

# Интеллектуальная система принятия решений в отделении медицинского учреждения на основе нейросетевых, продукционных и статистических моделей

В статье рассмотрена разработка информационно-аналитической системы принятия решений при лечении органов брюшной полости пациентов. Структура системы предусматривает формирование предварительного диагноза состояния пациента на основе нейросетевого и статистического анализа электронной медицинской карты. Для оперативного контроля состояния больного в ходе операции или получения быстрой консультации в случае возникновения критической ситуации в системе предусмотрена экспертная оценка происходящего с возможностью речевого диалога хирурга с интеллектуальной системой.

**Цель:** Повышение интеллектуальности принятия решений в отделении медицинского учреждения на основе нейросетевых, продукционных и статистических моделей.

**Материалы и методы:** Для получения научных результатов в рамках данной статьи использовались нейронные сети и статистический подход для анализа и обработки большого количества медицинских данных, а также компьютерное моделирование практической задачи с помощью языка программирования Java.

**Результаты:** Разработанная программа прогноза является

гибридной динамической экспертной системой, применение которой позволит повысить эффективность процессов оценки тяжести течения основного заболевания с учётом сопутствующей патологии; прогноза степени риска интраоперационных осложнений в режиме планирования и реального времени; рекомендации хирургической тактики при сочетанном оперативном вмешательстве; прогноза степени риска послеоперационных осложнений; определения объема интенсивной терапии в послеоперационном периоде.

**Заключение:** Рассмотрена структура создания нечёткой модели прогнозирования операционного риска для выполнения симультанных оперативных вмешательств в зависимости от состояния пациента на основе продукционных правил, базу которых можно корректировать в режиме обучения экспертной системы.

**Ключевые слова:** извлечение знаний, нейронные сети, речевой интерфейс, информационно-аналитическая система, оперативные вмешательства

Oleg I. Fedyaev, Valeriy S. Bakalenko

Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

## Intelligent decision making system of department of medical institutions based on neural network, production and statistical models

The article describes the development of information-analytical system of decision-making in the treatment of abdominal organs of patients. The structure of the system provides for the formation of a preliminary diagnosis of the patient's condition based on a neural network and statistical analysis of the electronic medical record. For the operating control of the patient's condition during the operation or getting a quick consultation in the case of a critical situation, the system provides an expert assessment of the circumstances with the possibility of a surgeon's speech dialogue with the intellectual system.

**Purpose.** Increase the intelligence of decision-making in the department of a medical institution based on neural network, production and statistical models.

**Materials and methods.** Neural networks and the statistical approach for analyzing and processing a large amount of medical data, as well as computer modeling of the practical problem, using the Java programming language, were used to obtain scientific results.

**Results.** The developed prognosis program is a hybrid dynamic expert system, the use of which will improve the efficiency of processes for assessing the severity of the underlying disease, taking into account pathology; predicting the risk of intraoperative complications in the planning mode and in real time; recommendations of surgical tactics with combined surgery; predicting the risk of postoperative complications; determine the volume of intensive care in the postoperative period.

**Conclusion.** The structure of creating a fuzzy model of predicting operational risk for performing simultaneous interventions depending on the patient's condition based on production rules is considered, the base of which can be corrected in the training regime of the expert system.

**Keywords:** knowledge extraction, neural networks, speech interface, information-analytical system, operative interventions

### Введение

Некоторые важнейшие вопросы анализа и управления на уровне клиник до сих пор остаются нерешенными или решаются недостаточно эффек-

тивно [1]. Во многих лечебных учреждениях отсутствует единая информационная база данных о результатах проведенных операций и не применяются автоматизированные средства интеллектуального анализа

данных, что затрудняет объективную оценку проведенных операций и препятствует их более широкому применению в медицинской практике.

Однако, современные операционные все больше и боль-

ше «интегрированы» в связи с улучшением оборудования для медицинской визуализации с высокой разрешающей способностью и повышенной возможностью использовать большое количество визуальных данных из операционной [2]. Для современных хирургических процедур «интегрированный» подход очень востребован. Начиная с 2018 года, для развития электронного здравоохранения Минздрав России рассматривает возможность запуска специальных систем, оказывающих помощь врачу в принятии решений.

Задачи оценки степени риска интра- и послеоперационных осложнений у пациентов, а также определения объема интенсивной терапии в послеоперационном периоде относятся к типу плохо формализуемых задач, так как обладают следующими особенностями: ошибочностью, неоднозначностью, неполнотой и противоречивостью исходных данных и знаний о проблемной области, которые также динамически меняются. Как правило, реше-

нием таких задач занимаются специалисты-эксперты на основе своего опыта и знаний. В связи с этим возникает естественное желание зафиксировать это умение в специальных системах с целью повышения качества и обоснованности решения соответствующих задач. Тем более при передаче эксперту подробной информации о состоянии больного, а также при её обработке и анализе, происходит недопустимая потеря времени, а от своевременности назначения правильного лечения зависит исход течения болезни [1, 3, 5, 8].

Как показывают исследования отечественных и зарубежных ученых, значительно повышение эффективности лечебно-оздоровительных процедур при лечении различных заболеваний можно ожидать за счёт использования различных методов анализа и терапии, находящихся под управлением современных информационных технологий, в частности, экспертных систем и систем поддержки принятия решений [2, 7, 9, 11]. Применение при-

ведённых методов и подходов на практике позволяет значительно повысить скорость принимаемых решений в условиях ограниченности, субъективности, размытости и неточности информации [4, 6, 10].

На основании разработанной нечеткой модели прогнозирования операционного риска доказывается возможность и целесообразность выполнения симультанных оперативных вмешательств.

Поэтому данная работа посвящена развитию цифровой медицины в направлении создания и применения интеллектуальных систем поддержки принятия решений, математических методов в медицине, которые позволяют получить новое качество обработки медицинских данных.

### Структура и задачи информационно-аналитической медицинской системы

Объектом анализа и управления является профильное лечебное подразделение, в

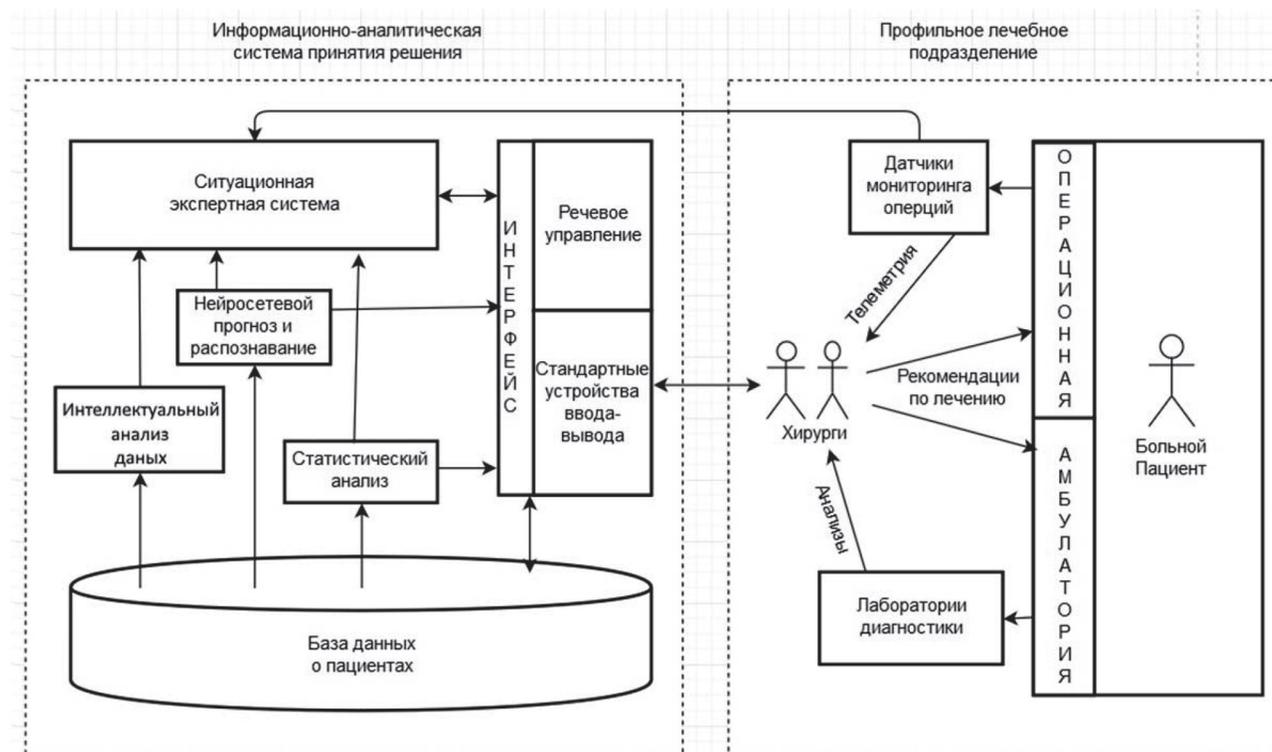


Рис. 1. Структурно-функциональная схема информационно-аналитической системы

котором больной пациент лечится амбулаторно или путём проведения хирургической операции (рис. 1). Управляющая часть представлена информационно-аналитической системой принятия решения. В ней основным компонентом является ситуационная экспертная система, которая оценивает ситуацию с больным в статическом (при амбулаторном лечении) или в динамическом режиме, т.е. в ходе оперативного вмешательства. Основными функциями экспертной системы, которые могут быть реализованы в настоящее время, являются:

- предварительная диагностика состояния пациента на основе интеллектуального анализа персональных медицинских показателей;

- автоматическая запись и сохранение телеметрии в ходе операции для последующего анализа;

- аудио-видео отображение результатов интеллектуального анализа статических параметров и данных телеметрии;

- прогнозирование динамики эффективности лечения больного для каждой применяемой методики с целью выработки наиболее благоприятной тактики лечения;

- оперативная оценка состояния больного на основе телеметрии о процессе проведения операции для непрерывного многопараметрического контроля хода проведения операции или восстановления в послеоперационный период;

- консультирование хирургов в случае критических ситуаций, которые могут неожиданно возникнуть в ходе операции, в режиме речевого диалога с экспертной системой;

- построение виртуальной операционной («умной операционной»), используемой в качестве тренажера для обучения интернов путём имитации различных сценариев проведения операции в режиме реального времени. Экспертная система

предназначена для решения следующих задач:

- 1) оценка тяжести протекания основного заболевания с учётом сопутствующей патологии;

- 2) прогноз степени риска интраоперационных осложнений в режиме планирования и реального времени;

- 3) рекомендация хирургической тактики при сочетанном или комбинированном оперативном вмешательстве;

- 4) прогноз степени риска послеоперационных осложнений;

- 5) определение объёма интенсивной терапии в послеоперационном периоде.

Входными данными для системы являются различные показатели из электронной медицинской карты пациента и телеметрии.

Выходные данные системы следующие:

- форма течения основного заболевания с учётом сопутствующей патологии (лёгкая, средне-тяжёлая, тяжёлая);

- степень риска интраоперационных осложнений (низкая, средняя, высокая);

- показатель эффективности проведения операции;

- рекомендация хирургической тактики проведения операции;

- степень риска послеоперационных осложнений (низкая, средняя, высокая);

- определение объёма интенсивной терапии в послеоперационном периоде.

Одним из основных компонентов экспертной системы выступает интерпретатор продукционных правил (решатель задач), в функции которого входит решение ситуационных задач. Алгоритмы решения этих задач встроены в три её подсистемы: прогноза степени риска осложнений, выбора хирургической тактики и определения объёма терапии.

Предназначением модуля обучения системы является усовершенствование моделей и правил системы в результате учёта новых данных об об-

следовании пациентов разных возрастов и тяжести течения заболевания.

Блок моделирования предназначен для осуществления прогноза показателей, характеризующих состояние больного. Результаты работы этого блока используются при решении задач прогноза степени риска интра- и послеоперационных осложнений, а также определения объёма интенсивной терапии в послеоперационном периоде.

Сердцевиной системы является её база знаний, в которой хранятся совокупности единиц знаний, что представляют собой формализованное отображение процесса диагностики и лечения пациентов с заболеваниями толстой кишки и других органов брюшной полости, а также процедур решения задач, поставленных перед системой.

Анализ структуры и поведения системы позволил выявить основные характеристики системы:

1. Система ориентирована на анализ и прогноз данных, а также на решение задач поддержки принятия решений.

2. По способу формирования решений – синтетическая система, т.е. система, которая генерирует неизвестные решения.

3. По способу учёта временного признака – динамическая, т.е. система, которая решает задачи на основе данных и знаний, которые изменяются в течение времени.

4. По видам используемых данных и знаний – система с детерминировано-стохастическими знаниями.

5. По типам используемых методов и знаний, – гибридная система, т.е. система, которая использует вместе следующие методы: инженерии знаний, нечёткой логики и различные математические методы моделирования и расчётов.

6. Система ориентирована на возможность расширения её функционала.

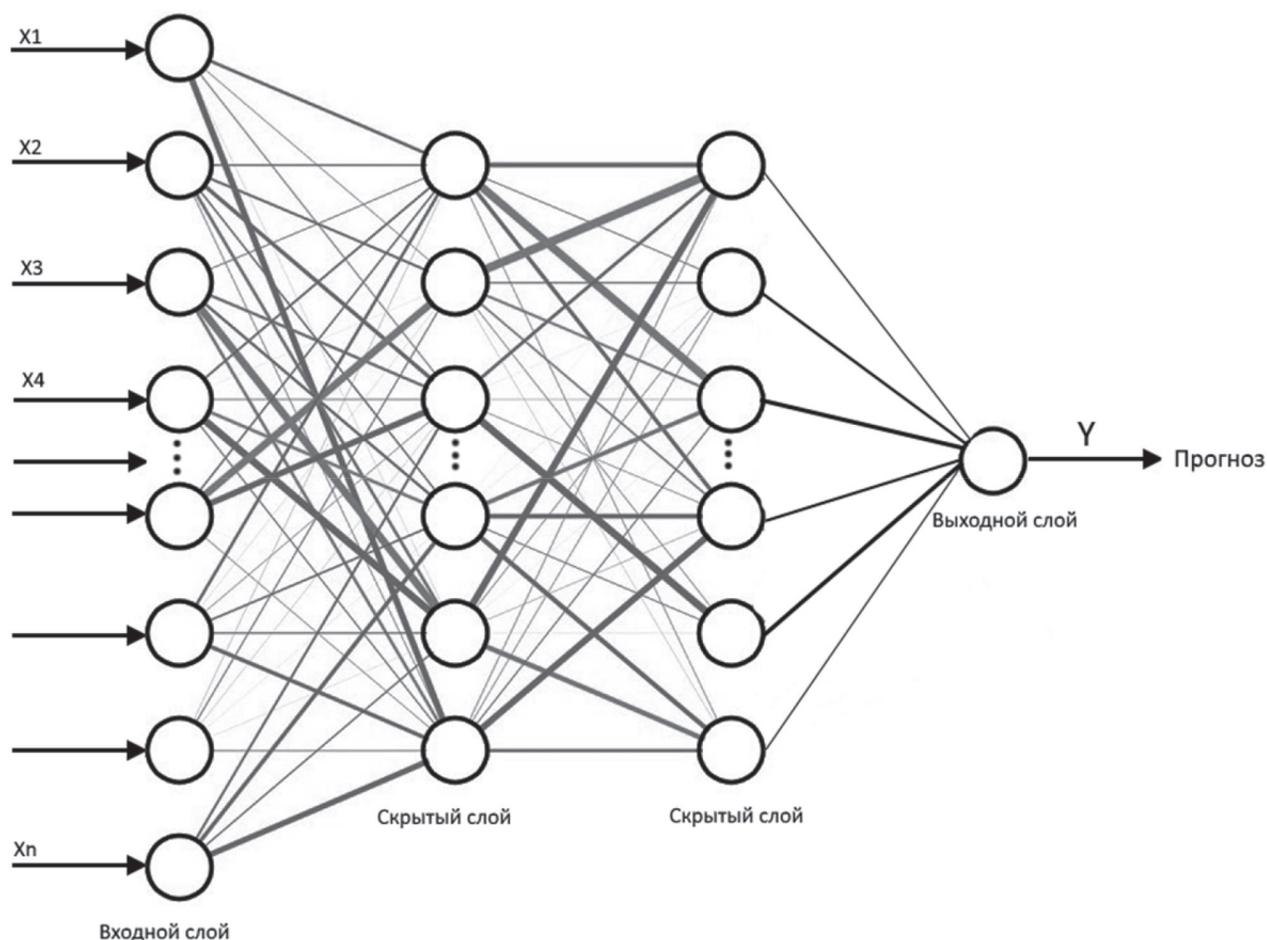


Рис. 2. Структура нейронной сети для прогнозирования исхода лечения

### Структура базы данных о пациентах

Медицинский профиль лечебного подразделения, для которого создаётся система принятий решений, ориентирована на лечение сочетанных заболеваний толстой кишки и органов брюшной полости. Информационная база данных для описания параметров лечения этого типа заболевания использует реляционную модель данных. В базе данных насчитывается более 70 атрибутов, которые разбиты на четыре группы: информация о пациенте, об операциях пациента, о гистологических данных пациента, о результатах различных анализов. Конкретные значения кортежей предоставила кафедра общей хирургии № 1 ГОУВПО «Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького».

Проектирование базы данных выполнено по объектно-ориентированной технологии. Диаграмма классов и реляционные таблицы реализованы программными средствами IDE IntelliJ IDEA. Остальные диаграммы созданы в бесплатном приложении для создания диаграмм – Dia.

### Нейросетевое прогнозирование исхода лечения

В работе использовался метод интеллектуального анализа данных, основанный на построении нейросетевой модели прогнозирования исхода лечения пациента. Эта задача классификации предполагает выявление закономерности в многомерных данных «с учителем». Искомая функциональная зависимость имеет очень сложную природу и её трудно выразить в обычных

терминах корреляций и различий между группами данных разного типа. Однако методом нейронных сетей можно решить эту задачу, т.е. выявить зависимость исхода лечения пациента от параметров его медицинской карты на множестве собранных в базе данных примеров.

В работе была построена трёхслойная нейросеть (рис. 2), которая обучалась по стратегии «с учителем» на обучающем множестве  $\{(X, Y)\}$ , где  $X$  – вектор параметров электронной медицинской карты;  $Y$  – исход лечения пациента.

Каждый столбец таблицы (обучающего множества) обозначается  $X$  с порядковым номером и может принимать различные значения, а уровень исхода лечения  $Y$  измеряется степенью благоприятности исхода лечения пациента в диапазоне от 0 до 1. Вектор входных сигна-

лов состоит более чем из 30 компонент, обозначаемых  $X_n$ , где  $n$  – порядковый номер компонента, соответствующий столбцу из медицинской базы электронных карт пациентов. На обучение нейросети необходимо около 1000 эпох.

Построенная таким образом нейросетевая экспертная система позволяет прогнозировать исход лечения больного пациента, предсказывая степень благоприятности, выбранной врачами методики (рис. 3).

### Регрессионный анализ

Регрессионный анализ – статистический метод исследования зависимости (регрессии) между зависимым признаком  $Y$  и независимыми (регрессорами, предикторами)  $X_1, X_2, \dots, X_p$ . Строго регрессионную зависимость можно определить следующим образом. Пусть  $Y, X_1, X_2, \dots, X_p$  – случайные величины с заданным совместным распределением вероятностей. Если для каждого набора значений  $X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_p = x_p$  определено условное математическое ожидание  $y(x_1, x_2, \dots, x_p) = D(Y/X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_p = x_p)$ , то функция называется регрессией величины  $Y$  по величинам  $X_1, X_2, \dots, X_p$ , а ее график линией регрессии у или уравнением регрессии. Зависимость  $Y$  от  $X_1, X_2, \dots, X_p$  проявляется в изменении сред-

них значений  $Y$  при изменении  $X_1, X_2, \dots, X_p$ . Хотя при каждом фиксированном наборе значений  $X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_p = x_p$  величина  $Y$  остается случайной величиной с определенным рассеянием. Для выяснения вопроса, насколько точно регрессия оценивает изменение  $Y$  при изменении  $X_1, X_2, \dots, X_p$ , используется средняя величина дисперсии  $Y$  при разных наборах значений  $X_1, X_2, \dots, X_p$  (фактически речь идет о мере рассеяния зависимой переменной вокруг линии регрессии).

На практике линия регрессии чаще всего ищется в виде линейной функции  $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p$  (линейная регрессия), наилучшим образом приближающей искомую кривую. Делается это с помощью метода наименьших квадратов, когда минимизируется сумма квадратов отклонений реально наблюдаемых  $Y$  от их оценок  $\hat{Y}$  (имеются в виду оценки с помощью прямой линии, претендующей на то, чтобы представлять искомую регрессионную зависимость):  $\sum_{k=1}^N (Y_k - \hat{Y}_k)^2 \rightarrow \min$  ( $N$  – объем выборки). Этот подход основан на том известном факте, что фигурирующая в приведенном выражении сумма принимает минимальное значение именно для того случая, когда  $Y = y(x_1, x_2, \dots, x_p)$ . Применение метода наименьших квадратов для оценивания параметров модели возможно при выполнении следующих условий:

(1) равенства условных дисперсий:  $D(Y/X) = \text{const}$ ; (2) независимости ошибок от предикторов и нормального их распределения с нулевым средним и постоянной дисперсией; (3) попарного нормального распределения всех признаков модели.

Параметры  $b_i$  являются частными коэффициентами корреляции;  $b_i^2$  интерпретируется как доля дисперсии  $Y$ , объясненная  $X_i$ , при закреплении влияния остальных предикторов, т.е. измеряет индивидуальный вклад в объяснение  $Y$ . В случае коррелирующих предикторов возникает проблема неопределенности в оценках  $b_i$ , которые становятся зависимыми от порядка включения предикторов в модель. В таких случаях необходимо применение методов корреляционного анализа и пошагового регрессионного анализа [3, 11].

В процессе пополнения статистическими данными базы данных системы, статистическая модель будет становиться более адекватной. На основании данной регрессионной модели получаем прогноз показателя эффективности проведения симульного оперативного вмешательства, который позволит выбрать наиболее эффективную тактику ведения операции.

В случае низкой эффективности, когда присутствует высокий риск для жизни пациента, оперативное симульное

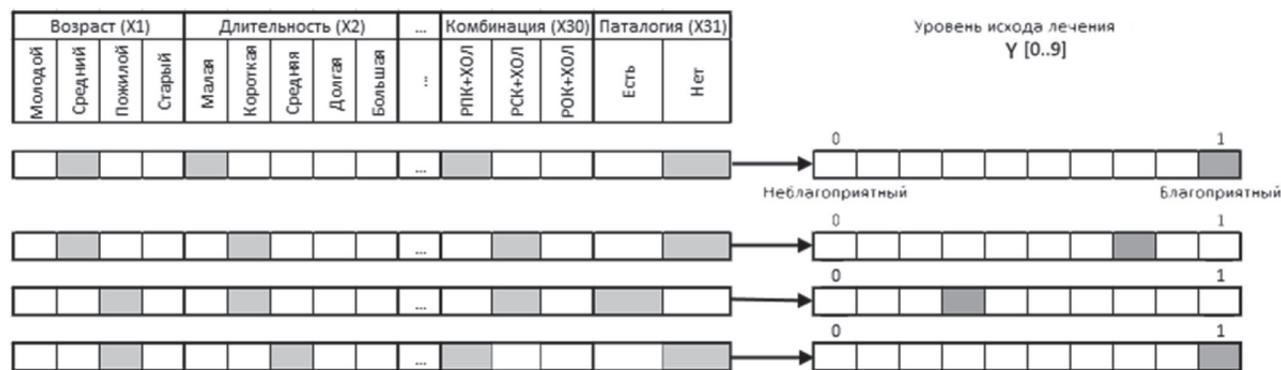


Рис. 3. Схема формирования входных сигналов  $X$  по электронным картам пациентов и соответствующие результаты прогноза исхода их лечения

вмешательство проводить не рекомендуется. В процессе назначения интенсивной терапии, как правило, существует несколько возможных методов лечения и выбор одного из них может происходить в различных условиях: в условиях определённости (в бесспорной ситуации), в условиях риска и в условиях неопределённости. В подобных задачах принятия решений присутствует также неопределённость, связанная с расплывчатым, нечётким описанием критериев принятия решений и параметров объекта (процесса диагностики и лечения), наличием критериев, не измеряемых в количественных шкалах. Кроме того, для оценки объекта по критериям, измеряемым в шкале интервалов или порядка, используется экспертная информация в форме балльных или словесных градаций.

Таким образом, расплывчатый характер описаний в постановке задач принятия врачебных решений и в предпочтениях экспертов при выборе метода лечения приводит к необходимости применения методов теории нечётких множеств и нечёткого математического программирования. Информация, на основании которой лицу, принимающему решения (ЛПР), например, врачу, приходится принимать решения, является неоднородной в силу гетерогенности как самого объекта, так и внешнего окружения. Вследствие этого наиболее распространёнными методами, применяемыми в медицинской диагностике и при выборе решений в процессе лечения пациента, являются методы математической логики, теории вероятности и теории игр [2, 10]. Вместе с тем, в последнее время широкое распространение в медицине получили методы теории нечётких множеств, нечёткой логики и искусственных нейронных сетей [4, 7, 9].

#### Автоматическое извлечение знаний из базы данных пациентов

Источником знаний является реляционная база данных, в которой собраны электронные медицинские карты всех пациентов. Для автоматического индуцирования знаний алгоритмом С4.5 необходимо выполнение ряда требований к структуре данных в базе медицинских электронных карт пациентов, при выполнении которых данный алгоритм будет работоспособен [4].

1. Данные должны быть представлены в виде плоской таблицы. Вся информация об объектах из предметной области должна описываться в виде конечного набора атрибутов. Каждый атрибут должен иметь дискретное или числовое значение. Количество атрибутов должно быть фиксированным для всех примеров. При соблюдении этих требований данные из базы собираются в единую структурированную плоскую таблицу и все значения атрибутов кодируются.

2. Каждый пример должен быть ассоциирован с конкретным классом, т.е. один из атрибутов должен быть выбран в качестве метки класса.

3. Классы должны быть дискретными, т.е. иметь конечное число значений. Каждый пример должен однозначно относиться к конкретному классу. Случаи, когда примеры принадлежат к классу с вероятностными оценками, исключаются. Количество классов должно быть значительно меньше количества примеров.

В работе программно был реализован следующий алгоритм С4.5. Пусть задано множество примеров  $T$  (исходная таблица), где каждый элемент этого множества описывается  $m$  атрибутами. Количество примеров в множестве  $T$  определяет мощность этого множества, которую будем обозначать  $|T|$ . Пусть метка класса

принимает следующие значения  $C_1, C_2 \dots C_k$ . Задача заключается в построении иерархической классификационной модели в виде дерева из множества примеров  $T$ . Процесс построения дерева происходит сверху вниз. Сначала создается корень дерева, затем потомки корня и т.д.

На первом шаге имеем пустое дерево и исходное множество  $T$ . Требуется разбить исходное множество на подмножества. Это делается путём выбора одного из атрибутов в качестве проверки. Тогда в результате разбиения получаются  $n$  подмножеств и, соответственно, создаются  $n$  потомков корня, каждому из которых ставится в соответствие своё подмножество, полученное при разбиении множества  $T$ . Затем эта процедура рекурсивно применяется ко всем потомкам корня [3, 13, 15].

Введём функцию  $freq(C_j, S)$  – количество примеров из некоторого множества  $S$ , относящихся к одному и тому же классу  $C_j$ . Тогда вероятность того, что случайно выбранный пример из множества  $S$  будет принадлежать к классу  $C_j$  будет равна

$$P = \frac{freq(C_j, S)}{|S|}. \quad (1)$$

Согласно теории информации, количество содержащейся в сообщении информации, зависит от её вероятности. Выражение

$$Info(T) = - \sum_{j=1}^k \frac{freq(C_j, T)}{|T|} \cdot \log_2 \frac{freq(C_j, T)}{|T|}, \quad (2)$$

даёт оценку среднего количества информации, необходимого для определения класса примера из множества  $T$ . В терминологии теории информации выражение (2) называется энтропией множества  $T$ .

Ту же оценку, но только уже после разбиения множества  $T$  по  $X$ , даёт следующее выражение (3):

1. ЕСЛИ Сопутствующая патология = Отсутствует,  
Работает = Да,  
Дыхательная патология = Отсутствует, Инвалидность = Нет,  
Мочеполовая система = Нарушений нет  
ТО Лечение = успешно.
2. ЕСЛИ Сопутствующая патология = Отсутствует,  
Работает = Нет,  
Пол = Мужской,  
Возраст = Средний,  
Тип операции = Симультанная  
ТО Лечение = неуспешно.
3. ЕСЛИ Сопутствующая патология = Грыжа пупочная,  
Работает = Нет,  
Пол = Женский,  
Возраст = Средний,  
Тип операции = Комбинированная,  
Мочевина\_в\_моче = Не норма,  
Триглицериды = Норма,  
Кальций\_общий = Не норма,  
Магний = Норма,  
Анализ\_крови = Норма,  
Холестерин\_общий = Норма  
ТО Лечение = успешно.

Рис. 4. Фрагмент набора продукционных правил после раскодирования

$$Info_x(T) = \sum_{i=1}^n \frac{|T_i|}{|T|} \cdot Info(T_i). \quad (3)$$

Тогда критерием для выбора атрибута будет являться следующая формула:

$$Gain(X) = Info(T) - Info_x(T). \quad (4)$$

Критерий (4) вычисляется для всех атрибутов таблицы. Выбирается атрибут, который максимизирует данное выражение [4]. Этот атрибут будет являться проверкой в текущем узле дерева и по нему производится дальнейшее построение дерева. Из полученного таким образом дерева решений

составляется набор продукционных правил, фрагмент которых показан на рис. 4. Программная реализация данного алгоритма позволяет автоматизировать извлечение знаний из базы данных пациентов для ситуационной экспертной системы. Примеры извлеченных знаний в виде продукционных правил приведены на рис. 4.

#### Заключение

Проблемы в области медицины, которые, как известно, не имеют однозначных решений и сопровождаются боль-

шим объёмом информации, требуют применения современных компьютерных методов и технологий.

В статье рассмотрена разработка информационно-аналитической системы принятия решений при лечении органов брюшной полости пациентов. Структура системы предусматривает формирование предварительного диагноза состояния пациента на основе нейросетевого и статистического анализа электронной медицинской карты.

На основании разработанной регрессионной модели получен прогноз показателя эффективности выполнения симультанных оперативных вмешательств, позволяющий выбрать наиболее эффективную интраоперационную тактику.

Для оперативного контроля состояния больного в ходе операции или получения быстрой консультации в случае возникновения критической ситуации в системе предусмотрена экспертная оценка происходящего с возможностью речевого диалога хирурга с интеллектуальной системой.

Программная реализация информационной системы выполнена на языке программирования Java в инструментальной среде IDE IntelliJ IDEA. Система, построенная по открытому принципу, предусматривает возможность расширения своих функций.

#### Литература

1. ИТ в здравоохранении [Электрон. ресурс]. URL: <https://www.osp.ru/medit/2018/10/13054507.html> (дата обращения: 05.03.19).
2. Интегрированные операционные залы [Электрон. ресурс]. URL: <http://www.winnermedical.com.ua/integrirrovannye-operacionnye-zaly> (дата обращения: 10.03.19).
3. Технологии анализа данных [Электрон. ресурс]. URL: <https://basegroup.ru/> (дата обращения: 01.03.19).
4. С4.5: Алгоритмы для машинного обучения. Morgan Kaufmann Publishers [Электрон. ресурс]. URL: <https://www.rulequest.com/Personal/> (дата обращения: 05.03.19).

5. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Фёдоров И.П. Принятие решений на основе нечётких моделей. Примеры использования. Рига: Зинатне, 1990. 184 с.
6. Верткина Н.В., Хамитов Ф.Ф. Клинико-экономические аспекты симультанных операций у больных пожилого и старческого возраста // Клиническая геронтология. 2008. № 4. С. 5–10.
7. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. 3-е изд. М.: Диалектика, 2007. С. 912
8. Корневский Н.А. и др. Проектирование систем поддержки принятия решений для медико-экологических приложений. Курск: КГТУ, 2004. 180 с.

9. Корневский Н.А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования // Вестник новых медицинских технологий. 2006. Т. XIII. № 2. С. 6–9.

10. Леоненков А.В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

11. Руанет В.В., Хетагурова А.К. Информационные технологии в медицине – введение

в медицинскую информатику. М.: МАКСПресс, 2003. 67 с.

12. Рыков А.С. Модели и методы системного анализа: принятие решений и оптимизация. Учебное пособие для вузов. М.: «МИСИС», Издательский дом «Руда и металлы», 2005. 352 с.

13. Селякова С.М. Нечёткая модель и алгоритм решения задачи выбора медикаментозной терапии // Искусственный интеллект. 2014. № 1 (63). С. 126–131.

## References

1. IT in healthcare [Internet]. URL: <https://www.osp.ru/medit/2018/10/13054507.html> (Cited: 05.03.19). (In Russ.)

2. Integrated operational rooms [Internet]. URL: <http://www.winnermedical.com.ua/integriruvannyye-operacionnyye-zaly> (data obrashcheniya: 10.03.19). (In Russ.)

3. Data analysis technologies [Internet]. URL: <https://basegroup.ru/> (Cited: 01.03.19). (In Russ.)

4. C4.5: Algorithms for machine learning. Morgan Kaufmann Publishers [Internet]. URL: <https://www.rulequest.com/Personal/> (Cited: 05.03.19). (In Russ.)

5. Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Prinyatiye resheniy na osnove nechetkikh modeley. Primery ispol'zovaniya. = Decision making based on fuzzy models. Examples of using. Riga: Zinatne, 1990. 184 p. (In Russ.)

6. Vertkina N.V., Khamitov F.F. Clinical and economic aspects of simultaneous operations in patients of elderly and senile age Klin. gerontologiya = Clinic gerontology. 2008; 4: 5-10. (In Russ.)

7. Dreyer N., Smit G. Prikladnoy regressionnyy analiz. Mnozhestvennaya regressiya. = Applied regression analysis. Multiple regression. 3rd ed. Moscow: Dialectics; 2007: 912. (In Russ.)

8. Korenevskiy N.A. et al. Proyektirovaniye sistem podderzhki prinyatiya resheniy dlya

mediko-ekologicheskikh prilozheniy. = Designing decision support systems for medical and environmental applications. Kursk: KGTU; 2004. 180 p. (In Russ.)

9. Korenevskiy N.A. Designing decision-making systems on fuzzy network models in the tasks of medical diagnostics and forecasting. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy = Bulletin of new medical technologies. 2006; XIII; 2: 6-9. (In Russ.)

10. Leonenkov A.V. Nechetkoye modelirovaniye v srede MATLAB i fuzzyTECH = Fuzzy simulation in MATLAB and fuzzyTECH. Saint Petersburg: BHV-Petersburg; 2005. 736 p. (In Russ.)

11. Ruанet V.V., Khetagurova A.K. Informatcionnyye tekhnologii v meditsine – vvedeniye v meditsinskuyu informatiku. = Information technology in medicine - an introduction to medical informatics. Moscow: MAKSPress; 2003. 67 p. (In Russ.)

12. Rykov A.S. Modeli i metody sistemnogo analiza: prinyatiye resheniy i optimizatsiya. Uchebnoye posobiye dlya vuzov. = Models and methods of system analysis: decision making and optimization. Textbook for universities. Moscow: “MISIS”, Publishing house “Ore and metals”; 2005. 352 p. (In Russ.)

13. Selyakova S.M. Fuzzy model and algorithm for solving the problem of the choice of drug therapy. Iskusstvennyy intellekt = Artificial Intelligence. 2014; 1(63): 126-131. (In Russ.)

## Сведения об авторах

### **Олег Иванович Федяев**

*к.т.н., доцент, заведующий кафедрой программной инженерии  
Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина  
Эл почта: fedyaev@donntu.org*

### **Валерий Сергеевич Бакаленко**

*ассистент кафедры программной инженерии  
Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина  
Эл почта: valeriy.bakalenko@gmail.com*

## Information about the authors

### **Oleg I. Fedyaev**

*Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,  
Head of the Department of Software Engineering  
Donetsk National Engineering University,  
Donetsk, Ukraine  
E-mail: fedyaev@donntu.org*

### **Valeriy S. Bakalenko**

*Assistant of the Department of Software Engineering  
Donetsk National Engineering University,  
Donetsk, Ukraine  
E-mail: valeriy.bakalenko@gmail.com*