

На правах рукописи

**Самаха Башир Аббас**

**НЕЧЕТКИЕ ГИБРИДНЫЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ В ПРОМЫШЛЕННОМ  
КЛАСТЕРЕ С УЧЕТОМ МОНИТОРИНГА ФАКТОРОВ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского  
назначения

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Курск 2014**

Работа выполнена в Юго-Западном государственном университете на кафедре биомедицинской инженерии

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации Корневский Николай Алексеевич

Официальные оппоненты: Луценко Юрий Александрович  
доктор технических наук, доцент,  
Новомосковский институт (филиал)  
Российского химико – технологического  
университета им. Д.И. Менделеева,  
профессор кафедры электротехники;

Руденко Вероника Викторовна  
кандидат технических наук, доцент,  
Курская государственная  
сельскохозяйственная академия имени  
И.И. Иванова, доцент кафедры  
информатики и электроэнергетики

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Воронежский  
государственный технический  
университет» (г. Воронеж)

Защита диссертации состоится «30» мая 2014 года в 16:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.105.08 при Юго-Западном государственном университете по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94 (конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Юго-Западного государственного университета и на сайте Юго-Западного государственного университета [www.swsu.ru](http://www.swsu.ru).

Автореферат разослан «   » \_\_\_\_\_ 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 212.105.08

Снопков В.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Несмотря на большое внимание, уделяемое государством проблеме экологии и ее влияния на состояние здоровья человека, проблема борьбы с заболеваниями, вызываемыми вредным воздействием экологических факторов, остается в значительной степени нерешенной и требующей пристального внимания специалистов различных профессий.

Сложная современная экологическая обстановка и связанные с этим процессы ухудшения состояния здоровья населения планеты заставляют искать новые подходы к решению задач мониторинга и управления экологической обстановкой в комплексе с задачами профилактики и лечения заболеваний, вызываемых действием вредных экологических факторов.

Анализ исследований, проводимых в этих направлениях, и результаты собственных исследований, позволяют сделать однозначный вывод о том, что повышения качества состоянием здоровья людей, находящихся в контакте с экологически неблагоприятной средой, можно добиться только используя современные достижения в различных сферах человеческой деятельности: экологии, медицины и информационных технологий.

Характерной особенностью задач прогнозирования и оценки состояния здоровья, зависящего от множества экологических факторов, является то, что собираемая экологическими службами и службами здравоохранения информация, в основном, характеризует общие тенденции заболеваемости, без учета индивидуальных особенностей каждого из обследуемых, находящихся в зоне исследования, что снижает потенциально достижимое качество принятия врачебных решений, и как следствие, снижает качество работы медицинского персонала, решающего выбранный в работе класс задач.

С учетом сказанного, актуальность темы диссертации определяется необходимостью увеличения темпов и качества работы по борьбе с проблемами экологического характера с одновременным повышением уровня здоровья населения, находящегося в зоне действия неблагоприятных экологических факторов, за счет использования возможностей современных информационных и интеллектуальных технологий.

**Степень разработанности темы исследования.** В современном мире существует множество автоматизированных систем контроля состояния окружающей среды и состояния здоровья человека. Одной из характерных особенностей таких систем является их достаточно узкая специализация: контроль за содержанием определенного перечня вредных веществ в почве, воде и воздухе; ведение протоколов контроля; прогнозирование состояния окружающей среды при природных и техногенных катаклизмах; прогнозирование и диагностика заданных классов заболеваний по значениям информативных признаков и т. д. Все эти системы приносят определенный полезный эффект, но они, в основном, не ориентированы на решение

комплексной проблемы контроля и управления состоянием здоровья человека находящегося под воздействием возможных вредных факторов порождаемых данной средой в рамках единой интеллектуальной системы поддержки принятия решений специалистов, экологов и медиков.

Дополнительные сложности решения поставленных в работе задач связаны с тем, что прогнозирование и оценка состояния окружающей среды и здоровья человека относятся к классу плохо формализуемых задач, что затрудняет использование традиционного математического аппарата, включая раздельное использование такого мощного инструментария как интерактивные системы распознавания образов и нечеткую логику принятия решений. Для повышения качества и оперативности решения этого типа задач предлагается использовать методы математического моделирования, реализующие гибридные технологии моделирования, объединяющие как методы теории распознавания образов и разведочного анализа по Саймону, так и методы мягких вычислений, основанные на нечеткой логике Заде и Шортлифа. Такое объединение различных подходов к решению задач оценки и управления состоянием окружающей среды и здоровья человека позволяет получить новое качество в решении сложных системных задач и является инновационным.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы и в соответствии с научным направлением Юго-Западного государственного университета «Медико-экологические информационные технологии».

**Объект исследования.** Люди, подвергающиеся воздействию вредных факторов окружающей среды.

**Предмет исследования.** Методы, модели и алгоритмы прогнозирования и оценки состояния окружающей среды и здоровья людей, находящихся в зоне действия неблагоприятных экологических факторов.

**Цель работы.** Разработка методов и средств прогнозирования, оценки и управления состоянием здоровья людей, подвергающихся воздействию вредных факторов окружающей среды, основывающихся на использовании гибридных нечетких технологий, обеспечивающих повышение качества медицинского обслуживания людей находящихся в зоне действия неблагоприятной экологической среды.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- сформировать рекомендации по выбору пространства информативных признаков, обеспечивающих решение задачи прогнозирования и оценки состояния окружающей среды и здоровья людей, находящихся в зоне действия неблагоприятных экологических факторов;

- предложить метод управления рациональным размещением станций мониторинга состояния окружающей среды;

- разработать метод синтеза гибридных нечетких математических моделей агрегирующихся в систему коллективов решающих правил для прогнозирования и оценки состояний здоровья людей находящихся в зоне действий неблагоприятных экологических факторов;

- предложить алгоритм прогнозирования, оценки и управления состоянием здоровья людей, в условиях воздействия на них экологически неблагоприятных факторов;

- построить интегрированный программный пакет, реализующий применение предложенных методов, моделей и алгоритмов для интеллектуальной системы поддержки принятия решений.

- получить систему гибридных моделей принятия решений по прогнозированию и оценке состояния людей на примере конкретных экологически неблагоприятных территорий;

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

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

- рекомендации по формированию пространства информативных признаков, отличающегося тем, что при оценке состояния среды кроме традиционно определяемых показателей по количеству и составу вредных веществ, используются признаки, характеризующие реакцию человека на изменение экологической обстановки, включая энергетические характеристики биологически активных точек, адаптационной резерв и микроэлементный статус, а для прогнозирования и оценки состояния здоровья человека вместе с характеристиками окружающей среды учитываются индивидуальные особенности организма;

- метод управления рациональным размещением станций мониторинга окружающей среды основанный на использовании инструментария моделирующего элементы окружающей среды и потоки загрязняющих веществ с помощью уравнений Навье-Стокса, позволяющий определять наиболее экологически опасные территории, в которых целесообразно концентрировать посты наблюдения;

- метод синтеза гибридных нечетких математических моделей, отличающийся тем, что для прогнозирования и оценки состояния окружающей среды и здоровья человека статистические критерии А. Вальда, нечеткие модели Л. Заде, функции уверенности Е. Шортлифа и интерактивные классификационные модели объединяются в коллективы решающих правил, что позволяет повысить качество решения прогностических и диагностических задач в условиях неполного и нечеткого описания исследуемых классов состояний;

- алгоритм прогнозирования, оценки и управления состоянием здоровья в условиях комплексного воздействия на организм человека вредных факторов окружающей среды, отличающийся возможностью гибкой смены тактики оценки состояния и управления в зависимости от структуры

факторов риска и индивидуальных особенностей организма, что позволяет обеспечивать требуемое для практики качество работы интеллектуальной системы поддержки принятия решений;

- математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, вызванных воздействием вредных факторов окружающей среды, обеспечивающие уверенность в принимаемых решениях на уровне 0,87 и выше, в зависимости от качества и полноты собираемой информации.

**Теоретическая и практическая значимость работы** состоит в том, что разработаны механизмы получения данных, метод синтеза гибридных нечетких математических моделей и алгоритм прогнозирования, оценки и управления состоянием окружающей среды и здоровья человека, составившие основу интеллектуальной системы поддержки принятия решений по рационализации взаимодействий человека с окружающей средой.

На основании полученных технологий синтезированы математические модели обеспечивающие решение задач прогнозирования и диагностики ряда заболеваний, обусловленных воздействием вредных экологических факторов на организм человека.

Применение предложенных в диссертации методов и средств позволяет улучшить качество медицинского обслуживания людей находящихся в зоне действия неблагоприятных экологических факторов.

**Методы исследований.** Для решения поставленных в работе задач использовались методы синтеза биотехнических систем, системного анализа, моделирования, теории проектирования сложных информационных систем, теории распознавания образов, теории нечетких множеств, теории уверенности, прикладной математической статистики, экспертного оценивания. При разработке интеллектуальной системы в качестве инструментария использовалась среда Matlab 7.10 (R2010a) со встроенным пакетом Fuzzy Logic Toolbox.

**Положения выносимые на защиту.** 1. Метод рационального размещения средств экологического мониторинга и рекомендации по формированию пространства информативных признаков для прогнозирования и оценки состояния окружающей среды и здоровья человека в условиях промышленного кластера. 2. Метод синтеза гибридных нечетких математических моделей, основанный на использовании процедуры секвенциального анализа А. Вальда, нечеткой логики Л. Заде, функций уверенностей Е. Шортлифа и интерактивных классификационных моделей, агрегирующихся в коллективы нечеткие правила принятия решений по прогнозированию и оценке состояния человека и окружающей среды. 3. Алгоритм прогнозирования, оценки и управления состоянием здоровья человека в неблагоприятных экологических условиях. 4. Математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний желудка и системы дыхания, вызываемых работой Михайловского горно-обогатительные комбината (г. Железногорск), обеспечивают уверенность в правильной классификации не ниже 0,87.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Результаты исследования показали их воспроизводимость в различных условиях, непротиворечивость концепциям системного анализа и теории синтеза биотехнических систем, а так же аналогичным результатам, полученным другими исследователями. Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки состояния здоровья людей, находящихся под воздействием вредных экологических факторов, построены на теории распознавания образов и согласуются с ранее опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации.

Предложенные в работе методы, модели и алгоритм переданы администрации МО город Новомосковск Тульской области; Территориальному отделу Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Тульской области в Новомосковском районе, г. Донском, Кимовском и Узловском районах и используется в учебном процессе кафедры биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета при обучении студентов специальности 200401.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на всероссийских и международных конференциях и семинарах. Основные из них: «Теоретические и прикладные вопросы науки и образования» (Тамбов-2014); XVI, XVII, XVIII Международные конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем» (г. Москва, 2009, 2010, 2011 гг.); XII, XIII, XIV Международные конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (г. Самара, 2009, 2010, 2012 гг.); VI Международная научно-практическая конференция «Окружающая среда и здоровье» (г. Пенза, 2009 г.), V Международный конгресс молодых ученых по химии и химической технологии «ГССРЕ-2009-МКХТ» (г. Москва, 2009 г.), на научно-технических семинарах кафедры биомедицинской инженерии ЮЗГУ (Курск - 2013, 2014).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и библиографического списка, включающего 161 отечественных и 10 зарубежных наименований. Работа изложена на 185 листах машинописного текста, содержит 39 рисунков и 24 таблицы.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

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

**В первом разделе** проведен анализ состояния проблемы и показано, что наиболее адекватным математическим аппаратом исследования для решения задач прогнозирования и оценки состояния окружающей среды и здоровья

человека является теория распознавания образов, использующая нечеткие математические модели. В качестве инструментария целесообразно использовать интеллектуальные технологии, реализуемые системами поддержки принятия решений. Показано, что промышленный кластер является сложной организационно-технической системой. С точки зрения системного анализа рассматривать такую систему в отрыве от окружающих ее систем некорректно. Кроме того, промышленный кластер можно отнести к классу синергетических систем, так как он является открытой динамической системой. Поэтому построение моделей для контроля и управления состоянием системы человек - окружающая среда, хотя бы и на экспертном уровне, является актуальной проблемой.

В заключение первого раздела формулируются цель и задачи исследования.

**Во втором разделе** Сформировано *гетерогенное пространство информативных признаков*, в состав которых входит блок показателей, характеризующих состояние окружающей среды и влияющих на состояние здоровья человека (состав и концентрация вредных веществ на исследуемой территории; вид и интенсивность электромагнитных излучений; время воздействия неблагоприятных факторов среды на организм человека; условия распространения загрязняющих веществ (ЗВ); защитные свойства ландшафта; защитные свойства организма, определяемые через адаптационный потенциал, энергетическую сбалансированность общесистемных биологически активных точек (БАТ) и функциональный резерв; реакция биоиндикаторов (энергетическая сбалансированность меридианных структур)) и блок признаков, характеризующих индивидуальное здоровье человека (признаки, традиционно используемые в медицинской практике (данные опроса, осмотра, лабораторных и инструментальных исследований) по заболеваниям, характерным для исследуемой экологической ситуации, энергетическая реакция БАТ, «связанных» с исследуемым классом заболеваний; микроэлементный статус организма).

Состав и структура признаков оптимизировались с использованием информативной меры Кульбаха и экспертного оценивания их прогностической и диагностической ценности.

Выбранный состав информативных признаков позволяет оценивать состояние здоровья человека и окружающей среды с достаточным для практической медицины качеством.

Для решения задач синтеза прогностических и диагностических моделей принятия решений в условиях неполного и нечеткого описания исследуемых классов состояний в работе предложен **метод синтеза гибридных нечетких моделей** для прогнозирования и оценки окружающей среды и здоровья человека основанный на совместном использовании секвенциальной процедуры А. Вальда, нечетких моделей Л. Заде, функции



уверенности Е. Шортлифа и интерактивных классификационных моделей в двумерных отображающих пространствах.

Базовым элементом используемым при синтезе гибридных нечетких решающих правил являются функциями принадлежности  $\mu_\ell(x_i)$  и (или)  $\mu_\ell(Y_i)$  к исследуемым прогностическим или диагностическим классам состояний с базовыми переменными на шкалах информативных признаков  $x_i$  и (или) на комплексных показателях  $Y_i$ , вычисляемых в пространстве информативных признаков. Как и в теории нечеткого принятия решений Л. Заде, области допустимых значений функций принадлежности к исследуемым классам состояний является безразмерная шкала  $[0,1]$ . Область определения формируется используемыми шкалами  $x_i$  и (или)  $Y_i$ .

Решающие правила для всего используемого пространства признаков будем получать путем агрегации частных функций принадлежностей в финальные решающие правила с расчетом мер уверенности  $U_\ell$  в гипотезах (классах)  $\omega_\ell$

$$U_\ell = F_\ell[\mu_\ell(a_i, x_i), \mu_\ell(b_j, Y_j)], \quad (1)$$

где  $F_\ell$  - функция агрегации для гипотезы  $\omega_\ell$ ;  $a_i, b_j$ - вектора настраиваемых параметров обеспечивающих максимальное качество принятия решений по гипотезе  $\omega_\ell$ .

С учетом введенных обозначений – метод синтеза коллектива нечетких решающих правил реализуется следующей последовательностью действий.

1. Формируется пространство информативных признаков  $x_i$ , состав комплексных показателей  $Y_i$ , и определяются классы состояния окружающей среды  $\omega_\ell$  с точки зрения ее влияния на состояние здоровья человека.

2. Производится разведочный анализ, в ходе которого оптимизируется пространство признаков, определяется структура исследуемых классов состояний и формируются задачи для экспертов.

3. Для классов, аппроксимируемых гиперобъемами типа гиперпараллелепипед синтезируются решающие правила расчета уверенности  $UGZ_\ell$  в гипотезе  $\omega_\ell$  типа:

$$UGZ_\ell = \max_p(U_\ell^p);$$

$$U_\ell^p = \min_i[\mu_\ell^p(x_i)], \quad (2)$$

где  $\mu_\ell^p(x_i)$ - функция принадлежности к аппроксимирующему гиперпараллелепипеду с номером  $p$  по координате с номером  $i$  для класса  $\omega_\ell$ ;

$U_\ell^p$  - уверенность в  $\omega_\ell$  для гиперпараллелепипеда с номером  $p$  с нечетким (в частном случае с четким) описанием его ребер.

4. При использовании линейных или кусочно-линейных разделяющих гиперповерхностей рекомендуется использовать правила вида:

$$UGD_\ell = F_D(\mu_\ell(D_\ell)), \quad (3)$$

где  $\mu_\ell(D_\ell)$  - функция принадлежности к классу  $\omega_\ell$  с базовой переменной определяемой как мера близости от объекта исследования до разделяющей гиперповерхности;  $F_D$  - функционал агрегации, зависящий от типа разделяющей гиперповерхности.

5. Для решающих правил, основывающихся на статистической процедуре А. Вальда, нечеткая модель принятия решений имеет вид:

$$UGV_\ell = \mu_\ell(DK), \quad (4)$$

где  $DK$  – диагностический коэффициент А. Вальда.

6. Если используется итерационная технология оценки уверенности по Е. Шортлифу, то модель принятия решений имеет вид:

$$UGS_\ell = \begin{cases} 0, & \text{если } KY_{\omega_\ell} < 0; \\ KY_{\omega_\ell}, & \text{если } KY_{\omega_\ell} \geq 0, \end{cases} \quad (5)$$

$$KY_{\omega_\ell}(j+1) = KY_{\omega_\ell}(j) + U_{\omega_\ell}(A, x_i)[1 - KY_{\omega_\ell}],$$

где  $U_{\omega_\ell}(A, x_i)$  - уверенность в классификации  $\omega_\ell$  при условии появления признака  $x_i$ ;  $A$  - вектор настраиваемых параметров функций уверенности, выбираемых по критерию минимума ошибок классификации (в частном случае  $U_{\omega_\ell}(A, x_i) = \mu_\ell(x_i)$ ).

7. При использовании двумерных отображающих пространств реализуется нечеткая математическая модель вида:

$$UGO_\ell = \mu_\ell(D_\ell(Y_1, Y_2)), \quad (6)$$

где  $D_\ell(Y_1, Y_2)$  - базовые переменные, определяемые до границ разделения исследуемых классов состояний в двумерном отображающем пространстве, представленном двумя многомерными отображающими функциями  $Y_1$  и  $Y_2$ .

8. Производится оценка прогностической и (или) диагностической ценности полученных решающих правил и в соответствии со структурой

полученных данных производится их агрегация в коллективы нечетких математических моделей типа

$$UG_{\ell} = AG_{\ell}(UGZ_{\ell}, UGD_{\ell}, UGV_{\ell}, UGS_{\ell}, UGO_{\ell}), \quad (7)$$

где  $AG_{\ell}$  - функционал агрегации, который в зависимости от типов решаемых задач и структуры данных определяется классическими методами теории распознавания образов по обучающим выборкам, посредством операций  $min$ ,  $max$  или итерационных процедур Е. Шортлифа.

9. Результаты работы коллектива нечетких моделей типа (7), полученных на признаках и интегральных показателях, характеризующих экологическое состояние территории наблюдения, используются как один из информативных признаков при решении задач прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики исследуемых классов заболеваний. Кроме того, в качестве информативных признаков дополнительно используются: уровень защитных свойств организма  $Z_{\ell q}$  от фактора с номером  $q$  по заболеванию  $\omega_{\ell}$ , рассчитываемый по методике, разработанной на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета (БМИ ЮЗГУ) и индивидуальные факторы риска (IFR).

Агрегация  $UG_{\ell}$  и  $Z_{\ell q}$  осуществляется с использованием выражения:

$$UGE_{\ell} = \begin{cases} 0, & \text{если } Z_{\ell q} \geq UG_{\ell} \\ UG_{\ell} - Z_{\ell q}, & \text{если } UG_{\ell} > Z_{\ell q} \end{cases} \quad (8)$$

где  $Z_{\ell q} = \beta_{\ell q} \cdot UZ$ ;

$$UZ = UZ_1(\text{ИФИ}) + UZ_2(\text{ЭС}) + UZ_3(\text{UF}) - UZ_1(\text{ИФИ}) \cdot UZ_2(\text{ЭС}) - \\ - UZ_1(\text{ИФИ}) \cdot UZ_3(\text{UF}) - UZ_2(\text{ЭС}) \cdot UZ_3(\text{UF}) + UZ_1(\text{ИФИ}) \cdot UZ_2(\text{ЭС}) \cdot UZ_3(\text{UF});$$

$\beta_{\ell q}$  - коэффициент, зависящий от типа воздействия  $q$  по заболеванию  $\omega_{\ell}$ ;  $UZ$  - уровень защиты организма, определяемый по составляющим ИФИ (индекс функциональных изменений по Р. Баевскому); ЭС - энергетическая сбалансированность меридианных структур для общесистемных БАТ; UF - уровень функционального резерва организма.

Нечеткие решающие правила по индивидуальным факторам риска определяются с использованием выражений (2), (3), (4), (5) и (6) по «своему» пространству информативных признаков с коллективной математической моделью вида:

$$IFR_{\ell} = AI_{\ell}(UGZ_{\ell}, UGD_{\ell}, UGV_{\ell}, UGS_{\ell}, UGO_{\ell}) \quad (9)$$

где  $AI_{\ell}$  - функция агрегации по индивидуальным факторам риска.

10. Агрегация экологических и индивидуальных факторов риска для расчета финальной уверенности в классе  $\omega_{\ell}$  осуществляется по формуле:

$$UG_{\ell} = UGE_{\ell} + IFR_{\ell}(1 - UGE_{\ell}) \quad (10)$$

11. Если синтез решающих правил (10) осуществляется преимущественно на экспертном уровне, то имеющиеся объекты обучающей выборки могут быть использованы для автоматической корректировки параметров этих правил в сторону уменьшения ошибок классификации, например с использованием пакета обучающих программ кафедры БМИ ЮЗГУ.

**В третьем разделе** решался вопрос синтеза коллективов нечетких решающих правил на примере людей, проживающих в районе Михайловского горно-обогатительного комбината (МГОК) расположенного в Железнодорожном районе Курской области. Этот район характеризуется повышенным уровнем постоянного магнитного поля из-за действия железных руд Курской магнитной аномалии, высоким уровнем пыли, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> и других вредных веществ.

По данным санитарно-эпидемиологических служб в районе МГОК по сравнению с экологически чистыми регионами наблюдается повышенная заболеваемость системы пищеварения (гастрит и язва желудка) и системы дыхания (хронический бронхит).

По этим заболеваниям с использованием предложенного в работе метода синтеза были получены соответствующие **системы гибридных нечетких решающих правил** для решения задач прогнозирования и ранней диагностики, в качестве основных элементов которых используются функции принадлежности к классам «прогноз возникновения заболеваний» системы пищеварения  $\omega_{\Pi}^{\Pi}$  и системы дыхания  $\omega_{\text{Д}}^{\Pi}$ , «ранняя стадия заболевания» системы пищеварения  $\omega_{\Pi}^{\text{Р}}$  и системы дыхания  $\omega_{\text{Д}}^{\text{Р}}$ .

В качестве примера на рисунках 1 а, б приведены графики функций принадлежности к классам «риск возникновения заболеваний системы пищеварения и дыхания с базовой переменной «напряженность постоянного магнитного поля» в миллиэрстедах. Экологические и индивидуальные факторы риска агрегируются в финальные решающие правила с помощью выражения (10).

В результате математического моделирования было установлено, что полученные модели прогнозирования этих заболеваний обеспечивают уверенность в принятии решений не хуже 0,88, а модели ранней диагностики этих заболеваний для наиболее часто встречающихся значений информативных признаков обеспечивают уверенность принятия решений: для системы пищеварения – на уровне 0,91; для системы дыхания – на уровне 0,95.

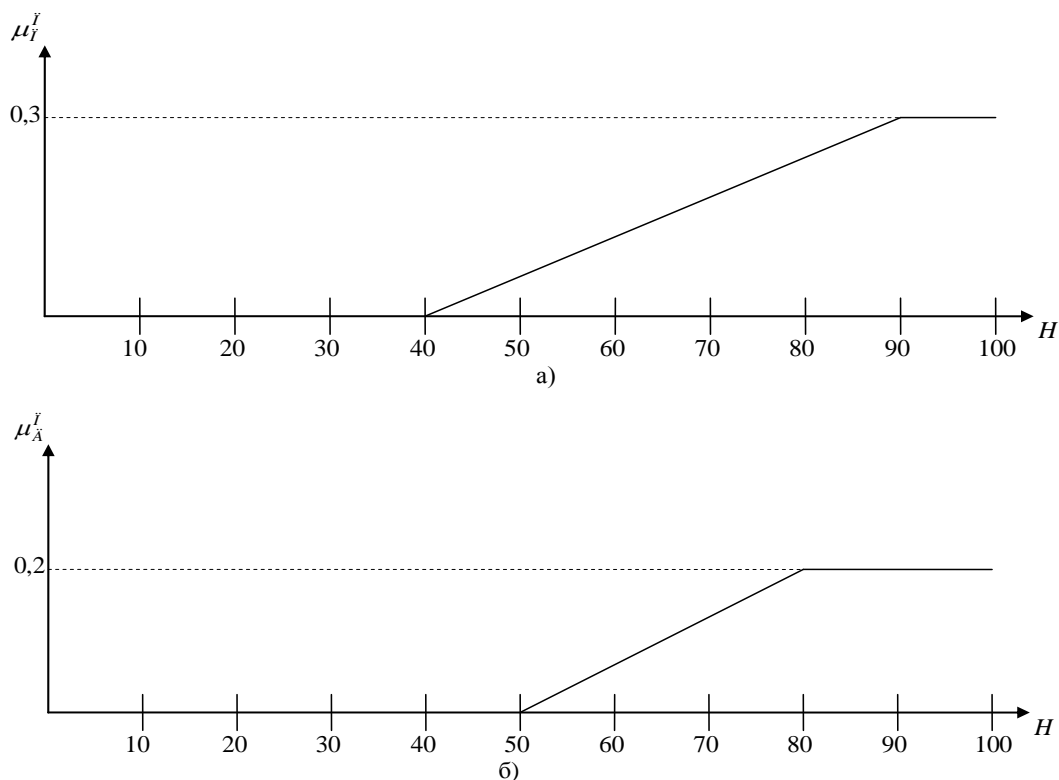


Рис. 1. Графики функций принадлежности к понятиям риск возникновения заболеваний систем: а) - пищеварения и б) - дыхания в зависимости от напряженности магнитного поля

Кроме этого в условиях общего экологического неблагополучия площадки МГОК синтезировались решающие правила для сварочного цеха расположенного на этой же площадке. Получены решающие правила для дифференциальной диагностики таких профессиональных заболеваний сварщиков как интоксикация, пневмокониоз и хронический бронхит.

В коллектив решающих правил по этим заболеваниям вошли линейная разделяющая поверхность и двумерное отображающее пространство с нечеткими границами классов. Результат математического моделирования по этим классам заболеваний показал, что уверенность в правильной классификации составляет 0,9.

В этом же разделе разработан **алгоритм прогнозирования, оценки и управления состоянием здоровья в условиях комплексного воздействия на организм человека вредных факторов окружающей среды.**

Этот алгоритм обеспечивает функционирование интеллектуальной системы поддержки принятия решений, обеспечивая решение следующего круга задач: поддержку формирования пространства информативных признаков, как для оценки состояния окружающей среды, так и для оценки состояния здоровья индивидуума; моделирование потоков распространения загрязняющих веществ и формирование рекомендаций по рациональному размещению систем экологического мониторинга; проведение разведочного анализа по структуре данных и исследуемых классов состояний; синтеза

коллективов нечетких решающих правил оценки состояний окружающей среды и состояния здоровья человека; коррекции параметров нечетких решающих правил с целью минимизации ошибок классификации; принятие решений о состоянии окружающей среды; прогнозирование возникновения рецидивов, ранней и дифференциальной диагностики заболеваний, связанных с воздействием на человека вредных экологических факторов; формирование рекомендаций по управлению состоянием окружающей среды и здоровья человека.

В среде MATLAB разработан интерактивный программный пакет, реализующий системы нечетких решающих правил прогнозирования социально значимых заболеваний, позволяющий редактировать функции принадлежности к классам риска этих заболеваний по факторам функционального состояния человека и факторам экологического загрязнения окружающей среды, моделировать и редактировать гибридные правила нечеткого вывода и визуально контролировать ход принятия решений в системе нечеткого вывода.

**В четвертом разделе** предложена структура системы экологического мониторинга в промышленном кластере с удаленным доступом, включающая комплект датчиков контроля параметров технологических объектов, подсистему передачи данных, подсистему накопления данных, подсистему накопления информации и формирования знаний, подсистему организации доступа у управления пользователями, отличающаяся наличием «собственных» ЭВМ, предназначенных для обработки данных, связанных с конкретным технологическим объектом, позволяющая снизить поток передаваемых данных за счет их обработки на месте получения. Для оптимального и эффективного функционирования баз данных, в соответствии с разработанной инфологической моделью, и с целью устранения возможных ошибок и недостатков в структуре БД, была произведена их нормализация в нормальную форму Бойса-Кодда, в соответствии с положениями теории нормализации. Для рассматриваемого случая таблицы, связанные отношениями, находятся в нормальной форме Бойса-Кодда. Это позволяет исключить при работе аномалии ввода и удаления данных, а также учесть многозначные зависимости.

Разработан метод управления рациональным размещением станций мониторинга оценки состояния окружающей среды, основанный на использовании инструментария, моделирующего элементы окружающей среды и потоки загрязняющих веществ, позволяющий определять наиболее экологически опасные территории, где целесообразно концентрировать посты наблюдения.

Для прогнозирования распространения потоков загрязненного воздуха предложено использовать программу Comsol Multiphysics, в которой для построения моделей турбулентности применена обобщенная версия осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса. Разработан алгоритм

создания модели распространения загрязненных воздушных потоков в программе Comsol Multiphysics, позволяющий прогнозировать экологическую загрязненность атмосферы в промышленном кластере.

В программе Comsol Multiphysics построены модели распространения загрязненного воздуха на территории МО город Новомосковск в зависимости от силы ветра со стороны промышленной зоны.

На рисунке 2 приведены примеры таких моделей.

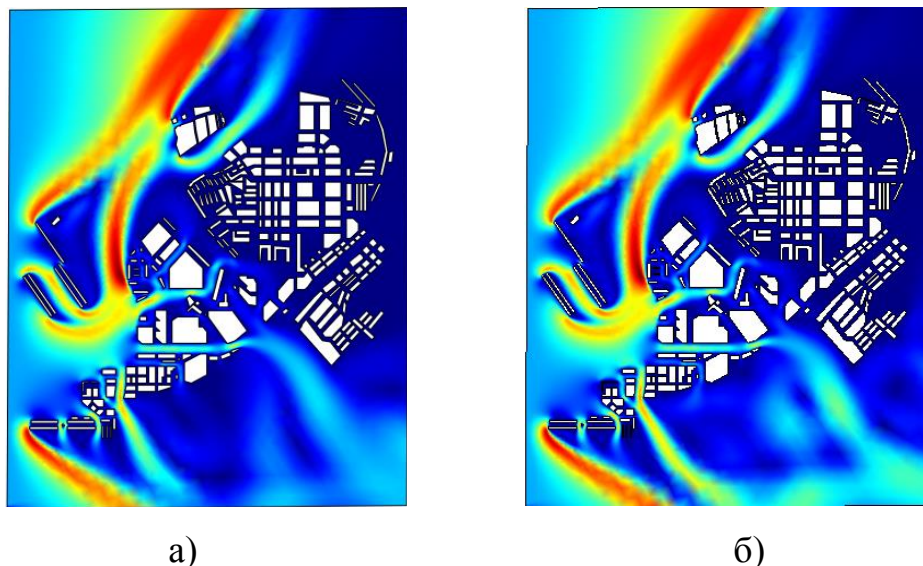


Рис. 2. Распространение воздуха со скоростью 12 м/с (а) и со скоростью 6 м/с (б)

После наложения изображений результатов моделирования друг на друга был разработан оптимальный маршрут движения передвижной лаборатории измеряющей концентрации ЗВ в атмосфере (рисунок 3).

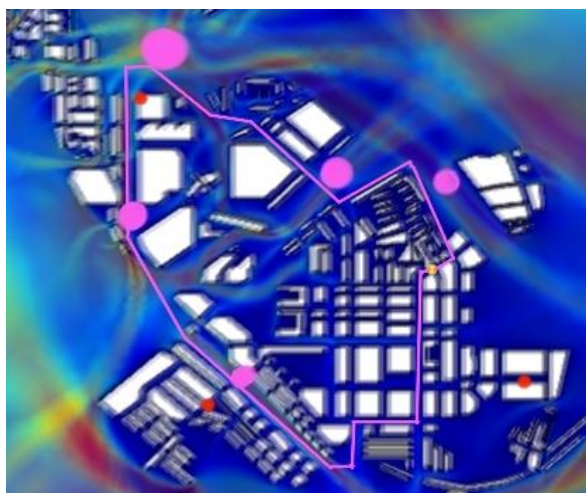


Рис. 3. Маршрут движения передвижной лаборатории

Точками отмечены наибольшие концентрации загрязненного воздуха на пересечениях воздушных потоков и маршрут передвижной лаборатории (точки выделены розовым цветом).

Полученные в третьем разделе прогностические и диагностические решающие правила в значительной степени определяются субъективным мнением экспертов о том, какое качество классификации принципиально достигается при выбранной системе информативных признаков. Для объективизации исследований были сформированы репрезентативные контрольные выборки. Объемы выборок определялись в соответствии с рекомендациями, принятыми в теории распознавания образов и составили не менее 100 человек на каждый из исследуемых классов. Качество классификации определяется по таким показателям, как диагностическая чувствительность (ДЧ), диагностическая специфичность (ДС), прогностическая значимость положительных ПЗ<sup>+</sup>, и отрицательных ПЗ<sup>-</sup> результатов и диагностическая эффективность (ДЭ).

В ходе проведенных испытаний было установлено, что при решении задач прогнозирования с использованием всех информативных признаков статистические показатели качества превышают величину 0,89, а для задач ранней диагностики величину 0,91. По этим же классам заболеваний было установлено, что учет экологических факторов риска увеличивает качество классификации по всем статистическим показателям более чем на 11%.

Результаты контрольных испытаний по профессиональным заболеваниям сварщиков приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели качества классификации по заболеваниям системы дыхания у сварщиков

Классы	Показатели качества на контрольной выборке				
	ДЧ	ДС	ПЗ <sup>+</sup>	ПЗ <sup>-</sup>	ДЭ
интоксикация	0,96	0,93	0,93	0,96	0,94
пневмокониоз	0,92	0,96	0,96	0,94	0,94
хронический бронхит	0,97	0,95	0,95	0,97	0,96

Как видно из приведенных расчетов, результаты контрольных испытаний «близки» к ожиданиям экспертов и к результатам математического моделирования, что позволяет рекомендовать полученные в работе результаты к практическому использованию.



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

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

В диссертационной работе получены следующие основные результаты.

1. Сформировано гетерогенное пространство информативных признаков, в состав которых входит блок показателей характеризующих состояние окружающей среды и влияющих на состояние здоровья человека, и блок признаков, характеризующих индивидуальное здоровье человека. Выбранный состав информативных признаков позволяет оценивать состояние здоровья человека и окружающей среды с достаточным для практической медицины качеством.

2. Разработан метод синтеза нечетких гибридных математических моделей объединяющихся в коллективы решающих правил, позволяющих решать задачи прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики заболеваний, возникновению и развитию которых способствуют вредные факторы окружающей среды.

3. Получены системы гибридных нечетких решающих правил, предназначенные для решения задач прогнозирования и ранней диагностики заболеваний системы пищеварения и дыхания в экологически неблагоприятных сегментах промышленного кластера, адаптированные к условиям экологической обстановки Железногорского района Курской области.

4. Разработан алгоритм управления работой интеллектуальной системой поддержки принятия решений по оценке и управлению состоянием окружающей среды и здоровьем человека, основанный на использовании гибридных систем нечеткого вывода, учитывающих взаимодействие человека с окружающей средой и взаимное их влияние на риск социально значимых заболеваний, позволяющий создавать и обеспечивать функционирование интеллектуальных систем поддержки принятия решений по управлению состоянием здоровья населения и среды в промышленном кластере.

5. В среде MATLAB разработан интерактивный программный пакет, реализующий системы нечетких решающих правил прогнозирования социально-значимых заболеваний, позволяющий редактировать функции принадлежности к классам риска появления и развития социально-значимых заболеваний, моделировать и редактировать гибридные правила нечеткого вывода, и визуально контролировать ход принятия решений в системе нечеткого вывода.

6. Предложена система экологического мониторинга в промышленном кластере с удаленным доступом, включающая комплект датчиков контроля параметров технологических объектов, подсистему передачи данных, подсистему накопления данных, подсистему сбора информации и формирования знаний, подсистему организации доступа и управления пользователями, отличающаяся наличием «собственных» ЭВМ,

предназначенных для обработки данных, связанных с конкретным технологическим объектом, позволяющая снизить поток передаваемых данных за счет их обработки на месте получения, включающая:

- структуру базы данных, представленной в нормальную форму Бойса-Кодда;

- модели распространения загрязняющих веществ в промышленном кластере, построенные в программе Comsol Multiphysics с применением обобщенной версии осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, апробированные на территории МО город Новомосковск;

- метод управления рациональным размещением станций мониторинга оценки состояния окружающей среды, основанный на использовании инструментария, моделирующего элементы окружающей среды и потоки загрязняющих веществ, позволяющий определять наиболее экологически опасные территории, где целесообразно концентрировать посты наблюдения.

6. Апробация предложенных методов и средств на репрезентативных контрольных выборках при прогнозировании и ранней диагностике заболеваний системы пищеварения и системы дыхания показала, что они обеспечивают уверенность в принимаемых решениях на уровне не менее 0.87, в зависимости от качества и полноты собираемой информации. Учет экологических факторов риска увеличивает качество ранней диагностики исследуемых видов заболеваний, в среднем, на 12%.

## **СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### Публикации в рецензируемых научных журналах и изданиях

1. Самаха, Башир Аббас. Виртуальная система мониторинга состояния атмосферного воздуха г. Новомосковска Тульской области [Текст] / Башир Аббас Самаха, В.В. Батышкина, В.Ю. Волков // Датчики и системы. - 2010. - № 11. – С. 46-48.

2. Самаха, Б.А. Использование интерактивных методов классификации для решения задач медицинского прогнозирования [Текст] / Б.А. Самаха, В.Н. Шевякин, К.В. Разумова, и др. // Фундаментальные исследования. - 2014.- №1. – С. 33-37.

3. Волков, В.Ю. Автоматизированная система поддержки проведения исследований распространения выбросов загрязняющих веществ в атмосфере [Текст] / В.Ю. Волков, Башир Аббас Самаха // Известия ТулГУ. Технические науки. - Тула: изд-во ТулГУ, 2013. - Вып. 2. – С. 54-58.

4. Волков, В.Ю. Применение АСППИ для моделирования распространения загрязненного воздуха по территории г. Новомосковска [Текст] / В.Ю. Волков, Башир Аббас Самаха // Известия ТулГУ. Технические науки. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. - Вып. 2. – С. 59-64.

### Научные работы в других изданиях

5. Самаха, Башир Аббас. Проблемы реализации функций управления в

автоматизированной системе экологического мониторинга г. Новомосковска Тульской области [Текст] / Башир Аббас Самаха, В.В. Батышкина, В.Ю. Волков // Проблемы управления безопасностью сложных систем: труды XVII Междн. конф. - М., 2009. – С. 457-461.

6. Самаха, Башир Аббас. Проблемы моделирования систем экологического мониторинга на современном этапе [Текст] / Башир Аббас Самаха, В.В. Батышкина, В.Ю. Волков // Актуальные проблемы механики, математики, информатики: сб. тез. науч.-практ. конф. - Пермь, 2010. – С 43-44.

7. Самаха, Башир Аббас. Специфика объекта мониторинга в АСК «Атмосфера» г. Новомосковска [Текст] / Башир Аббас Самаха, В.В. Батышкина, Н.С. Михалюк, и др. // Вестник международной академии системных исследований (МАСИ). Информатика, Экология, Экономика. - М., 2010. – Т. 12, Ч. II. – С.16–20.

8. Волков, В.Ю. О проблемах принятия управленческих решений в автоматизированной системе экологического мониторинга и управления г. Новомосковска Тульской области [Текст] / В.Ю. Волков, В.В. Батышкина, Б.А. Самаха // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды XII Международной конференции. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2010. – С. 470-477.

9. Самаха, Башир Аббас. Обзор состояния автоматизированных систем экологического мониторинга в начале XXI века / Башир Аббас Самаха, Л.Х. Дык, В.Ю. Волков, и др. // Вестник международной академии системных исследований (МАСИ). Информатика, Экология, Экономика. - М., 2010. - Т. 12, Ч. II. – С.29–34.

10. Самаха, Башир Аббас. Принятие управленческих решений в автоматизированной системе контроля атмосферного воздуха г. Новомосковска [Текст] / Башир Аббас Самаха, В.В. Батышкина, В.Ю. Волков и др. // XII научн.–техн. конф. молодых ученых, студентов, аспирантов. Тезисы докладов; РХТУ им. Д.И. Менделеева. Новомосковский институт. – Новомосковск, 2010. - Ч.2. – С. 13-14.

11. Самаха, Башир Аббас. Принятие оптимальных управляющих решений на различных уровнях системы управления экологической ситуацией [Текст] / Башир Аббас Самаха, В.В. Батышкина, В.Ю. Волков и др. // Успехи в химии и химической технологии: сб. научн. Трудов. - М.: РХТУ им.Д.И. Менделеева. 2010. - Т. XXIII, №1 (94). – С. 86-90.

12. Самаха, Башир Аббас. Интеллектуальная система поддержки принятия решений при управлении экологической ситуацией г. Новомосковска Тульской области [Текст] / Башир Аббас Самаха, В.В. Батышкина, В.Ю. Волков // Проблемы управления безопасностью сложных систем: труды XVIII Междн. конф. - М., 2010. – С. 457-461.

13. Самаха, Башир Аббас. Повышение качества принимаемых решений в интеллектуальной системе экологического менеджмента [Текст] / Башир Аббас Самаха, В.Ю. Волков, В.В. Батышкина // Проблемы управления и

моделирования в сложных системах: труды XIII Международной конференции. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2011. – С. 415-420.

14. Самаха, Башир Аббас. Информационное обеспечение экологической безопасности и охраны здоровья населения г. Новомосковска [Текст] / Башир Аббас Самаха, В.В. Батышкина, В.Ю. Волков и др. // Труды НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева. Сер. «Кибернетика, автоматизация, математика, информатизация». - Новомосковск, 2011. - Вып. 6(25). – С. 25–32.

15. Самаха, Башир Аббас. Разработка автоматизированной системы научных исследований распространения выбросов в атмосферном воздухе промышленного региона [Текст] / Башир Аббас Самаха, В.Ю. Волков, В.В. Батышкина // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды XIV Международной конференции. - Самара: Самарский научный центр РАН, 2012. – С. 286-290.

16. Самаха, Башир Аббас. Интеллектуальная система поддержки принятия решений в системе управления концентрацией загрязняющих веществ в атмосферном воздухе [Текст] / Башир Аббас Самаха, В.В. Батышкина, В.Ю. Волков и др. // Вестник международной академии системных исследований (МАСИ). Информатика, Экология, Экономика. - М., 2011. - Т. 13, Ч. 1. – С. 89-93.

17. Самаха, Башир Аббас. Интеллектуальная система поддержки принятия решений по классификации экологического состояния окружающей среды и оценки ее влияния на состояние здоровья человека [Текст] / Башир Аббас Самаха, М.А. Ефремов // Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 января 2014 г.; в 15 частях.; М-во обр. и науки РФ. - Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2014. - Ч. 9– С. 122-123.