решающих правил на этих моделях; формирование комплекса лекарственных препаратов при многокритериальной оценке его компонент.

Ключевые слова: компьютерная система, диагностический признак, биосигнал, медицинское изображение, модель, объект диагностики, решающее правило, лекарственный препарат.

### *Постановка проблемы и анализ литературы*

Комплекс диагностически-лечебных мероприятий состоит из двух взаимосвязанных этапов: диагностики заболеваний и лечения выявленных патологий, причем после диагностики и назначения лечебных процедур необходим мониторинг текущего состояния пациента с целью оценки эффективности процесса лечения и, при необходимости, его коррекции. Для лечения того или иного заболевания необходимо оказание определенных воздействий на организм. Для подавляющего множества патологий в различных областях медицины данные воздействия выполняются медикаментозным путем. На каждом из отмеченных этапов врач как лицо принимающее решение (ЛПР) вырабатывает управленческое решение в условиях дефицита исходных данных и существенной априорной неопределенности, основываясь на своей квалификации, опыте и интуиции. При этом принятие неправильного решения как на этапе диагностики, так и на этапе лечения может иметь катастрофические последствия для здоровья пациента.

В настоящее время наблюдается переход от традиционных медицинских информационно-поисковых систем к интеллектуальным компьютерным системам поддержки принятия решений в медицине (ИКСППМ) с развитым математическим аппаратом и элементами экспертных систем. Разработчики ИКСППМ отмечают следующие актуальные оптимизационные задачи, которые требуют первоочередного решения [1, 6]:

- выделения диагностически-значимых структурных элементов на фоне артефактов и помех (структурная идентификация) при анализе биологических сигналов и медицинских изображений;
- формализация, оценка информативности и формирование минимально необходимого множества информативных признаков;
- синтез решающего правила (РП), согласно которому выполняется процесс диагностики пациентов.

При наличии широкого спектра компьютерных диагностических систем в разных предметных областях медицины [6], информатизация этапа формирования комплекса лекарственных препаратов (КЛП) ограничивается медицинскими справочниками фармацевта, в том числе в виде информационно-поисковых систем [5], которые представляют врачу структурированный список (классы, подклассы и т.д.) лекарственных препаратов (ЛП) и текстовое описание их свойств.

Диагностика заболеваний рассматривается как задача классификации состояния пациента при анализе вектора диагностических признаков  $X_i$ , причем развернутый диагноз  $i$ -го пациента  $D_i$  может включать несколько заболеваний.

При таком подходе минимизируется риск неправильной постановки диагноза без учета этапа лечебных мероприятий, поэтому актуальной является задача минимизации риска неправильных медицинских мероприятий (врачебной ошибки) при комплексной оценке всех этапов лечебно-диагностического процесса.

### **Цель работы**

Целью работы является формализации этапов преобразования информации и обоснования информационных технологий реализации отмеченных этапов на основе их комплексной оценки с целью повышения эффективности проведения диагностически-лечебных мероприятий и минимизации риска врачебных ошибок.

### **Формализация и информационные технологии реализации этапов преобразования информации**

Учитывая отмеченные выше оптимизационные задачи при построении ИКСППМ, разнородность диагностических признаков, итерационную процедуру постановки диагноза и необходимость учета экспертных оценок при формировании диагностического вывода в [6], формализованы следующие этапы преобразования информации в ИКСППМ:

– структурная идентификация биологических квазипериодических сигналов (БКС), которые отражают циклические процессы в организме – электрокардиограмма (ЭКГ), реограмма (РГ) и др.  $F1: x(t) \rightarrow X$  и медицинских изображений внутренних органов (МИ) – томограмма, рентгенограмма, УЗИ  $F2: x(j,k) \rightarrow X$ ;

– формализация описания разнородных диагностических признаков и синтез иерархических структур диагностируемых состояний  $F3: D \rightarrow S_D$  и диагностических признаков  $F4: X \rightarrow S_z$ ;

– синтез диагностических РП при взаимодействии  $S_D$  и  $S_z$   $F5: X_i \rightarrow D_i$  (здесь и далее индекс  $i$  означает значение показателя у  $i$ -го пациента);

– рекомендации по выбору оптимальной методики лечения, которые в случае медикаментозного лечения формализуются как задача формирования КЛП (вектор  $Y_i$ )  $F6: D_i \rightarrow Y_i$ . Таким образом при медикаментозном лечении каждому диагнозу  $D_i$  ставится в соответствие множество необходимых фармакологических действий (ФД)  $f_{D_i}$ . Фармакологическое действие — это влияние активных компонент лекарственных препаратов на отдельные органы человека и организм в целом. С каждым диагнозом может быть связано некоторое число необходимых ФД, и для некоторых диагнозов эти множества необходимых ФД могут пересекаться. На основании  $f_{D_i}$  формируется КЛП  $Y_i$  с учетом непере-

носимости  $i$ -го пациента к отдельным препаратам, несовместимости препаратов, многокритериального сравнения препаратов-аналогов [7], поэтому F6 состоит из этапов  $F6_1: D_i \rightarrow f_{D_i}$  и  $F6_2: f_{D_i} \rightarrow Y_i$ .

На каждом из отмеченных этапов решается локальная оптимизационная задача, для которой используется свой набор исходных данных, свой критерий оптимальности и алгоритм оптимизационной процедуры.

В результате преобразований F1 и F2 выполняется сегментация сигнала  $x(t)$  или двумерного изображения  $x(j,k)$  с целью выделения информативных структурных элементов, параметры которых являются диагностическими признаками (компонентами X). Этап выделения информативных структурных элементов БКС является наиболее ответственным и трудоемким этапом их обработки, так как ошибки структурной идентификации (пропуск структурного элемента или ложная идентификация) приводят к грубым ошибкам вычисления диагностических показателей и ошибкам компьютерного диагноза (если не предусмотрены специальные средства выявления указанного типа ошибок, в частности, отказ от обработки «подозрительного» периода или подтверждение человека-оператора правильности структурной идентификации).

Сложность идентификации состоит в том, что амплитудные и временные характеристики структурных элементов содержат информацию о работе диагностируемых подсистем организма и подвержены вариабельности в широком диапазоне, кроме того, эти сигналы могут содержать артефакты (резкое изменение некоторых характеристик в отдельных периодах) и снимаются на фоне помех. Традиционные методы обработки БКС во временной области (контурный анализ) являются по сути эвристическими, с трудом адаптируются к другим типам сигналов и не удовлетворяют возрастающим требованиям к качеству структурной идентификации.



На этапе выделения информативных структурных элементов БКС строится модель эталона каждого типа структурного элемента на основе методологии и вычислительных процедур неточечного преобразования Хока фрагмента БКС из временной области  $x(t)$  в пространство параметров  $Y(P)$  [6].

При сканировании сигнала с апертурой эталона сравнение текущего фрагмента БКС с эталоном выполняется в пространстве  $Y(P)$  с учетом априорной информации о структуре БКС (применение адаптивной временной маски). Адаптация метода на этапе анализа медицинских изображений (преобразование  $F_2$ ) заключается в построении двумерного эталона при использовании пространственной развертки.

Синтез  $S_D$  – бинарного дерева решений – выполняется процедурой иерархической кластеризации множества диагностируемых состояний  $D$  по критерию минимума ошибки кластеризации в пространстве признаков  $X$  (преобразование  $F_3$ ). Как следствие, в ходе такого процесса образуется бинарное дерево, корнем которого является полное множество диагнозов  $\{D_i\}_n$  в заданной предметной области, в ветвях располагаются кластеры диагнозов, близко расположенных друг к другу, а листьями – отдельные диагнозы. Процесс диагностики – движение по дереву решений, в каждой  $k$ -й вершине которого выполняется дифференциальная диагностика состояний  $D_q$  и  $D_l$  путем вычисления решающего правила (РП) и принятие решения в пользу  $D_q$  или  $D_l$ . Возникающие при этом риски неправильного принятия решения на этапе диагностики ( $\alpha$  – ложная тревога и  $\beta$  – пропуск цели) определяются расположением эллипсоидов рассеивания объектов обучающей выборки в признаковом пространстве без учета их влияния на этап выбора необходимых фармакологических действий и последующего назначения терапевтического комплекса.

Для минимизации риска неправильных медицинских мероприятий, которые возникают вследствие ошибочной диагностики, необходимо найти зависимость между ошибкой диагностики ( $D_q$  вместо  $D_l$ ) и последствий от ошибки при назначении КЛП ( $Y_q$  вместо  $Y_l$ ). Так как КЛП должен обеспечить множество необходимых фармакологических действий  $Y_q \rightarrow f_{D_q}$ , а  $Y_l \rightarrow f_{D_l}$ , то риск в конечном итоге определяется расхождением компонентов множеств  $f_{D_q}$  и  $f_{D_l}$ , и для его минимизации выполняется переход от традиционного пространства признаков  $X$  в пространство фармакологических действий  $F$ .

Для заданной предметной области, характеризующейся  $n$ -диагнозами можно сформировать перечень ФД размерностью  $g$  и, как следствие, можно построить  $g$ -мерное пространство. Так как ФД  $f_m \in F$  являются бинарными величинами (0 – отсутствует, 1 – присутствует), то каждое диагностируемое состояние  $D_i$  располагается в  $i$ -й вершине единичного гиперкуба размерности  $g$ .

Для кластеризации диагностируемых состояний  $\{D_i\}_n$  в пространстве  $F$  выбирается метрика в виде взвешенного расстояния Хемминга:

$$r(D_i, D_j) = \sum_{k=1}^g \omega_{ij} |f_{ki} - f_{kj}|, \quad (1)$$

где  $f_{ki}, f_{kj} \in \{0,1\}$ ,  $g$  – размерность пространства фармакологических действий,  $\omega_{ij}$  – экспертные оценки негативных последствий отдельных компонент  $f_m$ .

Таким образом, рассматривая диагнозы  $\{D_i\}_n$  в пространстве  $F$ , строится полностью связанный граф, вершинами которого являются диагностируемые состояния  $D_i$ , а весами дуг являются расстояния между диагнозами  $r(D_i, D_j)$ , полученные по (1). Применение иерархической кластеризации по критерию минимума суммарной связи (минимальный разрез) в пространстве  $F$  для синтеза дерева решений  $S_D$  обеспечивает минимум риска принятия решений при комплексной оценке лечебно-диагностических мероприятий.

Синтез  $S_z$  выполняется в результате преобразования  $F_4$ , которое состоит из этапов:  $F_{4_1} : X \rightarrow S_x, F_{4_2} : S_x \rightarrow S_y, F_{4_3} : S_y \rightarrow S_z$ .

Преобразование  $F_{4_1}$  удовлетворяет критериям минимума корреляционной связи, и для его реализации в [6] предложена процедура иерархической кластеризации, основанная на представлении задачи кластеризации в виде потоковой модели. При этом ис-

ходные признаки представляются вершинами полносвязного графа, а дугам такого графа приписываются некоторые численные данные ( $k_{ij}$  – коэффициент парной корреляции, хотя возможно применение других статистических мер связи). Тогда задача иерархической кластеризации вершин сводится к последовательной процедуре поиска минимального разреза графа в потоковой задаче с ограничениями, для решения которой предлагается адаптация алгоритма «дефекта» [8]. В потоковых задачах с ограничениями каждая дуга  $V_{ij}$  характеризуется следующими параметрами:  $f_{ij}$  – поток по дуге;  $L_{ij}$  – нижняя пропускная способность дуги;  $U_{ij}$  – верхняя пропускная способность дуги;  $C_{ij}$  – стоимость прохождения единицы потока по дуге.

Для рассматриваемой задачи кластеризации диагностических признаков  $L_{ij} = 0$ ,  $U_{ij} = k_{ij}$ . Значение  $C_{ij}$  при отсутствии априорной информации принимается равным 1 для всех дуг, а при ее наличии устанавливаются с помощью экспертных оценок, т.е.  $C_{ij} = E_{ij}$ ,  $E_{ij} < 1$  для тех вершин, которые соответствуют признакам, входящим в симптомокомплекс одного заболевания. Значения потоков  $f_{ij}$  определяются после завершения работы алгоритма «дефекта», для которого необходимо задать начальную и конечную вершины (исток  $s$  и сток  $t$ ).

Задание  $s$  и  $t$  выполняется на основе оценочной кластеризации вершин по методу корреляционных плеяд, при котором исходное множество вершин  $N$  распадается на два непересекающихся подмножества  $N_s$  и  $N_t$ , после чего в каждом из них определяется наиболее

связанная с остальными вершина ( $s \in N_s$  и  $t \in N_t$ ), удовлетворяющая условию 
$$N_i = \max_j \sum C_{ij},$$
 причем  $s = N_i \forall V_{ij} \in N_s$  и  $t = N_i \forall V_{ij} \in N_t$ . После определения потоков на всех дугах определяется минимальный разрез графа  $R$ , для которого справедливы соотношения

$$\begin{aligned} f_{ij} &= U_{ij} \quad \forall V_{ij} \in (N_s, N_t), \\ f_{ij} &= 0 \quad \forall V_{ij} \in (N_t, N_s). \end{aligned} \quad (2)$$

Минимальный разрез разделяет все вершины графа на два непересекающихся множества ( $N_s$ , включающее начальную вершину  $s$  и  $N_t$ , включающее конечную вершину  $t$ ) таким образом, что потоки насыщают все прямые дуги разреза и нулевые на всех обратных дугах разреза (2). В результате иерархической кластеризации синтезируется иерархическая структура  $S_x$ , на нижнем уровне иерархии которой могут быть как отдельные диагностические признаки (если они информативны и независимы), так и кластеры коррелированных признаков, а также схема объединения кластеров на остальных уровнях.

Преобразование  $F4_2$  обеспечивает максимум информативности признакового пространства при ограниченной обучающей выборке, выполняется по критерию минимума интегральной неопределенности  $\epsilon_k$ , которая включает  $\epsilon_\Delta$  – неопределенность квантования числовых признаков и  $\epsilon_\sigma$  – неопределенность, обусловленную ограниченностью обучающей выборки.  $\epsilon_k$  возникает при разбивке динамического диапазона изменения значений числового признака  $\Delta$  на  $m$  неравномерных диагностически-значимых интервалов  $\Delta_k$  и построении соответствующих гистограмм. В [6] получено выражение оценки  $\epsilon_k$  и итерационная процедура формирования  $\Delta_k$ , при которой минимизируется  $\epsilon_k$ .

Целью преобразования  $F4_3$  является согласование топологий  $S_z$  и  $S_D$  для реализации диагностического РП и обеспечения оптимального плана обследования конкретного пациента. При этом каждой паре элементов  $S_D$ , имеющей общего родителя, ставится в соответствие один элемент структуры  $S_z$ . Элементы структуры  $S_z$  формируются из элементов структуры  $S_y$  с учетом их информационной полноты:

$$k_{\text{ин}}(x_j, D) = I_D(x_j) / H(D),$$

где  $I_D(x_j)$  – информативность признака  $x_j$  относительно состояний  $D$ ;  $H(D)$  – энтропия  $D$ , и диагностической ценности:

$$k_{\text{дц}}(x_j, D) = k_{\text{ин}}(x_j, D) / r_i(x_j),$$

где  $r_i(x_j)$  – суммарная оценка сложности измерения признака  $x_j$ .

Для реализации комбинированного РП (преобразование  $F5$ ) в работе реализуется метод синтеза уточняющего диагноза [6], который является модификацией метода по-



следовательного анализа (метода Вальда) и основан на анализе взаимодействия иерархических структур диагностических признаков  $S_z$  и диагностируемых состояний  $S_D$ . На каждом  $i$ -м этапе последовательного анализа при дифференциальной диагностике между двумя диагнозами  $D_q$  и  $D_l$  вычисляется отношение правдоподобия

$$\Theta = \prod_i \frac{E_{ikq} P(x_{ik} / D_q)}{E_{ikl} P(x_{ik} / D_l)}, \tag{3}$$

которое сравнивается с порогами

$$\Theta > A, \Theta < B, \tag{4}$$

где  $A$  и  $B$  – верхняя и нижняя границы неопределенности, необходимые для принятия решения.

При выполнении одного из условий (4) принимается решение о диагнозе  $D_q$  или  $D_l$  соответственно и выполняется переход на более низкий уровень иерархии диагнозов с целью уточнения диагноза. При невыполнении обеих неравенств (4) добавляется следующий  $i + 1$  признак, и процедура повторяется. Для реализации комбинированного решающего правила в выражении (3) учитывается неопределенность оценок условных вероятностей, кроме того, условные вероятности взвешиваются системой экспертных оценок о структуре симптомокомплексов  $E_{ikq}$  и  $E_{ikl}$ , методика расчетов которых приводится в [3, 6].

Как отмечалось ранее, преобразование  $F6$  состоит из этапов  $F6_1 : D_i \rightarrow f_{D_i}$  и  $F6_2 : f_{D_i} \rightarrow Y_i$ . В результате  $F6_1$  формируется множество необходимых фармакологических действий  $f_{D_i}$ , которые направлены как на подавление причин заболеваний (антивирусные, антибактериальные и др. действия), так и на подавление симптомов (жаропонижающие, нормализация давления, сердечного ритма и т.д.).

Преобразование  $F6_2$  решает задачу формирования КЛП (вектор  $Y_i$ ) с учетом  $f_{D_i}$  и индивидуальных особенностей  $i$ -го пациента. В формализованном виде указанная задача является задачей формирования множества лекарственных препаратов (ЛП)  $Y_i = \{y_1, \dots, y_n\}$ , которые обеспечивают процесс выздоровления  $i$ -го пациента (переход из состояния  $D_i$  в состояние  $D_0$  – практически здоров) при оптимизации интегрального критерия качества процесса реабилитации  $Q = \min(t, C, \alpha, \beta)$ , где  $t$  – время процесса реабилитации;  $C$  – стоимость процесса реабилитации;  $\alpha, \beta$  – риски негативных последствий применения ЛП во время процесса лечения и в послереабилитационный период.

На основании  $f_{D_i}$  формируется множество применяемых ЛП в заданной области медицины  $Y_0 = \{y_1, \dots, y_n\}$ . Так как каждый лекарственный препарат  $y_i$  характеризуется вектором фармакологических действий  $F_{yi} = \{f_1, \dots, f_{m_i}\}$ , то в  $Y_0$  включаются все препараты  $y_k$ , для которых  $F_{yi} \in F_D$ . Фармакологическое действие обеспечивается одним или несколькими активными веществами (в данном случае имеем препараты комплексного действия), причем на основе одного активного вещества может производиться целый класс препаратов. Таким образом,  $Y_0$  содержит препараты-аналоги, компоненты  $F_{yi}$  которых совпадают, поэтому каждый препарат описывается вектором характеристик  $S_{yi} = \{s_1, \dots, s_r\}$  (эффективность, риск побочных действий, цена, бренд производителя, доступность в аптечной сети). Каждая компонента  $S_{yi}$  используется в качестве локального критерия при многокритериальном сравнении препаратов-аналогов.

Формируются однородные группы пациентов  $\Omega_j$ , каждая из которых описывается вектором характеристик  $A_j$  (возраст, пол, анамнез, социальный статус и т.д.), причем для тех препаратов-аналогов,  $F_{yi}$  которых совпадают, формируются матрицы парных сравнений (МПС) на основе экспертных оценок относительно локальных критериев  $s_r$ . Для каждой группы пациентов  $\Omega_j$  строится МПС локальных критериев с целью вычисления глобального критерия  $q_k$  препарата  $y_k$  с использованием МАИ.

Анализируемый  $i$ -й пациент характеризуется развернутым диагнозом  $D_i$  (основное заболевание, нозологическая форма, стадия, дополнительные заболевания) и множеством необходимых терапевтических воздействий  $F_{D_i}$  соответственно. Далее формируется множество возможных препаратов  $Y_1 \subset Y_0$ , фармакологические действия которых  $F_{y_k}$

соответствуют  $F_{Di}$ . Вектор характеристик  $A_i$  пациента определяет его принадлежность к  $j$ -й группе  $A_i \in \Omega_j$ , после чего элементы множества  $Y_1$  проверяются на их совместимость друг с другом, на наличие в аптечной сети данного региона, а также совместимость с данным классом  $\Omega_j$  (по возрастной группе, полу, анамнезу), и формируется множество допустимых препаратов  $Y_2 \subset Y_1$ .

Взаимодействие отдельных ЛП  $y_k$  и  $y_l$  характеризуется показателем  $V_{kl}$  ( $V_{kl} = 0$  – ЛП  $y_k$  и  $y_l$  не взаимодействуют;  $V_{kl} > 0$  – ЛП  $y_k$  и  $y_l$  усиливают действия друг друга;  $V_{kl} < 0$  – ЛП  $y_k$  и  $y_l$  ослабляют действия друг друга, а в предельном случае  $V_{kl} = -1$  – их совместное применение недопустимо). Кроме того, у каждого  $i$ -го пациента может наблюдаться непереносимость к отдельным ЛП. При формировании КЛП необходимо сформировать подмножество  $Y_i = \{y_1, \dots, y_n\}$ , при выполнении условия  $\forall k, l V_{kl} \geq 0, k, l = \overline{1, N}$ , где  $N$  – общее число допустимых ЛП  $Y_2$ , совместное терапевтическое действие которых  $F_{y_1} \cup \dots \cup F_{y_l} \cup \dots \cup F_{y_n}$  покрывает множество необходимых терапевтических действий для пациента  $F_{Di}$ . Вариантов такого покрытия может быть много, но надо обеспечить такое покрытие, которое минимизирует критерий качества  $Q$ .

Так как преобразование  $F_{b_2}$  служит для формирования множества решений, то для его реализации используется модифицированная дискретная искусственная нейронная сеть (ИНС) адаптивной резонансной теории – ART-1, у которой к базовой архитектуре ART-1 добавлен слой регистрирующих нейронов с целью получения нескольких решений.

Для  $i$ -го пациента единичными компонентами входного вектора ИНС являются те, которые соответствуют элементам подмножества  $F_{Di}$ , а в выходном слое незаторможенными остаются нейроны, элементы которого соответствуют элементам множества  $Y_2$ . Результатом работы ИНС является подмножество  $Y_3$  (терапевтический комплекс)  $M_3 \subset M_2$  рекомендованных препаратов  $i$ -му пациенту с указанием их весовых коэффициентов и ограничений на текущий момент времени. Врач принимает окончательное решение, что иницирует в системе процесс обучения ИНС с учителем и коррекцию весов связей регистрирующих нейронов.

Разработаны алгоритмы начальной настройки весов базовой архитектуры ИНС, а также алгоритм настройки весов связей регистрирующего слоя, которые соответствуют глобальным приоритетам  $q_k$  препаратов-аналогов  $y_k$ , алгоритмы обучения и учета статистики управленческих решений.

### **Программная реализация системы**

Успешность реализации информационной системы во многом зависит от выбора целевой платформы разработки, а также правильно спроектированной архитектуры. В [4] обоснован выбор Java [9] в качестве основной платформы: обеспечивается возможность развертывания системы в различных аппаратно-программных средах, непроприетарный характер платформы, наличие множества открытых библиотек, поддерживаемых сообществом разработчиков.

При проектировании системы необходимо изначально заложить архитектурные принципы, которые в будущем обеспечат масштабируемость, гибкость, а также простоту сопровождения системы. Для обеспечения данных качеств в настоящее время широко применяются шаблоны проектирования [2].

Обычно шаблон не является законченным образцом, который может быть прямо преобразован в код; это лишь пример решения задачи, который можно использовать в различных ситуациях. Объектно-ориентированные шаблоны показывают отношения и взаимодействия между классами или объектами без определения того, какие конечные классы или объекты приложения будут использоваться. Главная польза каждого отдельного шаблона состоит в том, что он описывает решение целого класса абстрактных проблем. Также тот факт, что каждый шаблон имеет свое имя, облегчает дискуссию об абстрактных структурах данных между разработчиками, так как они могут ссылаться на известные шаблоны. Таким образом, за счёт шаблонов производится унификация терминологии, названий модулей и элементов проекта.

В структуре разрабатываемой ИКСППМ можно выделить три основных модуля (рис. 1): модуль взаимодействия с пользователем, базу данных, включающую в себя базу знаний, и модуль построения знаний.



Рис. 1. Структурная схема ИКСППМ

Модуль взаимодействия с пользователем представлен графическим интерфейсом пользователя и позволяет осуществлять сбор данных обследований, административных данных, а также данных, предоставляемых экспертами, которые используются при формировании знаний системы.

Для хранения данных и фреймов знаний системы используется реляционная база данных (БД).

Модуль построения знаний отвечает за формирование фреймов знаний, представленных иерархическими структурами  $S_D$  и  $S_z$ , параметрами комбинированного РП, множествами необходимых фармакологических  $f_{D_i}$ , описаниями ЛП ( $F_{y_i} = \{f_1, \dots, f_{n_k}\}$ ,  $S_{y_i} = \{s_1, \dots, s_r\}$ , МПС относительно локальных критериев  $s_r$  и глобальные приоритеты  $q_k$ , веса ИНС).

При проектировании системы необходимо четко разграничить уровни данных, логики и представления разрабатываемой системы. Подобное разделение соответствует шаблону модель-представление-контроллер (MVC pattern) в архитектурном плане. Архитектура разрабатываемой системы представлена на рис. 2.

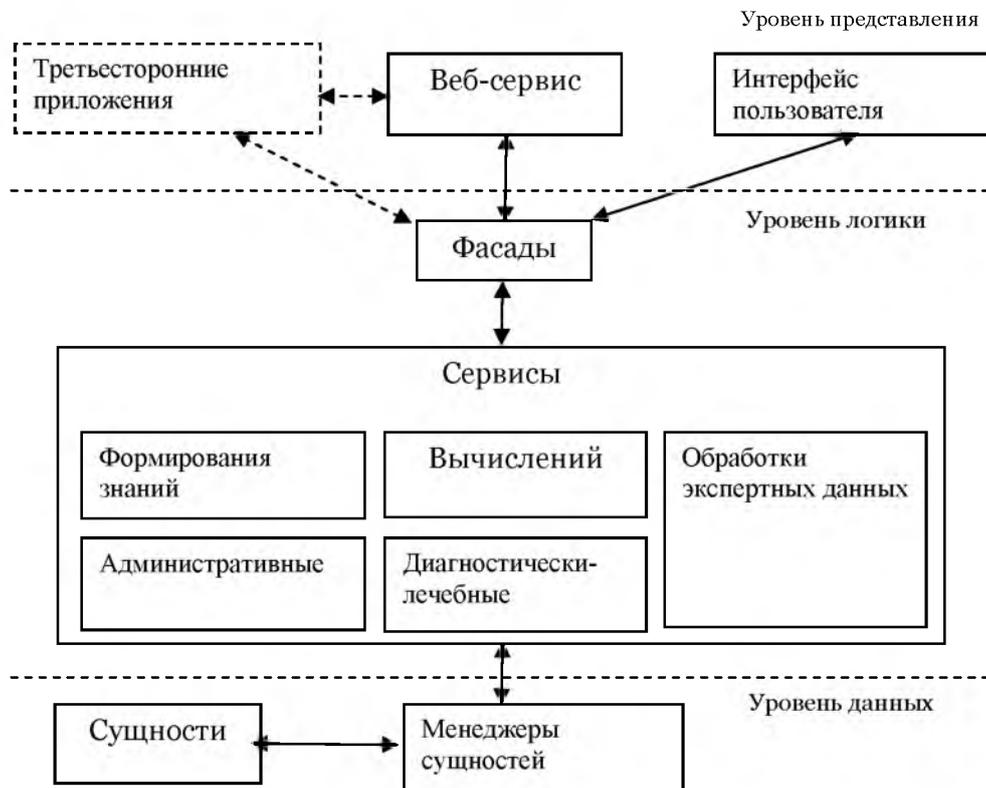


Рис. 2. Архитектура ИКСППМ

На уровне данных выделяются сущности (entities), необходимые для решения задач диагностики и формирования КЛП (как административные, так и сущности, описывающие признаки, диагнозы, препараты и т.д.). Сущности содержат в себе исключительно данные. Менеджеры сущностей представляют собой реализацию шаблона объекта доступа к данным (DAO pattern) и предоставляют возможность выполнения CRUD-операций над имеющимися данными: осуществляют выборку, изменение, добавление и удаление экземпляров сущностей. Менеджеры сущностей взаимодействуют с уровнем логики приложения, при этом сами бизнес-логики не содержат; являются единственным источником данных для всех сервисов системы.

Связь данных БД и сущностей приложения осуществляется при помощи механизма объектно-реляционного связывания (ORM). Для этого предполагается использование библиотеки Hibernate, которая позволяет описать связи полей сущностей с колонками таблиц БД (с помощью аннотаций, либо XML-описания), при этом исчезает необходимость в написании большого объема JDBC-кода для получения данных из БД.

Уровень логики включает в себя сервисы системы, содержащие всю бизнес-логику приложения. Административные сервисы отвечают за обработку данных о пациентах, сотрудниках, ведение соответствующей медицинской документации. Сервисы вычислений предоставляют доступ к различным алгоритмам реализации этапов преобразования информации в ИКСППМ. Сервисы формирования знаний являются реализацией шаблона строитель (Builder pattern). Осуществляют построение фреймов знаний системы, структура которых рассмотрена выше. Сервисы обработки экспертных данных осуществляют обработку данных, предоставленных экспертами (функции принадлежности, описание структуры симптомокомплексов, МПС препаратов-аналогов и др.) и подготавливают метаданные для работы сервисов формирования знаний. Диагностические сервисы, используя знания системы, осуществляют поддержку принятия решений: на основании входных данных о результатах обследования предлагается некоторое множество диагнозов, соответствующих состоянию диагностируемого и перечень ЛП.

Фасады (Facade pattern) обеспечивают представление ядра системы во вне (API для интерфейса пользователя и третьесторонних приложений), скрывая от внешнего мира всю внутреннюю реализацию и структуру системы. Каждый из фасадов является оберткой для одного, либо нескольких сервисов, при этом может содержать дополнительную логику (например, валидацию входных данных).

Уровень представления включает графический интерфейс пользователя (GUI) и веб-сервис. GUI является самостоятельным приложением, реализованным в соответствии с требованиями шаблона MVC. GUI использует API ядра системы, предоставляемые фасадами.

Взаимодействие с третьесторонними приложениями может осуществляться как непосредственно через фасады (в том случае если третьестороннее приложение является Java-приложением, то возможен прямой вызов методов фасадов, используя механизм RMI), так и через веб-сервис.

Веб-сервис является оберткой для всех фасадов системы, предоставляет возможность общаться с ядром системы с помощью обмена SOAP-сообщениями.

Развертывание системы. Простейший вариант представляет собой развертывание всех структурных элементов на одном сервере. Такой подход позволяет сэкономить на затратах, связанных с приобретением аппаратных ресурсов, но не предполагает высокой нагрузки на систему. Является оптимальным для небольших организаций.

Для обеспечения более высокой производительности и обслуживания крупных организаций необходимо выполнить размещение модулей системы на различных серверах (GUI, БД/БЗ, модуль построения знаний). Если же желаемая производительность не достигнута, то необходимо выполнить кластеризацию отдельных модулей, несущих наибольшую нагрузку, а также конфигурирование балансировщика нагрузки (loadbalancer).

При развертывании системы возможен отказ от приобретения физических серверов и выполнение развертывания в облаке (Amazon EC2, Jelastic), если позволяет бюджет организации.

### **Выводы**

Разработаны методы построения нового класса ИКСППМ на основе формализации этапов проведения диагностически-лечебных мероприятий при их комплексной оценке,



синтеза моделей объектов исследования отмеченных этапов и решающих правил на этих моделях. Разработанные информационные технологии позволяют повысить достоверность и обоснованность решений ЛПР и могут адаптироваться к различным предметным областям медицины.

### Список литературы

1. Ахутин В.М. Оценка качества формализованных медицинских документов [Текст] / В.М. Ахутин, В.В. Шаповалов, М.О. Иоффе // Медицинская техника. М.: 2002. № 2. С. 27 – 31.
2. Бек К. Шаблоны реализации корпоративных приложений / пер. с англ. [Текст] / К. Бек. – М.: ООО “И.Д. Вильямс”, 2008. – 176 с.
3. Бурцев М.В. Синтез комбинированного решающего правила в задаче медицинской диагностики [Текст] / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Весник Национального технического университета “ХПИ”. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2009. – №43. – С. 27 – 33.
4. Бурцев М.В. Программная реализация комбинированного решающего правила для задач медицинской диагностики [Текст] / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Весник Национального технического университета “ХПИ”. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2010. – №21. – С. 11–16.
5. Компендиум 2007 – лекарственные препараты / под ред. В.Н. Коваленко, А.П. Викторова. [Электронный ресурс] <http://www.compendium.com.ua>.
6. Поворознюк А.И. Системы поддержки принятия решений в медицинской диагностике. Синтез структурированных моделей и решающих правил [Текст] / А.И. Поворознюк – Saarbrücken Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 314 с.
7. Поворознюк О.А. Біотехнічна система призначення лікарських препаратів в дерматології. [Текст] Автореферат дис. на здоб. вч. ступ. к. т. н.: спец. 05.11.17 "Біологічні та медичні прилади і системи" / О.А. Поворознюк. – Харків, 2010. – 21 с.
8. Филлипс Д. Методы анализа сетей / пер. с англ. [Текст] / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас. – М: Мир, 1984. – 648 с.
9. Эккель Б. Философия Java. – 4-е изд. / пер. с англ. [Текст] / Б. Эккель. – СПб.: Питер, 2009. – 640 с.

## INFORMATION TECHNOLOGY OF SUPPORT DECISION MAKING WHEN UNDERTAKING DIAGNOSTIC-MEDICAL ACTION

**A.I. POVOROZNYUK**  
**O.A. POVOROZNYUK**  
**M.V. BURTSEV**

*National technical university  
 «Kharkov polytechnic institute»,  
 Ukraine*

*e-mail:  
 perederiy@mail.ru  
 thur@insart.com*

The Presented results of the using information technology at development computer decision support system making when undertaking diagnostic-medical action on the following stage of the transformation to information: shaping ensemble diagnostic sign, including analysis biosignals and medical scenes; the syntheses of the models object diagnosticses and solving rules on these model; shaping the complex medicinal preparation at multicriterial to estimation his component.

Keywords: computer system, diagnostic sign, biosignal, medical scene, model, object of the diagnostics, solving rule, medicinal preparation.