На правах рукописи

**ТАТАРЕНКОВ Алексей Александрович**

# МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ ПАТОЛОГИИ НА ОСНОВЕ РЕФЛЕКСОДИАГНОСТИКИ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

**Специальность - 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации**

**АВТОРЕФЕРАТ**
**диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук**

003058943

**Курск - 2007**

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Курский государственный технический университет»

| | |
|---|---|
| Научный руководитель | доктор технических наук, профессор<br>Кореневский Николай Алексеевич |
| Официальные оппоненты | доктор технических наук, профессор<br>Титов Виталий Семенович |
| | кандидат технических наук<br>Жилинкова Людмила Анатольевна |
| Ведущая организация | Государственное унитарное предприятие<br>«Научно-исследовательский институт новых медицинских технологий»<br>(г Тула) |

Защита диссертации состоится «28» мая 2007 года в 14 часов в конференц-зале на заседании диссертационного совета Д 212 105 03 при Курском государственном техническом университете по адресу 305040, г Курск, ул 50 лет Октября 94

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Курского государственного технического университета

Автореферат разослан «27» апреля 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212 105 03 Старков Ф А

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы** Сердечно-сосудистые заболевания различной этиологии являются одной из ключевых проблем современной медицины Несмотря на значительные успехи, достигнутые в последние десятилетия в диагностике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний, число больных с этим видом патологии продолжает увеличиваться (Хадарцев А А , Лазаренко В А , Веневцева Ю Л , Есауленко И Э )

В связи с тем, что эффективность лечения сердечно-сосудистых заболеваний в значительной мере зависит от точности прогноза, диагностики стадий и степени их тяжести, одним из основных направлений в выборе рациональных стратегии ведения больных с этой патологией является совершенствование методов классификации, включая прогнозирование возникновения заболеваний, донозологическую и дифференциальную диагностику (Есауленко И Э , Фролов В Н , Львович Я Е , Субботина Т И , Устинов А Г )

Известные методы обследования больных с сердечно-сосудистой патологией, как правило, обеспечивают их точную нозологическую интерпретацию Однако при ряде сердечно-сосудистых заболеваний известные подходы требуют значительных затрат, иногда с использованием весьма болезненных инвазивных процедур В связи с этим становится актуальной задача поиска методов, облегчающих и ускоряющих процедуры прогнозирования и диагностики различных типов сердечно-сосудистой патологии

Исследования показали, что повысить качество решения исследуемого класса задач можно, используя методы теории нечетких множеств в сочетании с разведочным анализом, и рефлексологии с привлечением современных информационных технологии

Исходя из того, что существующие методы и средства диагностики сердечно-сосудистых заболеваний не обеспечивают требуемого качества классификации при заданных ограничениях на время принятия решения и технико-экономические затраты, а высокий процент этих заболеваний требует решения задач повышения качества диагностики и лечения, проблема повышения эффективности систем поддержки принятия решений, позволяющих исследовать различные проявления сердечно-сосудистых заболевании, является весьма актуальной

Работа выполнена в соответствии с научным направлением Курского государственного технического университета «Разработка медико-экологических информационных технологий» и в соответствии с научно-технической программой «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники», подпрограмма 204 «Технология живых систем»

**Целью диссертационной работы** является разработка методов и средств управления процессами прогнозирования и ранней диагностики

сердечно-сосудистой патологии, обеспечивающих повышение оперативности и качества решаемых задач в условиях нечеткого представления исходных данных с пересекающейся структурой исследуемых классов

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи

- разработать метод построения нечетких решающих правил для прогнозирования различных типов болезней сердечно-сосудистой системы,
- предложить метод определения информативных биологически активных точек и осуществить их выбор для прогнозирования и диагностики сердечно-сосудистой патологии,
- разработать метод построения нечетких решающих правил для ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний по разнородной системе признаков,
- получить набор меридианных моделей управления энергетическими характеристиками меридианных биологически активных точек сигналами, параметры которых зависят от состояния сердечно-сосудистой системы,
- синтезировать правила прогноза и ранней диагностики ряда распространенных и опасных сердечно-сосудистых заболеваний,
- разработать структуру системы поддержки принятия решений для задач прогнозирования и диагностики сердечно-сосудистых заболеваний,
- провести апробацию предложенных методов и средств прогнозирования и диагностики сердечно-сосудистых заболеваний на примере артериальной гипертензии и инсультов головного мозга

**Методы исследований.** Для решения поставленных задач использовались методы системного анализа, моделирования, теории распознавания образов, нечетких множеств, прикладной статистики, экспертного оценивания и рефлексологии

**Научная новизна.** В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной

- метод построения нечетких решающих правил для решения задач прогнозирования, основанный на представлении сердечно-сосудистой патологии в виде нечетких образов описываемых разнородными признаками, отличающийся тем, что агрегация нечетких прогностических правил осуществляется с учетом структуры исходных данных, позволяющий определять уверенность перехода из класса относительно здоров в классы сердечно-сосудистых заболеваний в течение определенных времен наблюдения с учетом ограничений на время и стоимость обследования
- метод получения информативных биологически активных точек, отличающийся возможностью определения таких их списков, использование которых минимизирует ошибку классификации от неоднозначностей связи по каждой из них в общей меридианной структуре организма и позволяющий строить правила рефлексодиагностики с учетом энергетических состояний меридиан и наличия сопутствующей патологии

- метод построения нечетких решающих правил для ранней диагностики сердечно-сосудистой патологии отличающийся тем, что вид и параметры функций принадлежностей и правила их агрегации уточняются в процессе обучении в зависимости от структуры используемых подпространств, которые формируются по данным опроса, осмотра, инструментальных исследований и по энергетическим характеристикам проекционных зон, что позволяет получать правила принятия решений с требуемым качеством в условиях неполного и нечеткого представления исходных данных, при пересекающихся структурах классов

- нечеткие правила для ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, отличающиеся использованием разнородных данных о химических, физических, биологических и причинных факторах риска исследуемого класса заболеваний, позволяющие оценивать степень риска сердечно-сосудистой патологии с уверенностью не хуже 0,97 и выбирать рациональные схемы профилактических мероприятий

- правила прогнозирования артериальной гипертензии и мозговых инсультов, и правила ранней диагностики гипертензии, отличающиеся использованием данных характеризующих различные условия и проявления жизнедеятельности, позволяющие обеспечивать высокое качество прогнозирования и диагностики при приемлемых для практики временных и медико-технических затратах

**Практическая значимость и результаты внедрения работы.**

Разработанные методы, модели, решающие правила и алгоритмы составили основу построения автоматизированной системы поддержки принятия решений, используемой при решении задач прогнозирования и ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, клинические испытания которой показали целесообразность ее использования в клинической практике

Основные теоретические и практические результаты работы приняты к внедрению в отделение сосудистой хирургии МУЗ «Городская больница скорой медицинской помощи № 1» г Курска и в учебном процессе Курского государственного технического университета при подготовке специалистов направления «Биомедицинская инженерия» по дисциплинам «Методы обработки биомедицинских сигналов и данных» и «Автоматизированные медико-технологические информационные системы»

Экономическая и социальная значимость результатов диссертационного исследования состоит в улучшении качества медицинского обслуживания больных с сердечно-сосудистой патологией

**Положения выносимые на защиту.**

1 Методы построения нечетких решающих правил для прогнозирования и ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний позволяют получать правила принятия соответствующих решений работающих в разнородном

признаковом пространстве в условиях неполного и нечеткого представления исходных данных при пересекающихся структурах классов

2 Метод формирования списков биологически активных точек позволяет получать их минимальные наборы с учетом всех существенных факторов влияющих на энергетическое состояние этих точек позволяя регистрировать основную и сопутствующую патологию

3 Нечеткие решающие правила прогнозирования и ранней диагностики сосудистых заболеваний позволяющие обеспечивать требуемое для медицинской практики качество классификации при приемлемых временных и технико-экономических затратах на получение прогностической и диагностической информации

**Апробация работы.** Основные результаты работы были представлены и обсуждались на VIII и IX международных научно-технических конференциях «Медико-экологические информационные технологии», (Курск 2005, 2006), на X и XII Российских научно-технических конференциях «Материалы и упрочняющие технологии», (Курск 2003, 2005), на 7-ой международной конференции «Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации Распознавание-2005», (Курск 2005), на научной конференции «Интеграция медицины и образования», (Курск 2006) на Всероссийской конференции «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы» Рязань (2006) и на научно-технических семинарах кафедры биомедицинской инженерии КурскГТУ, Курск 2003 - 2007 гг

**Публикации** По материалам диссертации опубликовано 11 печатных работ, перечень которых приведен в конце автореферата, из них одна работа в журнале рекомендованном ВАК РФ

В работах [1, 4] соискателем в составе систем поддержки принятия решений предложены алгоритм выделения информативных признаков и контроля состояния человека по состоянию биологически активных точек, блок прогноза состояния человека и алгоритм обучения нечетких решающих модулей, в работах [2, 3] предлагается механизм анализа данных для решения задач синтеза нечетких решающих правил используемых для прогнозирования и диагностики заболеваний, в работе [5, 7, 11] рассматриваются вопросы применимости нечетких решающих правил для решения задач прогнозирования для медицинских приложений, в работе [9] разрабатывается метод синтеза нечетких решающих правил для решения задач прогнозирования и производится его апробация на сосудистых заболеваниях глаз, в [6, 8, 10] осуществляется выбор информативных биологически активных точек для прогнозирования и диагностики сердечно-сосудистых заболеваний

**Структура и объем диссертации** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка, включающего 126

наименований Объем диссертации 157 страниц машинописного текста, 59 рисунков и 13 таблиц

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, определены цели и задачи работы, ее научная новизна и практическая значимость, определены методы решения сформулированных задач, приведены сведения об апробации и внедрении результатов работы

**В первой главе** на основе обзора литературы, обосновано использование аппарата нечеткой логики принятия решений в медицине, включая исследуемый класс заболеваний Показано, что определенную прогностическую и диагностическую ценность в решении задач прогнозирования и ранней диагностики представляют энергетические характеристики биологически активных точек, в связи с чем рассмотрены современные представления о методах принятия решений в рефлексодиагностике На основе анализа существующих автоматизированных систем ранней диагностики сделан вывод о целесообразности разработки системы поддержки принятия решений ориентированной на прогнозирование и диагностику сердечно-сосудистых заболеваний В заключении первой главы определяются цель и задачи исследования

**Во второй главе** разрабатываются методы построения решающих правил для задач прогнозирования и ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний на основе рефлексодиагностики и нечеткой логики принятия решений

Для построения нечетких прогностических решающих правил из множества возможных вариантов решения задач прогнозирования было выбрано две основных их постановки

- определить с какой уверенностью при наличии определенных факторов риска у обследуемого может развиться одно или несколько выбранных для исследования заболеваний сердечно-сосудистой системы $\omega_i$ в течение фиксированного интервала времени,

- определить через какое время и с какой уверенностью у обследуемого может развиться сердечно-сосудистая патология с учетом возможных сочетанных заболеваний при известных ограничениях на информативные признаки (факторы риска) и время получения информации

Для таких вариантов прогнозирования перехода обследуемого из класса здоров в класс болен предлагается следующий **метод построения нечетких прогностических решающих правил**

1 Для выделенных экспертами классов $\omega_0$ - не заболеет патологией $\omega_i$ и $\omega_i$ - заболеет в течение выбранного времени $T_0$ патологией $\omega_i$ формируется пространство информативных признаков $X=(x_1, x_i, x_n)$, которые могут рассматриваться как факторы риска при прогнозировании возникновения

класса $\omega_l$. Далее по результатам оценки структуры классов с использованием методов разведочного анализа определяются носители $Y_\kappa = F_t(x)$ и функции принадлежностей к классам $\omega_0$ и $\omega_l$ - $\mu^{\wedge}_{\omega_0}(Y_\kappa)$ и $\mu^{\kappa}_{\omega_l}(Y_\kappa)$ обеспечивая максимально возможные значения функций принадлежностей при их минимальном пересечении по шкалам $Y_\kappa$ стремясь к минимальному количеству доступных для измерения факторов риска где $\kappa$ – номер частного решающего правила определения уверенности в том, что обследуемый в течение времени $T_0$ из класса $\omega_0$ перейдет в класс $\omega_l$

2 Частные функции принадлежностей агрегируются в финальные решающие правила расчета коэффициентов уверенности в прогнозах для классов $\omega_0$ и $\omega_l$-$КУ_{\omega 0}$ и $КУ_{\omega l}$ с учетом структурных и функциональных свойств частных функций принадлежностей и структуры разделяемых классов Выбор частных и финального прогностических правил целесообразно осуществлять из следующих соображений

Если при агрегации частных решающих правил стоит задача минимализации риска неправильного прогноза, то общий расчет уверенности в прогнозе в пользу класса $\omega_l$ следует определять в соответствии с правилом

$$КУ_{\omega_l} = \min_{\kappa}\{КУ_{\omega_l}(\kappa)\} \qquad (1)$$

При агрегировании решающих правил минимизирующих риск от «потери» объектов своего класса и (или), если по условию задачи каждая из составляющих вносит определяющий вклад в прогноз по классу $\omega_l$, то рекомендуется использовать выражение типа

$$КУ_{\omega_l} = \max_{\kappa}\{КУ_{\omega_l}(\kappa)\} \qquad (2)$$

При условии, что выбранные экспертами признаки (факторы риска) таковы, что каждый из них вносит вклад в увеличение уверенности в прогнозе в пользу класса $\omega_l$, а отсутствие того или иного признака означает лишь некоторое снижение общей уверенности, то для агрегирования частных правил целесообразно использовать итерационные зависимости вида

$$КУ_{\omega_l}(\kappa+1) = f\left[КУ_{\omega_l}(\kappa), КУ^{*}_{\omega_l}(\kappa+1), \alpha^{\kappa}_{\omega_l}\right], \qquad (3)$$

или ее модификация

$$КУ_{\omega_l}(\kappa+1) = КУ_{\omega_l}(\kappa) + КУ^{*}_{\omega_l}(\kappa+1)\left[1 - КУ_{\omega_l}(\kappa)\right], \qquad (4)$$

где $КУ\omega_l(\kappa)$ – уверенность в прогнозе по классу $\omega_l$ на $\kappa$–ом шаге итерации при применении $\kappa$–го частного решающего правила, (в частном случае $\mu_{\omega_l}(x_t)$ ), $КУ^{*}_{\omega_l}(\kappa+1)$ - уверенность в прогнозе $\omega_l$ при поступлении нового свидетельства в пользу $\omega_l$ [нового решения, в частном случае $КУ^{*}_{\omega_l}(\kappa+1) = \mu_{\omega_l}(x_{t+1})$], $\alpha^{\wedge}_{\omega_l}$ - весовые коэффициенты характеризующие

вклад частного коэффициента в общую прогностическую уверенность по классу $\omega_l$

В случае использования нескольких прогностических классов $\omega_l$ ($l$=1, , L) рассмотренный выше механизм может быть применен по отношению к каждому классу $\omega_l$ в отдельности При этом следует иметь ввиду, что пространство информативных признаков может быть общим для всех классов, а может использовать каждый свои пространства и подпространства признаков (факторов риска)

Практических врачей больше интересует уверенность перехода обследуемых в класс $\omega_l$, поэтому оно является базовым и относительно него целесообразно производить дальнейшие построения

3 Если в ходе синтеза прогностических решающих правил имеется возможность сформировать контрольные выборки, то производится набор групп обследуемых среди которых есть люди с различными факторами риска, характеризующими возможность появления патологии $\omega_l$ Для каждого из обследуемых для условно выбранного времени t=0 определяется и запоминается величина $КУ_{\omega l}$

По истечении времени $T_0$ формируется две контрольные выборки обследуемые оставшиеся в классе $\omega_0$ и обследуемые перешедшие в класс $\omega_l$

В зависимости от целей прогноза выбираются показатели качества прогнозирования θ специфичность (С), чувствительность (Ч), прогностическая значимость положительных результатов ($ПЗ^+$), прогностическая значимость отрицательных результатов ($ПЗ^-$) и (или), диагностическая эффективность (ДЭ)

4 Для объектов репрезентативных контрольных выборок на шкале $КУ_{\omega l}$ строятся гистограммы классов $\omega_0$ и $\omega_l$ - $h_{\omega 0}(КУ_{\omega l})$ и $h_{\omega l}(КУ_{\omega l})$, по которым определяется порог срабатывания правила $КУ_{\omega l}$ - $КУ^{П}_{\omega l}$ исходя из критерия минимизации ошибки классификации Относительно полученного порога по объектам контрольной выборки рассчитываются выбранные показатели качества θ, которые сравниваются с экспертной уверенностью в правиле $КУ_{\omega l}$

5 При соответствии результатов полученных на контрольной выборке показатели качества соответствуют экспертной оценке, то синтез решающих правил заканчивается В противном случае считаем объекты контрольной выборки обучающей выборкой и производим коррекцию формы и параметров функций принадлежностей решая задачу максимизации функционала

$$\theta_{\omega l} = F_{\theta_{\omega l}}\left\{F_{aq}\left[\mu_{\omega l}\left(A, F(x)\right)\right]\right\} \Rightarrow \max,$$

при ограничениях типа

$$\sum_{i=1}^{m} t_i \le t_{don}, \sum_{i=1}^{m} C_i \le C_{don},$$

где $F_{\theta_{\omega l}}$ – функция пересчета величины $КУ_{\omega l}$ в показатель качества $\theta_{\omega l}$,

$F_{aq}$ – функция агрегирования частных решающих правил в финальное правило, А – параметры функций принадлежностей, Г – функция вычисления шкалы носителя функций принадлежностей, m – число факторов риска, $t_r$ – время затрачиваемое на получение значения фактора риска с номером r, $C_r$ – стоимость получения значения признака с номером r, $t_{доп}$, $C_{доп}$ – ограничения на общее время и стоимость получения прогностической информации

6 Формируется дополнительная контрольная выборка для которой повторяется пункт 5 либо до достижения заданного качества прогнозирования либо до принятия решений по изменению структуры признакового пространства или окончания процесса синтеза по другим причинам

7 Выполнение пунктов 1-6 для различных интервалов времени $T_{0q}$ позволяет уточнить интервал прогнозирования $T_0$ обеспечивающий требуемые показатели качества, а так же синтезировать системы решающих правил для различных значений $T_{0q}$, что эквивалентно определению времени перехода обследуемого из класса $\omega_0$ в класс $\omega_1$ с дискретностью $\Delta T_{0q}=T_{0q}-T_{0(q-1)}$

Проведенными исследованиями было установлено, что наряду с другими факторами риска высокой информативностью по отношению к задачам прогнозирования и ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний обладают электрические характеристики биологически активных точек, для которых на кафедре биомедицинской инженерии КурскГГУ был разработан алгоритм поиска групп диагностически значимых точек (ДЗГ) связанных с исследуемым заболеванием или его проявлениями, названными ситуациями $x_0$, измерение электрических характеристик которых позволяет уточнять наличие $x_0$ с одновременным исключением влияния других составляющих $x_к$(к=1,2 , К) на энергетические характеристики БАТ из ДЗТ

Работа этого алгоритма основана на том, что для получения списка БАТ, которые потенциально могут подтвердить искомую ситуацию (диагноз $x_0$) и исключить остальные возможные ситуации $x_к$ или по крайней мере минимизировать список последних, предлагается строить двоичную таблицу связей (ДТС) по строкам которой выписываются все БАТ имеющие связи с ситуацией $x_0$ по столбцам этой таблицы без повторений выписываются все возможные ситуации, присущие всем отобранным БАТ Выбранные для диагноза $x_0$ БАТ называют претендентами на информативные БАТ $Y_j$(j=1,2 , J)

Элементами этой таблицы служат двоичные переменные $a_{kj}=\{0,1\}$, где «0» обозначает факт отсутствия связи между $y_j$ и $x_k$, а «1» означает что такая связь есть Поиск ДЗТ осуществляется путем минимизации выражения

$$Z=\sum_{j=1}^{J-1}\bigcap_{k=1}^{K} a_{kj}\ \ a_{k(j+1)} \Rightarrow 0 \qquad (5)$$

Доказано, что минимальное значение выражения (5) образуется ДЗТ

Анализ решения различных задач прогнозирования и диагностики показал, что алгоритмы минимизирующие выражение (5) позволяют получать списки ДЗТ обладающие достаточно высокой информативностью только если ситуация $x_0$ известна, достаточно точно определена и соответствует общепринятому названию заболеваний Если же у обследуемого имеются сочетанные заболевания, меридианная энергетика выходит за рамки номинальных значении и точки ДЗТ лежат на разных меридианах, исследование выделенных при минимизации (5) ДЗТ не обеспечивает потенциально достигженного качества классификации

Для устранения этого недостатка предлагается **метод формирования списка информативных биологически активных точек с учетом меридианных взаимосвязей и сочетанных заболеваний.**

Метод реализуется следующей последовательностью деиствий

1 При решении задачи выбора информативных БАТ когда однозначно задана ситуация $x_0$, наличие которой надо подтвердить или опровергнуть, осуществляется минимизация выражения (5) и, если $Z(x_0)=0$, то выбираема группа (группы) ДЗТ ($x_0$) считается однозначно заданной и если их несколько то предпочтение отдается той из них, которая обеспечивает максимальное значение критерия вычисляемого по формуле

$$T_r = \alpha_1 I_r + \alpha_2 \text{МД}_r + \alpha_3 N_r + \alpha_4 T_r, \qquad (6)$$

где $r$=1, , R – число групп ДЗТ$_r$, $I_r$ – информативность рассчитываемая для $r$-ой группы точек традиционными методами, например как средняя информативность точек из ДЗТ$_r$ по Кульбаку, МД$_r$ – мера доверия к $r$ – ой группе точек определяемая через соответствующую функцию принадлежности или через коэффициент уверенности по правилам рассмотренным в предыдущем разделе, $N_r$ – принадлежность $r$ – ой группы ДЗТ$_r$ к разным меридианам определяемая из соотношения $Nr=1/n_{h_r}$, $n_{h_r}$ число меридиан на которых располагаются точки из ДЗТ$_r$ с номером $r$, $T_r$ – технологичность съема информации определяемая как количество баллов определяющих простоту доступа к ДЗТ$_r$, $\alpha_1$, , $\alpha_4$ – весовые коэффициенты каждой из составляющих в общей оценке предпочтительности группы ДЗТ$_r$

Если $Z(x_0)\neq 0$, то в ДТС выделяются столбцы не имеющие нулевых коэффициентов связи Эти столбцы соответствуют неисключаемым с помощью выбранных ДЗТ ситуациям $x_t$ Для них строятся свои двоичные таблицы связей с последующей минимизацией выражения (5), позволяющие определить возможность анализа наличия или отсутствия $x_t$ по энергетическим характеристикам БАТ

Если находятся списки БАТ обеспечивающих нулевое значение $Z(x_t)$, то для них определяются ДЗТ($x_t$), которые вводятся в состав информативных БАТ

Если находятся $x_t$ для которых $Z(x_0)\neq 0$, то экспертами определяется возможность их исключения традиционными методами по данным опроса, осмотра, инструментальных и (или) лабораторных исследований с выделением дополнительных информативным признаков $x_t(t)$

2 Если формируется список ДЗТ для определения энергетического состояния меридиана с именем h (h=1, ,H), то задача минимизации выражения (5) производится по его главным и (или) конечным точкам выбранным для анализа без выделения ситуации $x_0$

В ходе выполнения этой части алгоритма формируются списки БАТ и других признаков, анализ которых позволяет исключить влияние на энергетику меридиана различных ситуаций и определять его истинное энергетическое состояние

3 Для определения сочетанных заболеваний $x_p$, в соответствие п 1 алгоритма определяются ДЗТ ($x_0$) основной патологии $x_0$ и, если выбранные сочетанные заболевания $x_p$ не совпадают с неисключаемыми с помощью БАТ ситуациями $x_t$, то для них производится формирование «своих» ДТС($x_p$) с передачей управления на поиск ДЗТ($x_p$) возможно с привлечением новых таблиц ДТС($x_t^{Д}$) для поиска ДЗТ($x_p$, t), и $x_t$(p,t)

Если анализируемая сочетанная патология $x_p$ в соответствующей ДТС совпадает с неисключаемой ситуацией $x_t$, то при $Z(x_t^{Д})=0$, целесообразно искать информативные признаки другого типа, или довольствоваться заниженным показателем качества прогноза и (или) диагностики

4 Если заранее не известен список ни основного ни сопутствующих заболеваний то, в предельном случае из атласа меридиан выбирается весь список ситуаций соответствующий множеству реализуемых прогностических и (или) диагностических гипотез ($\omega_t$) Относительно каждой из них составляются свои двоичные таблицы связей ДТС ($x_t$) и определяются списки ДЗТ по правилам описанным выше

Анализ диагностических возможностей меридианных и внемеридианных биологически активных точек показывает, что на основании данных об их энергетических характеристиках можно оценивать не только возможное наличие сосудистой патологии, но и их локализацию (глаза, мозг, конечности и т д )

Принимая во внимание, что и прогноз и диагноз по биологически активным точкам целесообразно ставить по диагностически значимым точкам, и что искомая ситуация подтверждается только при одновременном изменении

энергетического состояния всех БАТ входящих ДЗТ, а так же используя рекомендации кафедры Биомедицинской инженерии КурскГТУ в качестве базовой формулы для расчета уверенности в диагнозе $\omega_l$ выберем логическое выражение вида

$$ЕСЛИ\left[\left(\forall Y_J \in ДЗТ_{\omega l}\right)\delta R_J \geq \delta R_J^{П}\right] ТО$$
$$\left(O_m \in \omega_l \quad КУ_{\omega l}\right) ИНАЧЕ \left(O_m \notin \omega_l\right) \qquad (7)$$

где $\delta R_J$ величина относительного отклонения электрического сопротивления БАТ от его номинального значения, а логика принятия решения определяется следующим образом если для всех БАТ принадлежащих списку ДЗТ для класса $\omega_l$ отклонение сопротивления БАТ больше некоторой пороговой величины $\delta R_J^{П}$, то объект с номером m ($O_m$) принадлежит классу $\omega_l$ с уверенностью КУ$\omega_l$, иначе $O_m$ классу $\omega_l$ не принадлежит

Уверенность в классе $\omega_l$ для различных групп точек и различных заболеваний может быть определена аналогично формулам 1 4 с заменой $КУ_{\omega l}(\kappa)$ *или* $= КУ^{*}_{\omega l}(\kappa+1)$ на $\mu_{\omega l}\left(\delta R_J\right)$, причем выражение (4) может быть трансформировано в явное выражение вида

$$КУ^{Б}_{\omega l}\left(J+1\right) = КУ_{\omega l}(J) + \mu_{\omega l}\left(\delta R_{J+1}\right)\left[1 - КУ_{\omega l}(J)\right], \qquad (8)$$

где $КУ_{\omega l}(1) = \mu_{\omega l}\left(\delta R_1\right)$

Верхний индекс Б обозначает, что КУ$_{\omega l}$ рассчитывается только на основании энергетических характеристик БАТ

С учетом возможного энергетического разбаланса меридиан и наличия сочетанных патологий **метод построения нечетких решающих правил для ранней диагностики** сердечно-сосудистых заболеваний определяется следующей последовательностью действий

1 По атласам меридиан выбираются точки связанные с риском возникновения и с наличием сердечно-сосудистой патологии Из этих точек выделяются те, которые связаны с выбранной локализацией и для каждой из них, по всем выбранным типам заболеваний с использованием метода формирования списка информативных БАТ определяются списки ДЗТ и других признаков, для которых на основании собственного опыта или по данным разведочного анализа, по методике разработанной на кафедре биомедицинской инженерии строятся соответствующие функции принадлежностей, синтезируются частные решающие правила типа 1, 2, 3 и (или) 8 и выбирается порог срабатывания правила (7) Рекомендуемый порог для ранних стадий заболеваний 15% Определяется ориентировочная величина $КУ^{БЭ}_{\omega l}$ которая может быть достигнута по энергетическим характеристикам БАТ из ДЗТ

2 Расчетным путем (по величинам максимальных значении $\mu_{\omega l}(\delta R_j)$ определяется достижимость $КУ^{Б}_{\omega l}$ заданного экспертами значения В случае их совпадения выполняется пункт 4 В противном случае следующий пункт

3 Если рассчитанный $КУ^{Б}_{\omega l}$ отстает от заданного экспертами $КУ^{БЭ}_{\omega l}$ решается вопрос о привлечении дополнительных БАТ для уточнения диагноза $\omega l$ Если такие точки в общем списке БАТ отобранных в п 1 находятся то для них строятся свои функции принадлежностей $\mu_{\omega l}(R^{Д}_{j})$ которые агрегируются в общее решающее правило по одной из формул (1, 2 3, 4 8) Далее аналогично п 2 определяется достижимость $КУ^{БЭ}_{\omega l}$

4 При отсутствии возможности получения контрольной выборки выполняется пункт 5, а при наличии такой возможности формируются контрольные выборки здоровых людей и людей с установленной исследуемой патологией $\omega_l$ и потом проверяется правильность срабатывания правила (7) по всем использованным правилам агрегаций с расчетом показателей чувствительности, специфичности и диагностической эффективности и, если полученные показатели близки к $КУ^{БЭ}_{\omega l}$, то отдав предпочтение лучшему из правил выполняется пункт 5 Если полученные показатели, по мнению экспертов далеки от $КУ^{БЭ}_{\omega l}$ то, по величине расхождения $КУ^{Б}_{\omega l}$ и $КУ^{БЭ}_{\omega l}$ эксперты принимают решение о возможной корректировке параметров функций принадлежностей и правил агрегации в сторону приближения $КУ^{Б}_{\omega l}$ к $КУ^{БЭ}_{\omega l}$, и если это удается, то такая корректировка производится до тех пор пока эксперты не придут к заключению, что диагностические возможности БАТ исчерпаны, тогда наилучшие параметры правила (7) фиксируются Если есть возможность формирования контрольной выборки то производится возврат к пункту 4, если нет то выполняется следующий пункт

5 Зная диагностическую уверенность в диагнозе $\omega_l$ достигаемую только по энергетическим характеристикам БАТ эксперты определяют список факторов риска заболевания и дополнительных информативных признаков которые могут быть получены на этапе ранней диагностики и по ним используя методы разведочного анализа и рекомендации разработанные на кафедре биомедицинской инженерии, синтезируются нечеткие решающие правила по выражениям (1, 2, 3, 4) используя $КУ^{Б}_{\omega l}$ как частный коэффициент уверенности в общем решающем правиле Если после их синтеза имеется возможность использования контрольной выборки, то выполняются действия аналогичные п 4 Далее если нет необходимости синтезировать решающие правила для сочетанных заболеваний и определения энергетических характеристик меридиан синтез правил принятия решений заканчивается

6 При работе с сочетанными заболеваниями они рассматриваются как самостоятельная патология которые необходимо подтвердить или опровергнуть аналогично тому как это делается по основной патологии

7 При построении решающих правил для определения энергетического состояния меридиан частные решающие правила строятся аналогично предыдущим пунктам, а решение осуществляются по правилу

ЕСЛИ (**для выбранной главной или конечной точки все ситуации не подтверждаются**) ТО (**изменить энергетическую характеристику выбранной точки**) ИНАЧЕ (**сменить точку для анализа**)

В результате применения рассмотренного метода синтезируются наборы нечетких решающих правил, которые могут использоваться самостоятельно или в составе более общих нечетких решающих правил, вплоть до решающих правил базы знаний систем поддержки принятия решений для врачей специалистов

**В третьей главе** разрабатываются основные элементы автоматизированной системы управления процессами прогнозирования и ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний для чего на первом этапе используя предложенный во второй главе метод определения информативных БАТ нами были получены следующие списки ДЗТ по основной патологии артериальная гипертензия ($x_{ог}$) (GI11, GI15), по основной патологии инсульт ($x_{ои}$) - одна точка GI10 без образования ДЗТ, по основной ситуации преинсультное состояние ($x_{оп}$) – (TR10, VG16), по основной патологии нарушение мозгового кровообращения ($x_{он}$) – (E39, V40)

Для выделенных ДЗТ и других информативных БАТ были синтезированы графические меридианные модели, которые предъявляются пользователю на экране монитора и позволяют проследить какие ситуации могут повлиять на изменение энергетических характеристик БАТ и по каким путям доводятся воздействия до корректируемых ситуаций Дополнительные удобства для пользователя создаются если использовать так называемый механизм раскраски меридианных моделей, который позволяет визуально проследить перераспределение энергетического состояния на меридианном и межмеридианном уровне

Проведенными исследованиями было показано, что несмотря на определенную прогностическую и диагностическую ценность, только энергетических характеристик БАТ недостаточно для качественного решения поставленных в работе цели и задач Поэтому используя информацию от высококвалифицированных экспертов нами был определен список общих факторов риска по сердечно-сосудистым заболеваниям в который вошли табакокурение ($x_1$), употребление алкоголя ($x_2$), в анамнезе отравление тяжелыми металлами (свинец, ртуть и др) и (или) ядами органического происхождения ($x_3$), дефицит цинка и селена приводящий к разрушению сосудов ($x_4$), избыточность массы тела ($x_5$), гиподинамия ($x_6$),

психоэмоциональные перегрузки, стресс ($x_7$), содержание холестерина в крови ($x_8$), содержание в крови менопротеидов высокой плотности ($x_9$), содержание менопротеидов низкой плотности ($x_{10}$), наличие признаков атеросклероза головного мозга по данным опроса ($x_{11}$), индекс функциональных изменений ($x_{12}$)

В соответствии с предложенным методом синтеза решающих правил по перечисленным факторам риска были получены функции принадлежностей к классу $\omega_R$ – риск появления сердечно-сосудистых заболеваний - $\mu_{\omega_R}(x_i)$

Общий риск появления сердечно-сосудистых заболеваний $K^0_{\omega_R}$ определяется выражением (4) и достигает величины 0,97 Доля каждой составляющей в общей уверенности в классе $\omega_R$ и общая достижимая уверенность с учетом экспертных оценок иллюстрируется рис 1

Анализ рис 1 показывает, что несмотря на небольшой "вес" каждой из частных составляющих уверенности в классе риск сердечно-сосудистых заболеваний, общая уверенность по всем составляющим по мнению экспертов достигает достаточно большой величины приемлемой для решения практических задач

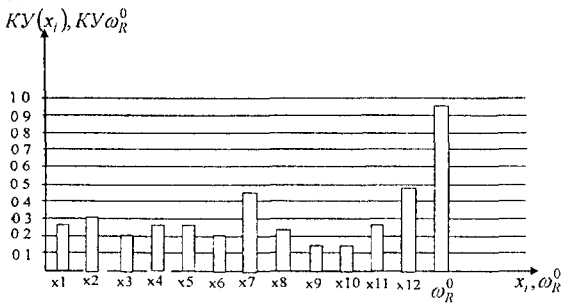


Рис 1 Распределение коэффициентов уверенностей в $\omega_R$ по частным составляющим

Для определения пограничной артериальной гипертензии (донозологический, ранний диагноз, класс $\omega_P$) в качестве информативных признаков были выбраны электрические характеристики БАТ VB20, E36 и F3 с ДЗТ {F3, E36} с частным решающим правилом типа (7) для расчета $КУ^Б_{\omega_P}$ и величины систолического и диастолического давления по которым определялись функции принадлежности $\mu_{\omega_P}(P_C)$ и $\mu_{\omega_P}(P_Д)$ Общая уверенность в классе $\omega_P$ определяется выражением

$КУ^Г_{\omega_P} = \max\left\{КУ^Б_{\omega_P}, \mu_{\omega_P}(P_C), \mu_{\omega_P}\left(P_Д\right)\right\}$ и достигает величины 0,9

Для решения задачи определения риска возникновения инсультов в качестве факторов риска были использованы признаки и соответствующие им диагностические баллы S приведенные в работе Т А Фоминой Используя в качестве носителя соответствующую сумму баллов нами была получена функция принадлежности к классу риск появления инсультов головного мозга $\mu_{\omega_{RII}}(S)$ дающая уверенность в правильной классификации не выше 0,75

Для повышения качества прогнозирования этого заболевания предлагается дополнительно использовать группу БАТ С9, VB21, R6, E39 связанных с ситуацией нарушение мозгового кровообращения с ДЗТ {С9, VB21} По этой группе точек получены соответствующие функции принадлежностей и решающее правило по типу (7) для расчета уверенности $КУ^{I}_{RII}$ Кроме этого существуют точки связанные с ситуацией прединсультное состояние – MC9 и TR10, для которых получено решающее правило по типу (7) с расчетом $КУ^{II}_{RII}$

Агрегированное решающее правило прогноза риска возникновения инсультов имеет вид

$$КУ_{II} = \mu_{\omega_{RII}}(S) + КУ^{I}_{RII} + КУ^{II}_{RII} - \mu_{\omega_{RII}}(S)\ КУ^{I}_{RII} - \mu_{\omega_{RII}}(S)\ КУ^{II}_{RII} - КУ^{I}_{RII}\ КУ^{II}_{RII} + \mu_{\omega_{RII}}(S)\ КУ^{I}_{RII}\ КУ^{II}_{RII} \quad (9)$$

При наличии всех факторов риска величина $КУ_{И}$ достигает значения 0,87, что для данного класса заболеваний является хорошим показателем по точности прогноза

Разработанные методы модели и алгоритмы составили основу построения системы поддержки принятия решений структура которой приведена на рис 2 Основная информация о состоянии пациента накапливается и корректируется в электронной медицинской карте (ЭМК) обследуемого (пациента) являющейся составной частью базы данных системы поддержки принятия решений БД СППР входящей в состав программного обеспечения системы (ПО СППР)

Кроме ЭМК в базе данных хранятся стандартные опросники для реализации автоматизированных опросов и осмотров, формы запросов и бланков инструментальных и лабораторных исследований, опросники психологических тестов для определения степени психоэмоционального напряжения как фактора риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний, которые предъявляются испытуемому через блок психологических тестов (БПТ) и интерфейс пользователя (ИП), опросники для нагрузочных тестов реализуемых через экран монитора, через второй блок нагрузочных тестов (БНТ2) и через специальную аппаратуру воздействия (АВ), через первый блок нагрузочных тестов (БНТ1), наборы кодов воздействий в зависимости от результатов прогнозирования и диагностики управляющие работой АВ через блок корректирующих воздействий (БКВ),

списки диагностически значимых и дополнительных точек, таблицы меридианных и межмеридианных связей и другая информация необходимая для реализации механизмов рефлексодиагностики и рефлексотерапии и т д

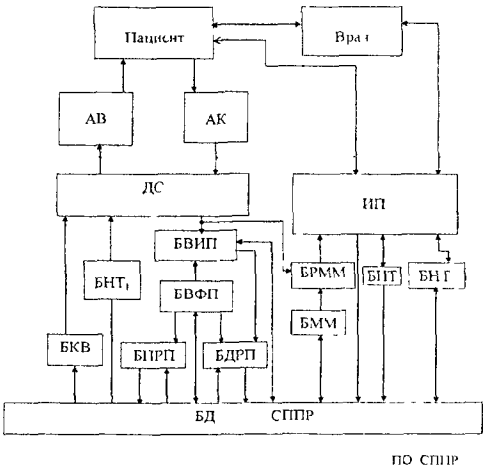


Рис 2 Структура системы поддержки принятия решения

Информация о состоянии пациента частично вводится через аппаратуру контроля (АК), частично с клавиатуры ПЭВМ через ИП и частично берется из ЭМК хранимои в БД СППР Связь внешнеи аппаратуры с ПЭВМ осуществляется соответствующими драйверами связи (ДС) откуда блок выделения информативных признаков (БВИП) выбирает признаки производя при необходимости их нормирование и готовя носители для вычисления функций принадлежности блоком вычисления функций принадлежностей (БВФП) Расчет коэффициентов уверенности в прогнозе или диагнозе и их сравнение с пороговыми значениями осуществляется блоками прогностических и диагностических решающих правил (БПРП) и (БДРП) соответственно

Графические образы меридианных моделей хранятся в банке меридианных моделей (БММ), а их «раскраска» осуществляется блоком раскраски меридианных моделей (БРММ)

**В четвертой главе** приводятся результаты экспериментальных исследований с проверкой качества работы решающих правил по критериям диагностической чувствительности (ДЧ), специфичности (ДС), прогностической значимости положительных ($ПЗ^{+}$) и отрицательных ($ПЗ^{-}$) результатов и диагностической эффективности (ДЭ) Рассчитываемые на репрезентативной контрольной выборке показатели качества сравниваются с коэффициентами уверенности в принимаемых решениях $КУ_{\omega/}$ полученными в

ходе синтеза соответствующих решающих правил и согласованных с экспертными заключениями (табл 1)

Таблица 1

Таблица контрольных испытаний и экспертных оценок решающих правил

| Класс | Показатель качества по контрольной выборке | | | | | Экспертная уверенность | Максимальное отклонение в |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ДЧ | ДС | ПЗ' | ПЗ | ДЭ | $КУ_{эj}$ | % |
| $\omega_R$ | 0,98 | 0,96 | 0,95 | 0,98 | 0,97 | 0,97 | 2% |
| $\omega_{RГ}$ | 0,94 | 0,95 | 0,93 | 0,96 | 0,95 | 0,96 | 3% |
| $\omega_P$ | 0,93 | 0,94 | 0,92 | 0,95 | 0,93 | 0,9 | 5% |
| $\omega_{RИ}$ | 0,97 | 0,97 | 0,95 | 0,98 | 0,97 | 0,95 | 3% |

$\omega_R$ – риск появления сердечно-сосудистых заболеваний в течение ближайших трех лет без конкретизации диагноза,

$\omega_{R_i}$ – риск появления артериальной гипертензии в течение ближайших трех лет,

$\omega_P$ – пограничная гипертензия (донозологический диагноз),

$\omega_{RИ}$ – риск появления мозговых инсультов в ближайшие три года

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что показатели качества срабатывания полученных решающих правил имеют хорошее совпадение с экспертной уверенностью в этих правилах (отклонение не превышает 5%), что позволяет рекомендовать полученные теоретические и практические результаты к внедрению в медицинскую практику

**В заключении** сформулированы научные и практические результаты исследования

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате выполнения работы получены следующие основные результаты

1 Разработан метод построения нечетких решающих правил прогнозирования различных типов сердечно-сосудистой патологии, который позволяет получать решающие правила для задач определения риска выбранного класса заболеваний с достаточной для практики степенью уверенности при неполном и нечетком представлении разнородной исходной информации в условиях нечеткого описания границ между здоровьем, предболезнью и болезнью

2 Создан метод определения информативных биологически активных точек использование которых позволяет минимизировать ошибку классификации за счет учета их взаимосвязей в меридианных структурах

3 Разработан метод построения нечетких правил для ранней диагностики, позволяющий агрегировать информацию от различных признаковых подпространств (опрос, осмотр, данные инструментальных и лабораторных исследований) в решающие правила обеспечивающие высокое

качество классификации при заданных ограничениях на время и стоимость обследования

4 Получен набор меридианных моделей позволяющий визуально оценивать энергетические характеристики меридианных структур и выбирать рациональную тактику ведения обследуемых с высоким риском сердечно-сосудистой патологии и пациентов с различными стадиями этого класса заболеваний

5 Синтезированы правила прогноза и диагностики ранних стадий сердечно-сосудистых заболеваний, позволяющие в условиях неполных и нечетко представленных данных получать уверенность в принимаемых решениях на уровне 0,9

6 Разработана структура автоматизированной системы поддержки принятия решений для прогнозирования и диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, позволяющая формулировать рекомендации по рациональному ведению пациентов соответствующего профиля Исследования проведенные на репрезентативных контрольных выборках показали, что прогностическая уверенность в правильном принятии решения по исследуемой группе сердечно-сосудистой патологии рассчитываемая на трехлетний период превышает значение 0,96, правила прогноза заболеваний артериальной гипертензией «работают» с уверенностью 0,95, правила диагностики первичной артериальной гипертензии обеспечивают уверенность на уровне 0,9, а прогнозирования мозговых инсультов – на уровне 0,95

## СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Татаренков, А А Выбор структуры системы поддержки принятия решений для задач диагностики и управления состоянием здоровья человека и окружающей среды [Текст]/ Б П Бочков, А А Татаренков // Медико-экологические информационные технологии материалы VIII международной научно-технической конференции / Курск гос техн ун-т Курск, 2005 с 57-60

2 Татаренков, А А Обоснование использования диалоговых систем распознавания образов в задачах медицинской диагностики [Текст]/ А А Татаренков, Е Н Кореневская // Медико-экологические информационные технологии материалы VIII международной научно-технической конференции / Курск гос техн ун-т Курск, 2005 с 64-68

3 Татаренков, А А Анализ данных в задачах медицинской диагностики [Текст]/ А А Татаренков // Сборник научных трудов «Инновационные методы в образовании, науке и медицине» / Курск гос техн ун-т Курск, 2005 с 109-110

4 Татаренков, А А Структура иерархической нечеткой сети для систем поддержки принятия решении врачей специалистов [Текст]/ Н А

Кореневский, А А Татаренков, Д В Ходеев // Сборник материалов 7 международной конференции «Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации Распознавание-2005» / Курск гос техн ун-т Курск, 2005 с 221-223

5 Татаренков, А А Сетевые нечеткие модели в задачах медицинской и психологической диагностики [Текст]/ А А Бурмака, А А Татаренков, А В Брежнев // Сборник материалов XII Российской научно-технической конференции «Материалы и упрочняющие технологии-2005» Курск гос техн ун-т Курск, 2005 с 187-189

6 Татаренков, А А Построение нечетких моделей для прогнозирования и диагностики сосудистых заболеваний [Текст]/ Н А Кореневский, А А Татаренков // Интеграция медицины и образования Сб мат науч конф - Курск Изд-во КГУ, 2006 с 54-57

7 Татаренков, А А Синтез решающих правил в задачах медицинского прогнозирования [Текст]/ Н А Кореневский, В В Буняев, А А Татаренков // Интеграция медицины и образования Сб мат науч конф - Курск Изд-во КГУ, 2006 с 55-54

8 Татаренков, А А Прогностические и диагностические возможности биологически активных точек при сосудистых патологиях [Текст]/ Н А Кореневский, А А Татаренков // Медико-экологические информационные технологии материалы IX международной научно-технической конференции / Курск гос техн ун-т Курск, 2006 с 131-134

9 Татаренков, А А Прогнозирование, дифференциальная диагностика и лечение сосудистых заболеваний глаз на основе нечеткой логики принятия решений [Текст]/ А И Березников, Н А Кореневский, А А Татаренков // Вестник новых медицинских технологий Тула, 2006 Т XIII №2 с 12-15

10 Татаренков, А А Прогнозирование сосудистых патологий с использованием нечетких решающих правил [Текст]/ А А Татаренков // Сборник материалов XIII Российской научно-технической конференции с международным участием «Материалы и упрочняющие технологии-2006» Курск гос техн ун-т Курск, 2006 с 148-150

11 Татаренков, А А Синтез нечетких прогностических решающих правил для медицинских приложений [Текст]/ А А Татаренков, М А Ефремов // Материалы XIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биомедсистемы-2006» Рязанский гос радиотехн ун-т Рязань, 2006 с 87-89

ИД № 06430 от 10 12 01 г
Подписано в печать _____ 200__г Формат 60x84 1/16
Печатных листов 1,0 Гираж 100 экз Заказ 19
Курский государственный технический университет
Издательско-полиграфический центр Курского государственного технического университета
305040, г Курск, ул 50 лет Октября, 94