



На правах рукописи

Еремин Андрей Владимирович

**МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ НЕЧЕТКОГО
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБОСТРЕНИЯ И ОЦЕНКА СТЕПЕНИ
ТЯЖЕСТИ БОЛЬНЫХ ГЕНИТАЛЬНОЙ ВИРУСНОЙ
ИНФЕКЦИЕЙ**

Специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

АВТОРЕФЕРАТ

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

Санкт-Петербург – 2010

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Курский государственный технический университет» на кафедре биомедицинской инженерии

Научный руководитель

заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
Корневский Николай Алексеевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Коротков Константин Георгиевич

кандидат технических наук, доцент
Руденко Вероника Викторовна

Ведущая организация

ГОУ ВПО Воронежский государственный
технический университет

Защита диссертации состоится «__» _____ 2010 года в __ часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.238.09 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «__» _____ 2010 г.

Ученый секретарь совета
по защите докторских
и кандидатских
диссертаций



Болсунов К.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Несмотря на значительные усилия, затрачиваемые на решение задач повышения качества медицинского обслуживания населения, проблема повышения уровня здоровья жителей России остается весьма далекой от своего решения. Это в значительной мере относится к герпесу, являющемуся одной из самых распространенных инфекций человека. По данным ВОЗ, около 80% населения земного шара инфицировано вирусом простого герпеса (ВПГ), смертность от вирусных инфекций, обусловленная ВПГ (15,8%), занимает второе место после гриппа. Инфицированность герпесом растет, по темпам опережая прирост населения планеты. Неконтролируемый повсеместный рост заболеваемости герпесом ставит проблему герпес-вирусной инфекции в один ряд с самыми актуальными и социально значимыми проблемами здравоохранения.

Специалисты, решающие задачи повышения качества оказания медицинских услуг населению, включая больных, страдающих заболеваниями кожи, одной из важных составляющих в общем процессе совершенствования методов управления лечебно-диагностическим процессом называют эффективное прогнозирование и диагностику, которые с учетом ограничений на оперативность, стоимость и качество принимаемых решений можно обеспечить, применяя современные информационные технологии, опирающиеся на методологию системного анализа.

Это позволит рационализировать подход к ведению больных и повысить эффективность лечения.

С учетом сказанного, актуальность темы исследования определяется необходимостью повышения эффективности прогнозирования обострения и оценки тяжести течения болезни на основе современных математических методов и информационных технологий, что позволит своевременно начать лечебно-профилактические мероприятия, планировать индивидуальную тактику ведения больного и за счет этого повысить качество оказания медицинских услуг населению, страдающему герпес-вирусной инфекцией.

Работа выполнена в соответствии с федеральной целевой программой «Предупреждение и борьба с социально значимыми заболеваниями (2007-2011 годы)»; подпрограммой «Инфекции, передаваемые половым путем (постановление правительства Российской Федерации от 10.05.07 №280)» и научным направлением Курского государственного технического университета «Медико-экологические информационные технологии».

Цель работы. Разработка методов, моделей и алгоритмов для систем поддержки принятия решений врача-дерматолога, обеспечивающих повышение качества прогнозирования обострения и оценки степени тяжести генитального герпеса за счет применения комбинированных нечетких решающих правил, использующих разнородную информацию о состоянии различных структур организма и сохраняющих высокое качество классификации при нечеткой информации и пересекающейся структуре классов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- на основании данных об этиологии и патогенезе генитального герпеса сформировать систему информативных признаков, изучить структуру классификационных данных, определить цель исследования и выбрать адекватный математический аппарат;

- разработать метод определения уровня защитных механизмов организма, препятствующих обострению генитального герпеса;

- разработать метод синтеза нечетких решающих правил для прогнозирования обострения и оценки степени тяжести генитального герпеса;

- синтезировать набор нечетких решающих правил для прогнозирования обострения и оценки степени тяжести выбранного класса заболевания;

- разработать модели взаимодействия внутренних структур организма с поверхностными биологически активными точками меридианных структур, меняющими свое энергетическое состояние при обострении генитального герпеса;

- синтезировать алгоритм управления процессами принятия решений и структуру программного обеспечения соответствующей автоматизированной системы;

- провести апробацию предложенных методов и средств на репрезентативных контрольных выборках.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методология искусственного интеллекта, теория биотехнических систем, методы системного анализа, теории нечеткой логики принятия решений, экспертного оценивания, статистического анализа и математического моделирования. Для синтеза и проверки качества работы нечетких решающих правил использовалась система компьютерной математики MATLAB 7 SP1 и пакет визуального моделирования Simulink с системой нечеткой логики Fuzzy Logic Toolbox.

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

- метод определения уровня защитных механизмов организма препятствующих возникновению обострений и снижающих степень тяжести генитального герпеса, отличающийся комплексным учетом адаптационных резервов и энергетического разбаланса общесистемных структур организма в сочетании с данными лабораторных исследований, позволяет повысить точность решения выбранного класса задач;

- метод синтеза нечетких решающих правил для прогнозирования обострения и оценки степени тяжести больных генитальной вирусной инфекцией, отличающийся тем, что при получении частных и финальных решающих правил используется информация о структуре данных и выбранных классов состояний, что позволяет строить решающие правила, обеспечивающие достаточное для практики качество принятия решений в условиях неполного и нечеткого представления исходных данных с нечеткими границами выделяемых классов;

- система нечетких решающих правил для прогнозирования обострения и оценки степени тяжести генитального герпеса, отличающихся тем, что высокое качество принятия решений обеспечивается агрегированием различных типов

правил, выбираемых в соответствии со структурой данных, с учетом защитных механизмов и индивидуальных особенностей организма, что позволяет достигать уверенности в принимаемых решениях на уровне 0,85 и выше в зависимости от количества собираемой о пациентах информации;

- меридианная модель взаимодействия органов и систем организма с биологически активными точками, «связанными» с исследуемым заболеванием, отличающаяся возможностью контроля энергетического баланса структур организма, меняющегося при обострении генитального герпеса, что позволяет составлять рациональные схемы рефлексотерапии и повысить точность прогноза обострения выбранной патологии.

- алгоритм управления процессами принятия решений по прогнозированию, оценке степени тяжести и формированию лечебно-профилактических рекомендаций, составивший основу построения программно-аппаратного комплекса, поддерживающего работу врача-дерматолога, отличающийся возможностью улучшения параметров нечетких решающих правил, обеспечивает высокое качество принятия решений по выбранному классу задач и позволяет обеспечивать приемлемую для медицинской практики эффективность работы соответствующей системы поддержки принятия решений.

Практическая значимость и результаты внедрения работы

Разработанные методы, модели, решающие правила и алгоритмы составили основу построения системы поддержки принятия решений врача-дерматовенеролога, клинические испытания которой показали целесообразность ее использования в медицинской практике.

Применение предложенных в диссертации разработок позволяет снизить риск обострения генитального герпеса, а также выработать рациональные схемы проведения лечебно-оздоровительных мероприятий, повышая эффективность лечения и сокращая его сроки.

Основные теоретические и практические результаты работы внедрены в составе медицинской информационной системы в практическую деятельность Курского областного клинического кожно-венерологического диспансера и используются в учебном процессе Курского государственного технического университета при подготовке специалистов по направлению «Биомедицинская инженерия».

Экономическая и социальная значимость результатов диссертационного исследования состоит в улучшении качества медицинского обслуживания населения, страдающего заболеваниями кожи.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях: на IX международной конференции «Компьютерные технологии в науке, производстве, социальных и экономических процессах» (Новочеркасск, 2008); на XII международной научно-технической конференции «Медико-экологические информационные технологии» (Курск, 2009); на Всероссийской научно-технической конференции «Биомедицинская инженерия и биотехнология» (Курск, 2009); на III Всероссийской научно-технической конференции «Информационные и управляющие технологии в медицине и

экономике» (Пенза, 2009); на XVI Российской научно-технической конференции с международным участием «Материалы и упрочняющие технологии» (Курск, 2009); на научно-технических семинарах кафедры «Программное обеспечение и администрирование информационных систем» Курского государственного университета (Курск, 2007, 2008, 2009).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 14 печатных работ, перечень которых приведен в конце автореферата. Из них 5 работ в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка, включающего 174 отечественных и 48 зарубежных наименований. Работа изложена на 135 страницах машинописного текста, содержит 35 рисунков и 17 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определены цели и задачи работы, ее научная новизна и практическая значимость, выбраны методы исследования, сформулированы задачи, приведены сведения об апробации и внедрении результатов работы.

В первой главе проанализированы современные подходы к решению задач прогнозирования, диагностики и управления состоянием здоровья людей, страдающих дерматологическими заболеваниями, и показано, что улучшить качество медицинского обслуживания этих больных можно при использовании современных математических методов, включая теорию нечеткой логики принятия решений и информационные технологии. В заключении главы определяются цель и задачи исследования.

Во второй главе на основании сведений об этиологии и патогенезе генитального герпеса с привлечением группы высококвалифицированных экспертов было сформировано комбинированное пространство информативных признаков, состоящее из нескольких разнотипных блоков.

1. Признаки, характеризующие функциональное состояние организма: Z_1 – уровень психоэмоционального напряжения (ПЭН); Z_2 – уровень хронического физического утомления (ХФУ), определяемые по субъективным тестам Спилбергера-Ханина, показателям внимания и энергетической реакции биологически активных точек (БАТ), связанных с психоэмоциональной сферой, в соответствии с методикой, разработанной на кафедре биомедицинской инженерии КурскГТУ (БМИ КГТУ);

2. Признаки, характеризующие энергетическое состояние БАТ, связанных с заболеваниями кожи (точки F11, VC1, VC7, VG1 и P7 во французской классификации).

3. Признаки, определяемые по данным лабораторных исследований и отобранные в ходе оценки их информативности по Кульбаку: a_1 – иммунорегуляторный коэффициент CD4+/CD8+(индекс); a_2 – CD4+25+T – лимфоциты, экспрессирующие рецепторы (процент от CD4+T клеток); a_3 – активированные NK – клетки (экспрессирующие NLA-DR-молекулы, процент NK-клеток); a_4 – фенопик NK-клеток CD3-16+56 (высокая, процент); c_1 – Т-хелперы / индукторы CD3+4+(процент); c_2 – незрелые Т– лимфоциты

CD3+4+8+(процент); c_3 – подкласс цитологических Т– лимфоцитов CD3 (16/56)+(процент от CD3+Т-клеток); c_4 – NK-клетки CD3-16/56+(кл/мкл). В этой группе признаки a_q информативны по отношению к задаче оценки защитных свойств организма, а признаки c_p – по отношению к задачам оценки степени тяжести генитального герпеса.

4. Группа признаков, получаемых по данным осмотра и опроса: b_1 – в анамнезе ОРВИ, грипп или другие болезни, ослабляющие иммунную систему; b_2 – переохлаждение организма; b_3 – перегрев организма; b_4 – медицинские манипуляции на половых органах; b_5 – злоупотребление алкоголем; b_6 – чрезмерное пребывание на солнце или злоупотребление солярием (избыточный ультрафиолет); b_7 – в анамнезе микрохирургические вмешательства на тройничном нерве.

Особенностью выбранного класса задач является то, что у пациентов установлено наличие генитального герпеса (ГГ), поэтому в качестве основных решаемых задач работы были выбраны задачи прогнозирования обострения ГГ и оценки степени его тяжести. Задача прогнозирования обострения ГГ рассматривается как задача классификации на два класса: обострение наступит в течение заданного времени T_0 (класс $\omega_{об}$); стадия ремиссии без риска возникновения обострения в течение времени T_0 (класс ω_0).

В задаче оценки степени тяжести ГГ выделяются: продромальный период (класс $\omega_{пр}$); стадия клинической симптоматики (с длительностью до трех дней (класс ω_1)); стадия клинической симптоматики до десяти дней (класс ω_2); стадия клинической симптоматики с непрерывно длящимися рецидивами (класс ω_3).

С целью выбора адекватного математического аппарата по выбранным классам состояний был проведен разведочный анализ, в ходе которого было установлено что система исходных признаков носит неполный и нечеткий характер, а структура классов такова, что для них невозможно составить достаточно точного формализованного описания и, более того, исследуемые классы плавно переходят друг в друга, а зоны пересечения классов «учитель» четко не идентифицирует. Многочисленный опыт решения задач распознавания образов показывает, что в таких условиях из всего разнообразия методов теории распознавания образов целесообразно использовать теорию нечеткой логики принятия решений.

Из множества известных подходов к синтезу нечетких решающих правил в предлагаемой работе был выбран подход, развиваемый на кафедре биомедицинской инженерии КурскГТУ, в котором объединяются методы построения нечетких решающих правил по Заде, методы синтеза, предложенные Шортлиффом, и методы разведочного анализа.

Основными элементами решающих правил являются функции принадлежности к выделяемым классам состояний ω_ℓ с областями рассуждений s , определяемыми на шкалах факторов риска и других

информативных признаков – $\mu_{\omega_\ell}(s)$, коэффициенты уверенностей в изучаемых гипотезах KU_{ω_ℓ} , меры доверия и недоверия к гипотезам ω_ℓ ($MД_{\omega_\ell}$, $MНД_{\omega_\ell}$).

Работами многочисленных исследователей было убедительно доказано, что появлению и развитию различных заболеваний, включая генитальный герпес, в значительной степени препятствуют защитные механизмы организма.

Для учета защитных механизмов при синтезе нечетких решающих правил предлагается **метод определения защитных механизмов организма, препятствующих возникновению обострений и «смягчающих» степень тяжести генитального герпеса**, в соответствии с которым в финальные правила нечеткого вывода о принадлежности обследуемого к классу ω_ℓ предлагается включать формулу для определения уверенности в защитных механизмах по отношению к выделяемым классам $\omega_\ell - UZ_{\omega_\ell}$, которую будем рассматривать как меру недоверия к гипотезе ω_ℓ .

В качестве показателей, характеризующих защитные свойства организма, в работе используются: уровень уверенности в защитных свойствах организма, определяемый через адаптационный потенциал (АП), рассчитываемый по Р.М. Баевскому, – $UZ^*(АП)$; уровень защитных свойств, определяемый по энергетической реакции биологически активных точек (БАТ), «связанных» с общесистемной реакцией организма, – $UZ^*(ЭР)$; уровень защитных свойств организма по данным лабораторных исследований UZ_L^* (по признакам типа a_q).

Каждый из этих показателей определяется с использованием следующих нечетких выражений:

$$UZ^*(АП) = \mu_{\omega_\Gamma}(АП),$$

$$UZ^*(ЭР) = \begin{cases} 0,3, & \text{если } KU_{ЭР} < 0,2; \\ -0,5KU_{ЭР} + 0,4, & \text{если } 0,2 \leq KU_{ЭР} < 0,8; \\ 0, & \text{если } KU_{ЭР} \geq 0,8, \end{cases}$$

$$UZ_L^*(j+1) = UZ_L^*(j) + \mu_{\omega_\Gamma}(a_q)[1 - UZ_L^*(j)],$$

где $\mu_{\omega_\Gamma}(АП)$ – функция принадлежности, определяющая уверенность в защитных свойствах организма относительно заболевания генитальным герпесом (класс ω_Γ), показывающая степень уменьшения числа обострений этого заболевания в зависимости от уровня АП; $KU_{ЭР}$ – коэффициент уверенности в энергетическом разбалансе БАТ, «связанных» с общесистемной реакцией организма, определяемый по методике, разработанной на кафедре биомедицинской инженерии КурскГТУ; $\mu_{\omega_\Gamma}(a_q)$ – функции принадлежности к уровню защитных свойств организма по данным лабораторных исследований.

Агрегация всех полученных составляющих в финальное решающее правило, определяющее защитные свойства организма от появления и развития генитального герпеса, записывается выражением:

$$UZ = UZ^*(АП) + UZ^*(ЭР) + UZ_L^* - UZ^*(АП) \cdot UZ^*(ЭР) - UZ^*(АП) \cdot UZ_L^* - UZ^*(ЭР) \cdot UZ_L^* + UZ^*(АП) \cdot UZ^*(ЭР) \cdot UZ_L^* \quad (1)$$

Одной из особенностей синтеза нечетких решающих правил по данным разведочного анализа является то, что последовательность получения финальных решающих правил, то есть метод их синтеза, зависит от особенностей структуры данных и решаемых задач.

С учетом специфики решаемой задачи и технологии обследования больных генитальным герпесом в работе предлагается следующий **метод синтеза нечетких решающих правил для прогнозирования обострения и оценки степени тяжести заболевания.**

1. Если решается задача прогнозирования обострения генитального герпеса, то с учетом ограничений на время, технологичность и стоимость получаемой информации на экспертном уровне определяется список факторов риска и время наиболее точного прогнозирования T_0 .

С учетом достаточной информативности БАТ, связанных с заболеваниями кожи, а также того, что энергетическая реакция БАТ возникает при высоком риске заболеваний при отсутствии соответствующих клинических проявлений, в качестве основной составляющей в прогностическом решающем правиле выбрано относительное отклонение электрических сопротивлений БАТ, «связанных» с заболеваниями кожи, от их номинальных значений – δR_j , где j – номер (имя) БАТ в списке отобранных для анализа точек.

При синтезе частного решающего правила прогнозирования класса $\omega_{об}$ по электрическим характеристикам проекционных зон на интервале (3,...,4) T_0 производится измерение электрического сопротивления выбранных БАТ, и по тем пациентам, которые имеют вирус генитального герпеса, но не получили стадию обострения, устанавливают коридор относительной нормы, который для класса ω_0 составит 100 ± 15 кОм. Таким образом, номинальное электрическое сопротивление БАТ составляет 100 кОм (измерения проводились прибором типа «РЕФЛЕКС 01-03»).

С учетом общих правил синтеза нечетких решающих правил по энергетической реакции БАТ, разработанных на кафедре БМИ КурскГТУ, для задачи прогнозирования обострения генитального герпеса получаем частное решающее правило типа:

$$\begin{aligned} & \text{ЕСЛИ } \left[(\delta R_{P7} > 15\%) \text{ И } (\delta R_{VC7} > 15\%) \right], \\ & \text{ТО } \left\{ U_{об}^B(i+1) = U_{об}^B(i) + \mu_{\omega_{об}}(\delta R_{i+1}) [1 - U_{об}^B(i)] \right\}, \text{ ИНАЧЕ } \left\{ U_{об}^B = 0 \right\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $U_{об}^B$ – частная уверенность в $\omega_{об}$ по величине электрической реакции БАТ;

$$U_{об}^B(1) = \mu_{\omega_{об}}(\delta R_{P7}); \delta R_2 = \delta R_{VC7}; \delta R_3 = \delta R_{VC1}; \delta R_4 = \delta R_{F11}; \delta R_5 = \delta R_{VG1}.$$

3. На экспертном уровне определяется список дополнительных признаков, в состав которых входят результаты опроса и осмотра, а также информация об уровне ПЭН и ХФУ.

По каждому из вновь выбранных признаков строятся гистограммы распределения классов ω_0 и $\omega_{об}$, по которым выбираются формы и параметры функций принадлежности к классу $\omega_{об}$. Учитывая, что каждый из введенных факторов увеличивают уверенность в $\omega_{об}$, в качестве финального

прогностического решающего правила выбирается формула расчета коэффициента уверенности в гипотезе $\omega_{об}$ по Е. Шортлиффу:

$$POG(j+1) = POG(j) + MD_{0\delta}^*(r)[1 - POG(j)], \quad (3)$$

где $POG(j)$ – уверенность в прогнозе обострения герпетической инфекции на j -м шаге итерации (после поступления j -факторов риска); $POG(1) = U_{об}^B$; $r = 1, \dots, 9$;

$MD_{об}^*(1) = \mu_{\omega_{об}}(Z_1)$; $MD_{об}^*(2) = \mu_{\omega_{об}}(Z_2)$; Z_1 – уровень ПЭН; Z_2 – уровень ХФУ;
 $MD_{об}^*(3) = \mu_{\omega_{об}}(b_1)$; $MD_{об}^*(4) = \mu_{\omega_{об}}(b_2)$; $MD_{об}^*(5) = \mu_{\omega_{об}}(b_3)$; $MD_{об}^*(6) = \mu_{\omega_{об}}(b_4)$;
 $MD_{об}^*(7) = \mu_{\omega_{об}}(b_5)$; $MD_{об}^*(8) = \mu_{\omega_{об}}(b_6)$; $MD_{об}^*(9) = \mu_{\omega_{об}}(b_7)$.

Правила типа (3) могут быть получены для различных временных интервалов T_0 , в результате чего уточняется интервал наилучшего прогноза либо получается график, характеризующий уверенность в прогнозе в зависимости от времени T_0 .

4. Одним из факторов, снижающих риск обострений генитального герпеса, является сопротивляемость организма инфекционным процессам, тогда с учетом (1) правило (3) модифицируется до выражения:

$$POGS = \begin{cases} 0, & \text{если } UZ \geq POG \\ POG - UZ, & \text{если } UZ < POG. \end{cases} \quad (4)$$

5. При наличии возможности формирования репрезентативных контрольных выборок в течение T_0 организуется наблюдение за больными генитальным герпесом в стадии ремиссии. Люди, которые в течение времени T_0 (в общем случае T_{0k}) не перешли в стадию обострения, относятся к первой выборке ω_0 , люди, перешедшие в класс обострения, относятся ко второй выборке $\omega_{об}$.

Далее с использованием пакета прикладных программ, разработанного на кафедре БМИ КГТУ, производится коррекция параметров функций принадлежности в направлении минимизации ошибки классификации в соответствии с выбранным критерием.

6. При решении задач определения степени тяжести генитального герпеса в качестве информативных признаков используются электрические характеристики БАТ P7 и VC7 и ряд лабораторных показателей c_P .

По шкалам измеряемых показателей δR_{P7} , δR_{VC7} и c_P строятся графики соответствующих функций принадлежности к классам ω_ℓ ($\ell = np, 1, 2, 3$)-
 $\mu_{\omega_\ell}(q_j)$ ($q_j = P7, VC7, c_1, c_2, c_3, c_4$).

Вариант поведения графиков функций принадлежности $\mu_{\omega_\ell}(q_i)$ приведен на рисунке 1.

На рисунке 1 значение $\mu_{\omega_\ell}^{\max}(q_j)$ определяет доверие экспертов к уверенности в определении стадий заболевания по одному признаку q_j .

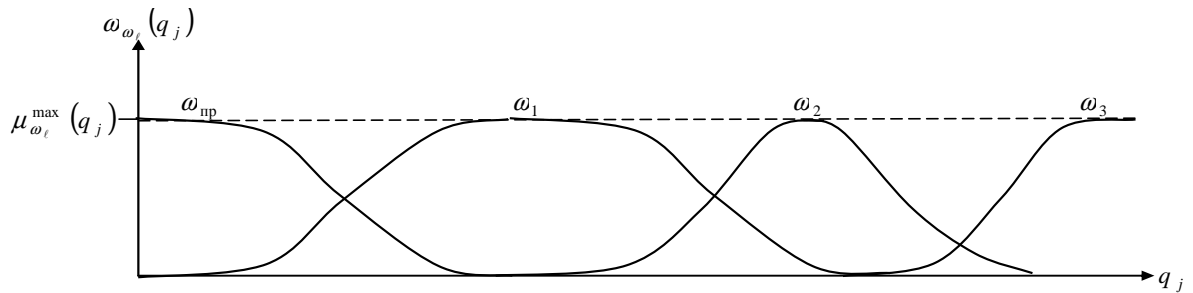


Рисунок 1 - Вариант графика функций принадлежности к классам ω_ℓ по шкале q_j

В общем случае для каждого класса ω_ℓ значения $\mu_{\omega_\ell}^{\max}(q_j)$ могут быть различны.

Учитывая, что каждый из отобранных признаков при увеличении (уменьшении) своих значений приводит к «плавному» переходу из класса в класс, с учетом рекомендаций Е. Шортлиффа в качестве агрегирующей функции для расчета уверенности в гипотезе ω_ℓ выбрано выражение

$$ST_{\omega_\ell}(p+1) = ST_{\omega_\ell}(p) + \mu_{\omega_\ell}(r)[1 - ST_{\omega_\ell}(p)], \quad (5)$$

где $ST_{\omega_\ell}(p)$ – уверенность в классе ω_ℓ на p -м шаге итерации;
 $ST_{\omega_\ell}(1) = \mu_{\omega_\ell}(\delta R_{P7})$; $\mu_{\omega_\ell}(1) = \mu_{\omega_\ell}(\delta R_{VC7})$; $\mu_{\omega_\ell}(2) = \mu_{\omega_\ell}(c_1)$; $\mu_{\omega_\ell}(3) = \mu_{\omega_\ell}(c_2)$;
 $\mu_{\omega_\ell}(4) = \mu_{\omega_\ell}(c_3)$; $\mu_{\omega_\ell}(5) = \mu_{\omega_\ell}(c_4)$.

Выбор предпочтений по конкретному классу ω_ℓ осуществляется в соответствии с выражением

$$STG_\ell = \max[ST_{\omega_\ell}]. \quad (6)$$

8. При наличии контрольных и обучающих выборок параметры выражений (5) и (6) автоматически корректируются в сторону минимума ошибки классификации.

Предложенные методы синтеза нечетких решающих правил были использованы при построении нечеткой базы знаний соответствующей системы поддержки принятия решений.

Третья глава посвящена разработке основных блоков программного обеспечения системы поддержки принятия решения (СППР) врача-дерматовенеролога, одной из задач которого является ведение больных с генитальным герпесом.

Одним из основных элементов системы поддержки принятия решений является база знаний, формируемая из соответствующего набора нечетких решающих правил.

При синтезе прогностических решающих правил на экспертом уровне, проверенном впоследствии статистическим анализом, время прогнозирования обострения генитального герпеса было выбрано длительностью $T_0 = 8$ дней.

Далее по каждой из составляющих выражения (4) были получены графики и аналитические выражения соответствующих функций принадлежности, примеры которых приведены на рисунках 2, 3.

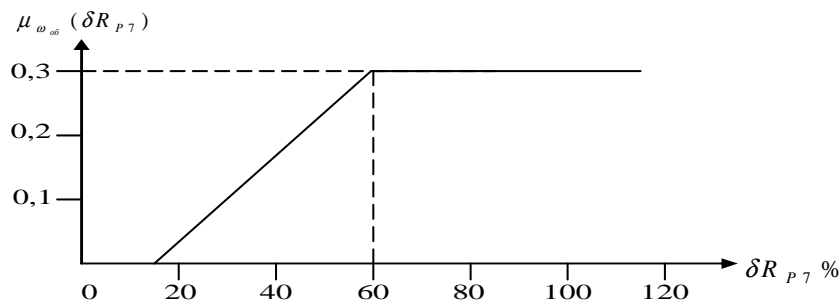


Рисунок 2 - Функция принадлежности к классу $\omega_{об}$ по величине энергетического разбаланса точки $P7$

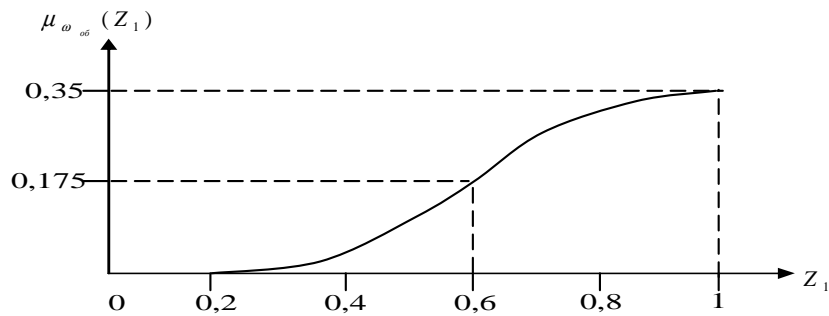


Рисунок 3 - Функция принадлежности к классу $\omega_{об}$ по уровню психоэмоционального напряжения

Результаты математического моделирования и экспертного оценивания показали, что при максимальных значениях функций принадлежности $POG^{max} = 0,91$. Для наиболее часто встречающихся значений, используемых в (3) признаков с учетом защитных механизмов организма (формула 4) величина $POGS \rightarrow 0,85$.

Аналогично для всех составляющих выражения для определения степени тяжести заболеваний были получены графики семейств функций принадлежности, примеры которых приведены на рисунках 4, 5.

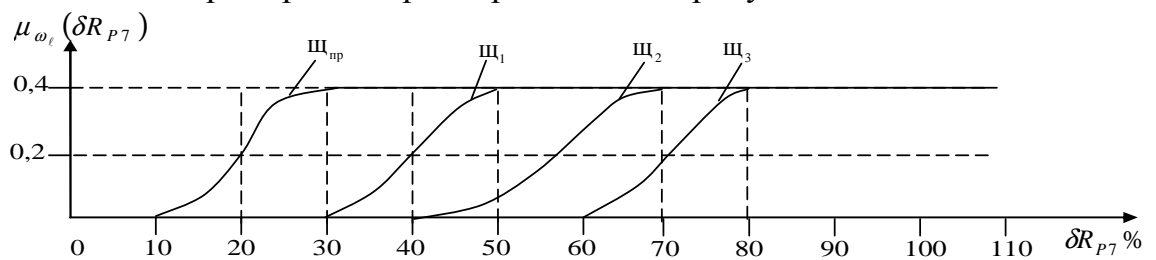


Рисунок 4 - Семейство функций принадлежности к степеням тяжести заболеваний ω_l по величине $\delta R_{вс7}$

Агрегация частных функций принадлежности для решения задач дифференциальной диагностики степени тяжести генитального герпеса осуществляется с помощью выражения (5).

При неравенстве значений ST_{ω_l} по разным классам ($l = пр, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$) решение принимается в пользу одного из классов согласно выражению (6).

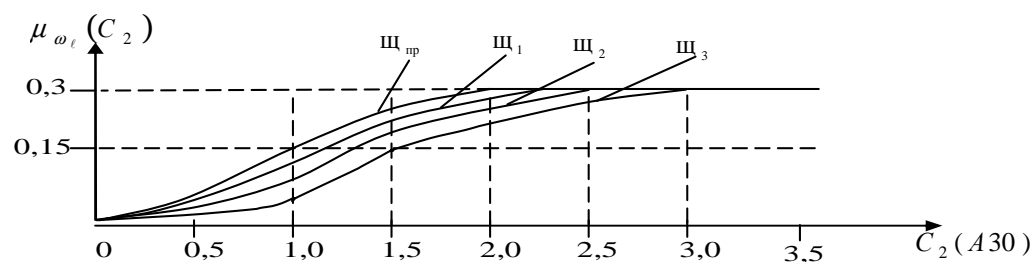


Рисунок 5 - Графики функций принадлежности к степени тяжести заболеваний ω_ℓ по величине c_2

Если наблюдается равенство значений ST_{ω_ℓ} , то решение принимается в пользу класса с большей степенью тяжести.

Результаты математического моделирования и экспертного оценивания показали, что при максимальных значениях всех функций принадлежности $ST_{\omega_\ell}^{\max}$ превышает значение 0,97. При наиболее часто встречающихся значениях информативных признаков $ST_{\omega_\ell}^{cp} \rightarrow 0,95$, что вполне приемлемо для практических приложений.

Проведенные исследования показали, что при решении задач прогнозирования, диагностики, профилактики и лечения генитального герпеса существенную помощь оказывают модели взаимодействия внутренних органов с поверхностными проекционными зонами. Общая методика построения таких моделей, называемых меридианными моделями, разработана на кафедре БМИ КурскГТУ.

В предлагаемой работе синтезирована **меридианная модель** для заболеваний кожи, включая ГГ. В компьютерном варианте графовые модели используются вместе с блоком раскраски моделей, который расцвечивает изображение БАТ, сопряженные с ними элементы моделей в различные цвета, соответствующие их энергетическому состоянию.

В ходе исследований на этапе прогнозирования и диагностики производится измерение энергетических характеристик БАТ. На этапе проведения реабилитационных мероприятий врач, наблюдая раскрашенные модели, определяет тип, интенсивность и продолжительность воздействий с тем, чтобы нормализовать энергетику меридианных БАТ (привести окраску к зеленому цвету, соответствующему номинальному энергетическому состоянию элементов меридиан). При этом хорошо прослеживается динамика процесса коррекции, визуально видно, на какие сопутствующие ситуации направлено воздействие и как оно повлияет на работу сопряженно работающих органов и (или) систем.

В разрабатываемой системе взаимодействие между пользователями и ПЭВМ осуществляется с помощью предлагаемого в работе **алгоритма управления процессами принятия решений**, состоящего из трех основных блоков.

В первом блоке решаются задачи уточнения параметров решающих правил, полученных экспертным путем, если в распоряжении пользователя имеются обучающие выборки достаточного объема. В ходе обучения

реализуется минимизация количества ошибок в соответствии с выбранным критерием качества классификации.

Во втором блоке осуществляется вычисление значений функций принадлежности и расчет частных и финальных коэффициентов уверенностей по ГГ, в результате чего определяется риск обострения заболевания или определяется стадия заболевания.

Третий блок формирует рекомендации по формированию рациональных схем проведения лечебно-профилактических мероприятий.

На рисунке 6 приведен фрагмент второго блока алгоритма управления процессами принятия решений с номерами блоков, совпадающими с номерами блоков всего алгоритма.

Если выбран режим прогнозирования – РП (блок 12), возможно использование различных групп признаков, как всех вместе, так и отдельными блоками. Выбор признаков осуществляется алгоритмическими блоками 13, 15, 17 и 19.

Если в качестве факторов риска рассматривается психоэмоциональное напряжение, то его уровень оценивается по табличным тестам ($KU_{ПЭН}^T$), по величине энергетического разбаланса БАТ, связанных с психоэмоциональной сферой ($KU_{ПЭН}^B$), и по показателям внимания ($KU_{ПЭН}^B$) (блок 14).

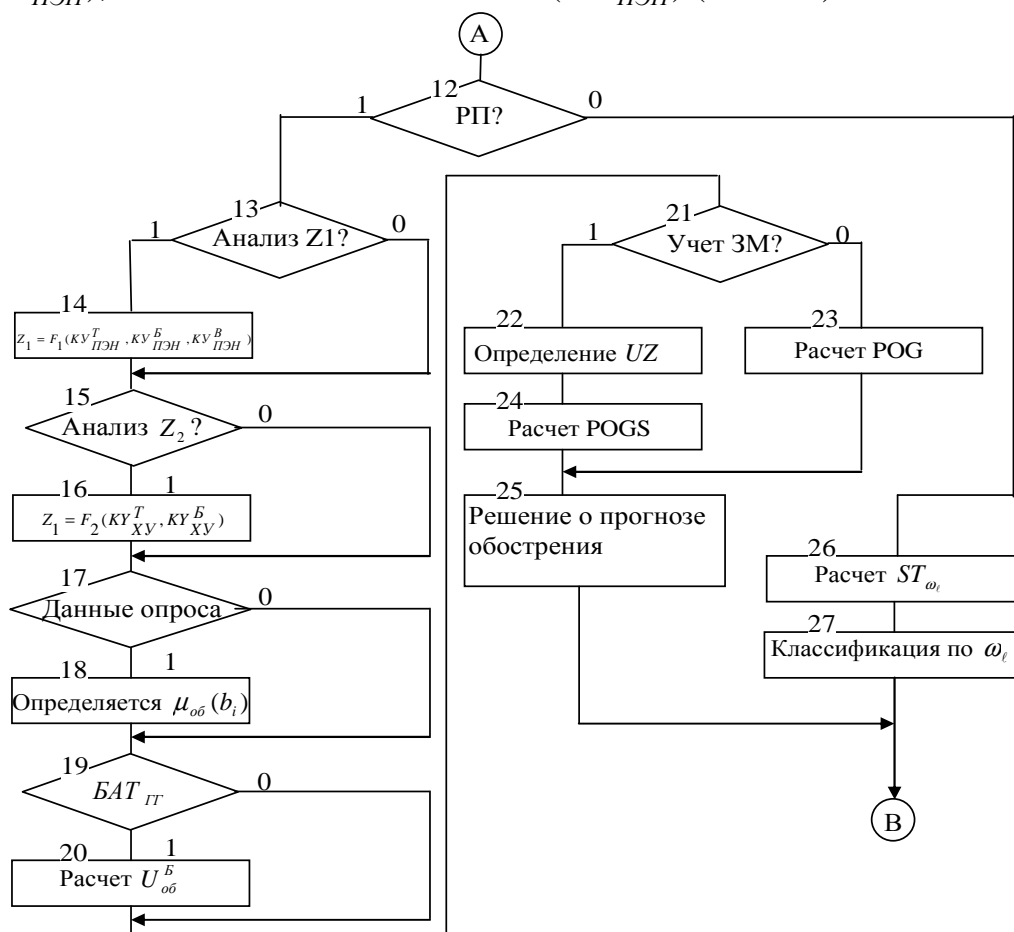


Рисунок 6 - Схема алгоритма управления процессами принятия решения

Если в качестве фактора риска используется уровень хронического физического утомления, то он может быть определен через коэффициенты

уверенности, определяемые по тестам (KY_{XY}^T) и по показателям, характеризующим состояние внимания (KY_{XY}^B) (блок 16). По данным опросов и осмотров определяются параметры b_i , для которых определяются соответствующие функции принадлежности $\mu_{ob}(b_i)$ (блок 18). Если в распоряжении врачей имеется аппаратура для регистрации электрического сопротивления БАТ, меняющих свои параметры при обострении ГГ (БАТ_{ГГ}, блок 18), производится расчет U_{ob}^B (блок 20, формула (2)). Если у пользователя есть возможность для определения защитных механизмов (ЗМ) организма человека от рецидивов герпеса (блок 21), то определяется UZ (блок 22, формула (1)) и осуществляется определение риска обострения генитального герпеса FOGS (блок 24, формула (4)). Если расчет UZ не возможен или не целесообразен, то осуществляется расчет POG (блок 23). На основании анализа величин POG или $POGS$ врач делает вывод о возможном обострении герпеса в течение времени T_0 (блок 25).

Если решается задача определения степени тяжести заболевания, то определяется величина ST_{ω_i} (блок 26, формула (5)) и осуществляется выбор одного из классов $\omega_{ГГР}$, ω_1 , ω_2 или ω_3 (блок 27, формула (6)).

Анализ специальной литературы показал, что существующие системы поддержки принятия решений, включая системы, ориентированные на врачей – дерматовенерологов, не решают поставленных в данной работе задач.

В связи с этим была разработана структура **базы знаний и ряд других блоков прикладного программного обеспечения для соответствующей СППР**, которая решает задачи управления процессами обучения, прогнозирования, оценки степени тяжести, профилактики и лечения генитального герпеса с учетом индивидуальных особенностей организма.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментальных исследований.

Полученные во второй главе решающие правила строились на основе знаний и опыта высококвалифицированных экспертов и моделировались в системе компьютерной математики MATLAB 7 SPI с использованием пакета визуального моделирования Simulink и системы нечеткой логики Fuzzy Logic Toolbox.

Для проверки достоверности срабатывания правил расчетов соответствующих коэффициентов уверенности в работе формировались репрезентативные контрольные выборки, по которым рассчитывались такие показатели качества «срабатывания» решающих правил, как прогностическая значимость положительных и отрицательных результатов наблюдений ($ПЗ^+$ и $ПЗ^-$), диагностическая чувствительность, специфичность и эффективность (ДЧ, ДС и ДЭ соответственно).

На рисунке 7 приведен график изменения показателей $ПЗ^+$ и $ПЗ^-$ для задачи определения риска обострения ГГ.

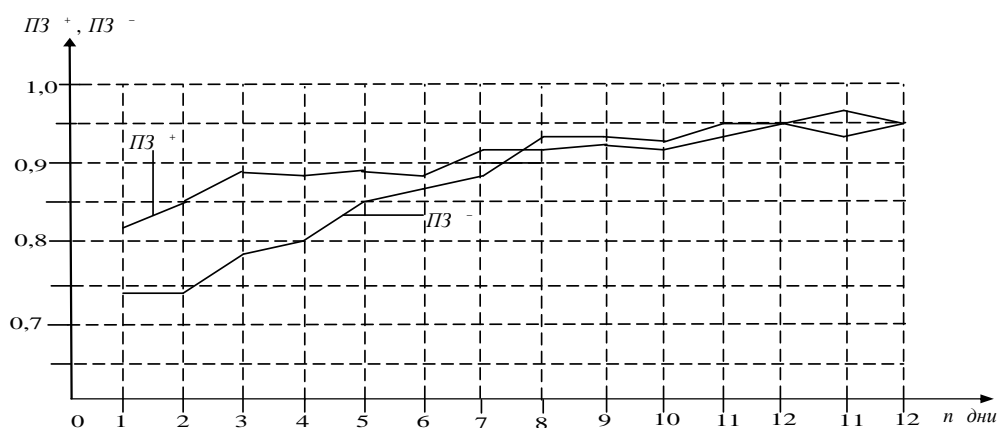


Рисунок 7 - График изменения показателей $ПЗ^+$ и $ПЗ^-$ для шкалы $ROGS$ в зависимости от времени наблюдения

Тенденция изменения показателей качества такова, что на седьмой – десятый день после начала наблюдений качество классификации стабилизируется и в дальнейшем существенно не изменяется. Это и послужило основой для выбора экспертами времени рационального прогноза $T_0 = 8$ дней, причем реальное качество классификации несколько выше, чем дают эксперты, что позволяет рекомендовать полученные решающие правила к использованию в медицинской практике.

Для проверки качества классификации полученных решающих правил было сформировано 4 пары контрольных выборок по следующему правилу: первая пара – группа людей класса $\omega_{ПР}$ и «смесь» классов $\omega_0, \omega_1, \omega_2, \omega_3$; вторая пара – ω_1 и «смесь» $\omega_0, \omega_{ПР}, \omega_2, \omega_3$; третья пара – ω_2 и «смесь» $\omega_0, \omega_{ПР}, \omega_1, \omega_3$; четвертая пара – ω_3 и «смесь» $\omega_0, \omega_{ПР}, \omega_1, \omega_2$.

Рассчитываемые на репрезентативной контрольной выборке показатели качества сравнивались с экспертной уверенностью в принимаемых решениях (табл. 1).

Таблица 1

Таблица контрольных испытаний и экспертных оценок решающих правил

Классы	Показатели качества на контрольной выборке					Экспертная уверенность	
	$ДЧ$	$ДС$	$ПЗ^+$	$ПЗ^-$	$ДЭ$	максимальная	средняя
POG	0,91	0,89	0,89	0,9	0,89	0,91	0,85
$ROGS$	0,93	0,91	0,91	0,93	0,92	0,95	0,9
$\omega_{ПР}$	0,97	0,94	0,94	0,97	0,95	0,97	0,95
ω_1	0,96	0,98	0,97	0,96	0,97	0,97	0,95
ω_2	0,93	0,94	0,94	0,93	0,93	0,97	0,95
ω_3	0,98	0,96	0,96	0,98	0,97	0,97	0,95

Как видно из приведенных расчетов, результаты контрольных испытаний достаточно «близки» к ожиданиям экспертов, а полученные числовые значения

имеют достаточные величины для рекомендации полученных решающих правил для практического использования.

В заключении сформулированы научные и практические результаты исследования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Предлагаемая работа посвящена решению научных и практических задач, связанных с повышением качества медицинского обслуживания пациентов, страдающих герпес – вирусной инфекцией.

В ходе проведенных исследований получены следующие основные результаты.

1. На основании сведений об этиологии и патогенезе генитального герпеса определена система информативных признаков, проведен разведочный анализ структурных данных, на основании чего был выбран математический аппарат нечеткой логики принятия решений для поставленных в работе задач.

2. Разработан метод определения уровня защитных механизмов организма, препятствующих возникновению обострений и снижающих степень тяжести заболевания герпесом, использование которого позволяет повысить качество решения выбранного класса задач.

3. Разработан метод синтеза комбинированных правил нечеткой классификации, позволяющий получать систему правил для расчетов степени уверенности в задачах прогнозирования обострения генитального герпеса и оценки степени его тяжести, что позволяет решать задачи рационального ведения пациентов с выбранной патологией.

4. Синтезирована система нечетких решающих правил для решения задач прогнозирования обострения генитального герпеса и оценки степени тяжести этого заболевания, обеспечивающая уверенность в прогнозе обострения на уровне 0,85 и определение степени тяжести этого заболевания на уровне 0,95, что соответствует требованиям практической медицины к подобному классу задач.

5. Получены меридианные модели взаимодействия внутренних органов с меридианными биологически активными точками, меняющими свое энергетическое состояние при обострении генитального герпеса, использование которых позволяет повысить эффективность прогнозирования и оценки степени тяжести заболевания, а также рационализировать тактику проведения лечебно – оздоровительных мероприятий.

6. Разработаны алгоритм управления процессами принятия решений и структура программного обеспечения системы поддержки принятия решений, позволяющие на удобном для врача – дерматолога языке обеспечивать рациональное планирование лечебно-оздоровительных мероприятий для пациентов, страдающих генитальным герпесом.

7. Проведена апробация предложенных методов и средств на репрезентативных контрольных выборках и показана эффективность их использования в практике врачей – дерматологов.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Еремин, А.В. Прогнозирование обострений генитального герпеса на основе итерационных нечетких моделей [Текст] / А.В. Еремин, М.И. Лукашов, Н.А. Корневский, В.Н. Гадалов // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2009. Т.8, № 4. С. 1029-1031.
2. Еремин, А.В. Определение степени тяжести генитального герпеса на основе нечетких моделей принятия решений [Текст] / А.В. Еремин, М.И. Лукашов, Н.А. Корневский // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2009. Т.8, № 4. С. 927-930.
3. Еремин, А.В. Определение уровня длительного физического утомления как фактора риска рецидивов хронических заболеваний [Текст] / А.В. Еремин, М.И. Лукашов, Н.А. Корневский, О.И. Филатова // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. №5. С. 10-15.
4. Еремин, А.В. Использование методов рефлексодиагностики и рефлексотерапии при ведении больных генитальным герпесом [Текст] / А.В. Еремин, Н.А. Корневский, М.И. Лукашов, Р.А. Крупчатников // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2009. Т.8, №4. С. 869-872.
5. Еремин, А.В. Оценка уровня защитных механизмов организма по энергетической сбалансированности меридиан и адаптационному потенциалу и их влияние на обострение кожных болезней [Текст] / А.В. Еремин, Н.А. Корневский, М.И. Лукашов, Р.А. Крупчатников // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2009. Т.8, №1. С. 83-86.

Статьи, труды и материалы конференций

6. Еремин, А.В. Компьютерная система прогнозирования обострения и дифференциальной диагностики герпеса [Текст] / А.В. Еремин, Н.А. Корневский, М.И. Лукашов // Компьютерные технологии в науке, производстве, социальных и экономических процессах: сб. науч. тр. 9-й междунар. конф. Новочеркасск, 2008. С. 75-77.
7. Еремин, А.В. Медицинская диагностика и прогнозирование герпеса с использованием нечетких продукционных правил [Текст] / А.В. Еремин, М.И. Лукашов // Системные аспекты медицинских и педагогических исследований: сб. науч. тр. Курск: МУ «Издательский центр «ЮМЭКС», 2008. С. 27-30.
8. Еремин, А.В. Использование методик оценки состояния памяти для определения уровня психоэмоционального напряжения [Текст] / А.В. Еремин, С.А. Горбатенко, О.И. Филатова // Биомедицинская инженерия и биотехнология: сб. матер. Всеросс. науч.-практ. конф. / Курск. гос. мед.ун-т. Курск, 2009. С. 27-31.
9. Еремин, А.В. Нечеткое прогнозирование генитального герпеса в экспертной системе врача дерматовенеролога [Текст] / А.В. Еремин, Н.А. Корневский, М.И. Лукашов // Информационные и управляющие технологии в медицине и экологии: сб. матер. IX Всерос. науч.-техн. конф. / Приволжский дом знаний. Пенза, 2009. С. 57-59.
10. Еремин, А.В. Особенности проектирования систем поддержки принятия решений в дерматологии [Текст] / А.В. Еремин // Биомедицинская

инженерия и биотехнология: сб. матер. Всерос. науч. - практ. конф. / Курск. гос. мед. ун-т. Курск, 2009. С. 38-40.

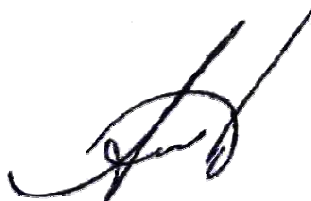
11. Еремин, А.В. Прогнозирование обострения генитального герпеса в нечеткой экспертной системе врача дерматолога [Текст] / А.В. Еремин, Н.А. Кореневский, М.И. Лукашов // Материалы и упрочняющие технологии – 2009: сб. матер. XVI Рос. науч.-техн. конф. с междунар. уч. / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2009. С. 166-168.

12. Еремин, А.В. Программное обеспечение системы поддержки принятия решений врача – дерматовенеролога [Текст] / А.В. Еремин // Медико-экологические информационные технологии – 2009: сб. матер. XII Междунар. науч.-техн. конф. / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2009. С. 18-20.

13. Еремин, А.В. Роль психоэмоционального напряжения в прогнозировании обострений кожных болезней [Текст] А.В. Еремин, М.И. Лукашов, С.М. Яцун, Н.Н. Савченко // Медико-экологические информационные технологии-2009: сб. матер. XII Междунар. науч.-техн. конф. / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2009. С. 13-18.

14. Еремин, А.В. Система поддержки принятия решений врача – дерматовенеролога с нечеткой сетевой базой знаний [Текст] / А.В. Еремин, С.М. Яцун, М.И. Лукашов // Системные аспекты медицинских и педагогических исследований: сб. науч. тр. Курск: МУ «Издательский центр «ЮМЭКС», 2008. С. 133-138.

Соискатель



А.В. Еремин

Подписано в печать _____ 20__ г. Формат 60×84 1/16 .

Печатных листов 1,1. Тираж 100 экз. Заказ _____.

Юго-Западный государственный университет,
305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94.