

На правах рукописи

Шуткин Александр Николаевич

**МЕТОДОЛОГИЯ СИНТЕЗА ГИБРИДНЫХ КЛАССИФИКАТОРОВ ДЛЯ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ И
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРИГОДНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В
ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

Специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Курск 2018

Работа выполнена на кафедре биомедицинской инженерии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет»

Научный консультант **Филист Сергей Алексеевич**,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Денисов Артем Руфимович**,
доктор технических наук, доцент,
Костромской государственный университет, кафедра информатики и вычислительной техники, заведующий кафедрой (г. Кострома),

Истомина Татьяна Викторовна,
доктор технических наук, профессор, Пензенский государственный технологический университет, ведущий научный сотрудник отдела научных исследований (г. Пенза),

Маслак Анатолий Андреевич,
доктор технических наук, профессор, филиал ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» в г. Славянске – на – Кубани, профессор кафедры математики, информатики и методики их преподавания (г. Славянск-на-Кубани).

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет», г. Рязань

Защита диссертации состоится «29» июня 2018 года в 12.00 часов на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.099.03, созданного на базе Юго-Западного государственного университета, Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева, Белгородского государственного национального исследовательского университета, 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 <https://www.swsu.ru/ds/d999.099.03/DisserShytkinA.N.pdf>.

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Милостная Наталья Анатольевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Проблема профессиональной пригодности и ее оценка занимает в науке особое место не только в связи с ее большой практической значимостью, но и необходимостью ориентации и использования результатов фундаментальных исследований в области профилактической медицины, социальной психологии, медицины труда и т.д. Наиболее остро проблема определения и прогноза профессиональной пригодности встает в экстремальных условиях деятельности человека. Перечень профессий, предъявляющих к человеку значительные, экстремальные требования (с экстремальными условиями работы) в последнее время неуклонно растет. Для этих профессий необходим особо тщательный профессиональный отбор. Его отсутствие может привести не только к частым ошибкам в работе, малой производительности труда, но и к возможным человеческим жертвам, причинению вреда здоровью работника и окружающих. При этом достаточно часто встает вопрос не только о профессиональном отборе, а также и динамическом сопровождении медико-психологического состояния работников данных профессий.

Результаты анализа средств профессионального отбора, учитывающих особенности работы в экстремальных ситуациях, свидетельствуют о необходимости использования интеллектуальной информационной поддержки принятия решений. Бурное развитие компьютерных и телекоммуникационных технологий, а также создание всемирной сети Интернет, позволило использовать персональный компьютер не только как помощника в работе и научных вычислениях, но и как инструмент оценки способностей и состояния здоровья кандидата, проходящего профессионального отбора.

В то же время разработанные к настоящему времени подходы в определении профессиональной пригодности к различным видам деятельности показывают, что применяемые методы и алгоритмы контроля оценки в основном направлены на решение узкоспециализированных задач лишь психологического и психофизиологического отбора. При этом наблюдается неполнота решения проблемы профотбора на основе достижений современных интеллектуальных технологий, связанная с отсутствием единой методологии синтеза таких систем, учитывающей неполноту и нечеткость информации как об объекте управления, так и об лице, принимающем решение (ЛПР). Наличие такой методологии жизненно необходимо для сохранения здоровья и жизни как работников МЧС и других экстремальных профессий, так и потенциальных жертв чрезвычайных ситуаций (ЧС). Решение этой проблемы может быть найдено в развитии методологии проектирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений по профессиональному отбору (СППРПО).

В связи с этим на основе интеграции системных принципов и общенаучных подходов к построению сложных многоуровневых систем актуальна разработка методологических основ для построения СППРПО для оценки состояния здоровья и профессиональной пригодности работников экстре-

мальных профессий. Это позволит с помощью новых современных методов исследования повысить точность и достоверность оценивания медицинских и личностных показателей к выбранной сфере деятельности.

Степень разработанности темы исследования. Из теории функциональных систем Б.Г. Ананьева следует, что профессиональная пригодность зависит не просто от совокупности профессионально важных качеств личности, но также от степени их выраженности и характера взаимосвязи, что приводит к необходимости решать плохо структурируемые и слабо формализуемые задачи. В связи с чем, применение традиционных методов моделирования сложных систем является малоэффективным, что в свою очередь делает целесообразным использование специально разработанных механизмов СППРРО на базе методов теории биотехнических систем, нейронных сетей и нечеткого логического вывода.

Классические методы принятия решений в условиях неопределенности, развитые в работах таких ученых, как: Р. Кини, А.А. Амосов, Р. Клемен, А. Вальд, В.Д. Ногин, О.И. Ларичев, Т. Л. Саати, А.И. Орлов, А.Н. Тихонов, С. Ханссон, Дж. К. Смит, требуют разработки и создания сложных многоуровневых СППРРО, базирующихся на теории математических моделей, позволяющих учитывать большое количество критериев и параметров, что в свою очередь характеризуется значительной стоимостью разработки таких систем и высокими вычислительными затратами.

Для принятия решений в условиях неопределенности и плохой структурированности данных используется нечеткая логика принятия решений, базирующаяся на аппарате нечетких множеств. Значительный вклад в совершенствование *теоретических основ нечетких множеств* внесли: А.Н. Аверкин, Л.С. Бернштейн, Р.А. Алиев, А.Е. Алтунин, А.В. Алексеев, К. Асаи, Р. Веллман, А.Н. Борисов, И.З. Батыршин, Л.А. Заде, А. Кофман, А.В. Леоненков, С.Я. Коровин, О.А. Крумберг, Н.Г. Малышев, К. Негойце, Р. Ягер, Д.А. Поспелов, Т.Л. Саати, А. Тверски, М.В. Семухин, Т. Тэрано, С.А. Орловский, С.Д. Штовба и др. Реализация алгоритмов нечеткого вывода освещена в работах Х. Ларсена, Е. Мамдани, Т. Такаги, Й. Цукамото, Е. Шортлифа и др.

Как свидетельствует практика, в системе здравоохранения применяются различные медицинские информационные системы (МИС), с помощью которых возможно накапливать, обрабатывать и хранить большие объемы различной медицинской информации, однако во многих случаях накопленная медицинская статистическая информация является практически бесполезной. Для ее эффективного использования в практике профессионального отбора необходимо создание интеллектуальных систем, обеспечивающих создание многогранного «портрета» кандидата, причем необходима обширная база тестов, которые бы играли роль своеобразных фильтров, настраиваемых на индивидуальные особенности кандидата и на профессиональные требования к работникам исследуемого сегмента. В основу создания таких систем, помимо накопленных результатов по медико-технологическому процессу, могут быть положены и результаты работы различных медицин-

ских приборов для осуществления сбора большого набора медицинских данных, что позволит врачам оценивать влияние показателей здоровья на успешность работы в выбранной профессиональной сфере, а также накапливать информацию для формирования новых требований к показателям здоровья с учетом «новых вызовах современной обстановки».

Таким образом, оптимальным механизмом для автоматизированного решения являются эффективная обработка статистической информации и комплексный анализ полученных результатов средствами интеллектуального анализа данных с применением технологий нейронных сетей и нечеткой логики принятия решений.

В области построения СППРПРО целесообразно использовать: концепции построения автоматизированных МИС, теоретические принципы создания медицинских экспертных систем (МЭС), моделей представления знаний, нейронных сетей и нечетких множеств принятия решений (А.О. Недосекин, Г.С. Поспелов, А.А. Дородницын, И.Ю. Каширин, Н.А. Кореневский, М.Л. Минский, М.А. Айзерман, Н. Нильсон, В.М. Глушков, А.В. Шеер, Р. Риченс, Р. Симмонс, С. А. Юдицкий, Д. Дюбуа, А. Прад, Г.Н. Калянов).

Особое место в общей проблеме СППРПРО занимает проблема принятия решений в условиях неопределенности. Нахождение решений этой проблемы обеспечивает теория нечеткой логики принятия решений. В последнее время уделяется большое внимание развитию гибридных технологий построения интеллектуальных систем, функционирующих в условиях неопределенности и реализующих комплексное использование различных методов искусственного интеллекта, позволяющих сформировать новую методологию построения таких информационных систем. Однако во многих случаях они не обеспечивают получение соответствующих требованиям решений ввиду малообоснованного выбора параметров моделирования, при этом нахождение адекватных решений из-за необходимости многократного выполнения реализаций используемых методов, алгоритмов и моделей с целью выбора наиболее оптимальных параметров сопровождается большими временными и материальными затратами.

Проведенный анализ современных исследований в области интеллектуальных систем поддержки принятия решений по профессиональной пригодности к работе в экстремальных условиях позволяет сформулировать фундаментальную научную проблему, на решение которой направлено данное исследование: развитие методологии синтеза гибридных классификаторов, обеспечивающей создание интеллектуальных систем психологического и медико-биологического тестирования на основе эффективных методов, алгоритмов и моделей интеллектуальной поддержки принятия решений (ИППР) в условиях неполноты и неопределенности исходных данных психофизиологического процесса, позволяющих обеспечивать высокую адекватность и обоснованность принимаемых решений в условиях ограниченности информационных и временных ресурсов. Совокупное использование инструментария теории нечетких множеств и нечеткой логики, а также теории нейросетевого анализа дает возможность создать качественно новые интел-

лектуальные системы, позволяющие решать более широкий круг задач профессионального отбора в условиях неполноты и неопределенности исходных данных и обеспечивать эффективность принимаемых решений (за счет повышения точности, объективности и адекватности) в условиях неопределенности.

Цель диссертационной работы состоит в разработке концептуальных моделей и методологии построения систем поддержки принятия решений в условиях неопределенности и неполноты исходных данных, позволяющих повысить качество прогнозирования профессиональной пригодности кандидатов для работы в экстремальных условиях.

Для достижения поставленной цели в работе **решаются** следующие **задачи**:

- системный анализ методов и компьютерных технологий прогнозирования профессиональной пригодности работников экстремальных профессий;

- создание моделей управления и прогнозирования функционального состояния работников экстремальных профессий, позволяющих оценить их способность к гомеостазису при функционировании в экстремальных условиях;

- разработка методологии синтеза гибридных решающих правил, основанной на использовании совокупности методов нечеткой оценки и управления состоянием здоровья человека;

- разработка методов моделирования нейронных сетей с виртуальными потоками, предназначенных для классификации функционального состояния работников экстремальных профессий в условиях неполной информации;

- разработка структурно-функциональной организация СППРПРО для работы в экстремальных условиях, позволяющей агрегировать наблюдаемые и не наблюдаемые факторы, влияющие на профессиональную пригодность, как посредством машинного обучения, так и посредством экспертного оценивания;

- разработка метода прогнозирования профессиональных заболеваний, основного на формировании из группы включенных методик тестирования профессиональной пригодности множества «слабых» классификаторов, и гибридных технологиях формирования «сильных» классификаторов;

- разработка методологии синтеза интеллектуальных агентов, основанной на создании конструкта из методов и методик с последующим созданием из них композиции классификатора профессиональной пригодности, адаптированного к заданной экстремальной профессии;

- разработка системы поддержки принятия решений для определения профессиональной пригодности курсантов МЧС и ее программного обеспечения, а также экспериментальное обоснование эффективности использованных в ней информационных технологий при использовании их в интеллектуальных системах поддержки принятия решений по прогнозированию про-

фессиональной пригодности кандидатов для работы в экстремальных условиях.

Объектом диссертационного исследования являются автоматизированные системы определения профессиональной пригодности кандидатов для работы в экстремальных условиях (интеллектуальные СППРПРО), особенности технологии их функционирования в условиях неопределенности и неполноты априорной информации.

Предметом исследования является методология синтеза гибридных классификаторов для прогнозирования состояния здоровья и профессиональной пригодности при работе в экстремальных условиях

Научная новизна результатов работы. В рамках диссертационной работы были получены следующие основные результаты, обладающие научной новизной.

1 Предложены концептуальные модели управления и прогнозирования функциональным состоянием сложной системы, основанные на понятии *функциональный резерв структурно функциональных единиц (СФЕ) - функциональный ресурс СФЕ*, отличающиеся качественным понятием о соотношении трех классов СФЕ в системе, которое определяет способность системы к самоорганизации, позволяющие построить классификационные модели для оценки адаптационного потенциала сложной системы на качественном уровне посредством соответствующего выбора управляемых акций и суррогатных маркеров.

2 Метод синтеза решающего модуля для определения функционального состояния сложной системы в пространстве векторной латентной переменной «резерв СФЕ - ресурс СФЕ», основанный на нечетком шкалировании компонентов вектора, отличающийся трехуровневой схемой экспертного оценивания, на первом уровне которой формируются слабые классификаторы на основе суррогатных маркеров, эксперты второго уровня формируют решающие правила для сильных классификаторов второго уровня, а эксперт третьего уровня формирует нечеткую шкалу для дефuzziфикатора на выходе классификатора, позволяющий строить решающие модули для классификации и прогнозирования функционального состояния сложных систем.

3 Методология синтеза коллективов гибридных нечетких решающих правил, основанная на использовании совокупности методов нечеткой оценки уровней профессиональной пригодности и состояния здоровья, включающая:

- метод синтеза классификационных решающих правил на основе нечеткой логики Л. Заде и Е. Шортлифа, отличающийся использованием функции принадлежности к гиперобъемам многомерного пространства, характеризующим исследуемые классы состояний;

- метод синтеза нечетких правил принятия решений относительно разделяющих поверхностей и эталонных структур в многомерном пространстве признаков, отличающийся тем, что базовые переменные функций принадлежности к исследуемым классам состояний определяются относительно ба-

зовых гиперповерхностей и эталонов с учетом структуры исследуемых классов состояний, а способы агрегации решающих правил учитывают геометрические свойства классов;

- метод синтеза нечетких правил принятия решений на основе идеологии группового учета аргументов, отличающийся тем, что базовые переменные функций принадлежности определяются как меры близости между реально измеряемыми параметрами и их значениями, вычисляемыми по моделям системных структурных взаимосвязей между признаками, описывающими состояние исследуемых органов и систем, а процедура агрегации учитывает особенности структуры используемых данных;

- метод синтеза правил нечеткого вывода с использованием теории измерения латентных переменных, отличающийся тем, что латентные переменные модели Г. Раша определяются как показатели, характеризующие состояние здоровья и функциональное состояние обследуемых и способы их коррекции.

4. Метод синтеза виртуальных потоков для систем поддержки принятия решений, предназначенных для прогнозирования способностей человека работать в экстремальных условиях, включающий:

- способ формирования дополнительного признака для нейросетевого классификатора, построенного на основе нейронной сети прямого распространения, предусматривающий последовательное выполнение шести шагов, отличающийся структурой контура обратной связи, позволяющий получить на выходе сумматора дополнительный информативный признак, учитывающий скрытые системные связи между компонентами признакового пространства, присутствующими на входах нейронной сети;

- рекуррентную структурную схему формирования гибридного вектора информативных признаков, который состоит из двух подвекторов, один из которых сформирован из исходных информативных признаков, а второй – из информативных признаков, полученных на основе моделирования системных связей между информативными признаками первого подвектора, отличающаяся использованием МГУА – моделей для формирования второго подвектора, позволяющую выделить релевантные системные связи в исходном пространстве информативных признаков;

- алгоритм последовательной настройки гибридной прогнозирующей системы, включающий в себя этапы выбора нечетких функций принадлежности, составление набора нечетких операций для агрегаторов, обучение нейронной сети, используемой в качестве дефuzziфикатора, контроль качества прогнозирования, выполняемого полученной гибридной системой.

5 Методология прогнозирования риска развития профессиональных заболеваний, провоцируемых работой в экстремальных ситуациях, включающая:

- метод формирования сильного классификатора, отличающийся тем, что при формировании «сильного» классификатора учитывается «вес» «слабых» классификаторов, который определяется путем формирования промежуточных «сильных» классификаторов, получаемых для каждого теста (сур-

рогатного маркера) с учетом «весов» эталонных групп, на которых были обучены эти классификаторы, позволяющий повысить диагностическую эффективность метода прогнозирования профессиональной пригодности для работы в экстремальных условиях;

- метод определения риска социально значимых заболеваний, провоцируемых работой в экстремальных условиях, отличающийся последовательным синтезом «слабых» классификаторов для каждой эталонной группы, и взвешиванием выборки, на которой был построен этот классификатор, с последующим взвешиванием «слабого» классификатора с учетом «веса» выборки, на которой он был получен, позволяющий реализовать метод прогнозирования социально значимых заболеваний, провоцируемых экстремальными условиями;

- метод контроля качества прогнозирования профессиональных заболеваний, провоцируемых условиями работы в экстремальных условиях, отличающийся параллельным формированием подпространств психологических и медико-биологических признаков, позволяющий выбирать модели решающих модулей и осуществлять их сравнение по показателям качества прогнозирования.

6 Метод синтеза модели интеллектуального агента для прогнозирования психологической устойчивости работника экстремальных профессий, основанный на формировании суперпозиции текущих методик, отличающийся тем, что формирования методик для выбранной профессии осуществляется на основе двухконтурного принципа, в первом контуре осуществляется количественная оценка эффективности формируемой методики, а во втором – непосредственная получение психологического «портрета» кандидата на основе этой методики, позволяющий сформировать агенты второго иерархического уровня для СППР определения профессиональной пригодности кандидатов на работу в экстремальных условиях.

7 Система поддержки принятия решений, предназначенная для тестирования профессиональной пригодности для работы в экстремальных условиях, состоящая из подсистемы знаний, подсистемы принятия решений и подсистемы интернет-тестирования, включающая два блока принятия решений, первый из которых предназначен для тестирования по базе данных «Здоровье», а второй – по базе данных психологических тестов, выявляющих профессиональные склонности, позволяющая формировать и интегрировать решающие правила, основанные на различных парадигмах и оперирующих с различными сегментами пространства информативных признаков, связанными с различными функциональными системами организма человека.

Достоверность научных положений, теоретических выводов и практических результатов диссертационной работы подтверждается:

- корректным использованием математического аппарата, соответствием результатов вычислительных экспериментов, выдвигаемых в диссертации, положениям и выводам качественного характера;

- использованием разработанных методов, алгоритмов и моделей для решения реальных прикладных задач;
- практической реализацией СППРПРО и отдельных ее элементов, подтвержденной свидетельствами об официальной регистрации программ для ЭВМ;
- использованием результатов диссертационной работы в практике профессионального отбора работников экстремальных профессий, подтвержденным актами внедрения.

Работоспособность разработанных методов и алгоритмов подтверждена статистикой обработки большого объема реальных данных, отсутствием противоречий с известными положениями теории и практики анализа и классификации плохоструктурируемой и нечеткой информации.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в развитии методологии обработки сложноструктурируемых и нечетких данных медико-биологических и психофизиологических процессов для интеллектуальной поддержки принятия решений в системах прогнозирования профессиональной пригодности работников экстремальных профессий, а также в развитии теории проектирования интеллектуальных систем поддержки принятия прогностических решений.

Практическая значимость работы подтверждается разработанными методами, алгоритмами и моделями, реализованными в программных продуктах для ЭВМ.

Разработанные методы, алгоритмы и модели СППРПРО позволяют:

- повысить эффективность принятия управленческих решений за счет улучшения качества и обоснованности выводов в условиях неполноты и неточности априорной информации, даже при различных мнениях экспертов;
- при решении задач профессионального отбора комбинированно использовать формальную статистическую информацию, взятую из различных источников, и комплекс знаний группы экспертов;
- минимизировать материальные и временные затраты для осуществления выбора адекватных и точных рекомендаций при решении задач по профессиональному отбору и прогнозированию состояния здоровья при работе в экстремальных условиях;
- осуществлять построение интеллектуальных СППРПРО, базирующихся на нечеткой логике и нейросетевом моделировании, осуществляющих прогнозирования профессиональной пригодности и состояния здоровья при работе в экстремальных условиях по отдельной методике или комплексам методик, обеспечивающих адекватный прогноз.

Диссертационные исследования проводились в рамках выполнения ряда проектов следующих программ фундаментальных, поисковых и инновационных исследований:

- федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы», государственные контракт № П424;

- гранта Минобрнауки России на 2012-2013 годы (Соглашение № 14. В37.21.1970);

- федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы» (Соглашение № 14.576.21.0071), проект RFMEFI57614X0071;

- госзадания 2.3440.2017/4.6.

Методы, модели и алгоритмы, разработанные в диссертационной работе, а также реализующие их СППРПРО, внедрены в Главное управление МЧС России по Воронежской области, в Главном управлении МЧС России по Курской области, в Главном управлении МЧС России по республике Крым.

Результаты полученных в диссертации теоретических, прикладных и экспериментальных исследований используются в учебном процессе Юго-Западного государственного университета при обучении студентов по направлению 12.04.04 - Биотехнические системы и технологии.

Использование результатов диссертационной работы на практике подтверждено соответствующими актами о внедрении.

Получено 7 свидетельств ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности» (РОСПАТЕНТ) об официальной регистрации программ для ЭВМ и базы данных.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 05.11.17 «Приборы, системы и изделия медицинского назначения», а именно пункту 2. Значение решения научных, технических, медико-биологических проблем и проблем приборного и инструментального развития современных медицинских технологий и информационного их обеспечения для задач здравоохранения состоит в создании высокоэффективных инструментов, приборов, оборудования, изделий, систем, комплектов, технического и программного обеспечения принципиально новых высокоэффективных средств и методов воздействия на человека и в оценке влияния на человека лечебного и поражающего фактора различных излучений, полей и других энергетических факторов воздействия на человека, создании измерительной техники и средств метрологического обеспечения, создании новых средств передачи и отображения медико-биологической информации.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования проведены с применением методов системного анализа, нечетких множеств, кластеризации, принятия решений, нечеткой логики, вероятностей и математической статистики, построения баз данных (БД) и информационных систем медицинского назначения. Экспериментальные исследования выполнены с использованием методов моделирования (математического и имитационного), технологий объектно-ориентированного и модульного программирования, технологий построения распределенных баз данных и Интернет-технологий.

Основные положения, выносимые на защиту

1 Модели управления и прогнозирования функциональным состоянием сложной системы, основанные на концепции структурно-функциональных единиц, позволяют прогнозировать влияние экзогенных факторов на динамические процессы распределения ресурсов живой системы.

2 Модель многофазного эксперимента, основанная на исследовании переходных процессов в сложной системе, получаемых посредством латентного переключения уровня стимулов в фазах эксперимента, позволяет построить классификаторы функционального состояния сложных систем с учетом латентных факторов.

3 Методология синтеза коллективов гибридных нечетких решающих правил, основанная на использовании совокупности методов нечеткой оценки и управления состоянием здоровья, позволяет обеспечить прогнозирование профессиональной пригодности для кандидатов для работы в экстремальных условиях в условиях нечетких и сложноструктурируемых данных.

4. Метод синтеза виртуальных потоков для систем поддержки принятия решений, предназначенных для прогнозирования способностей человека работать в экстремальных условиях, позволяет учитывать не наблюдаемые факторы, оказывающие влияние на успешность работы кандидата в экстремальных ситуациях.

5 Методология прогнозирования риска развития профессиональных заболеваний, провоцируемых экстремальными условиями работы, позволяет получить диагностическую эффективность метода прогнозирования профессиональной пригодности для работы в экстремальных ситуациях, в среднем, до 89 %.

6 Методы синтеза моделей классификаторов профессиональной пригодности работников экстремальных профессий, построенные на основе идеи конструктора, позволяют найти оптимальное сочетание методов и методик для количественной оценки профессиональной пригодности кандидата на работу выбранной экстремальной профессии.

7 Программное обеспечение для реализации компонентов системы поддержки принятия решений по прогнозированию профессиональных заболеваний работников МЧС, обеспечивает четырехлетний прогноз по выбранным классам профессиональных заболеваний работников экстремальных профессий на уровне 0,88.

Апробация работы. Результаты и научные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих всероссийских и международных научных конференциях: Международная научно-практической конференция «Информационные проекты в медицине и педагогике» (г. Москва, 2014); 5 Международная научно-практическая конференция «Теоретические и прикладные аспекты современной науки» (Белгород, 2014); VIII международная конференция «ПМТУКТ-2015» «Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий» (Воронеж, 2015); XXIII Международная конференция «Лазер-

но-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте – 2015» (Новороссийск, 2015); Proceeding of the International Scientific and Practical Conference «Methodology of modern research, vol. I (March 21-22, 2015, Dubai, UAE)» (Dubai, 2015); VIII Международная конференция «Современные тенденции развития науки и технологий» (Белгород, 2015); XII Международная научно-техническая конференция «Опτικο-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации. Распознавание – 2015» (Курск, 2015); Научная сессия НИЯУ МИФИ – 2015 (Москва, 2015) и др.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 63 печатных работы (10 - без соавторов), в том числе: 30 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК; две монографии; 20 докладов на международных и всероссийских конференциях; 7 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и баз данных в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности» (РОСПАТЕНТ).

Личный вклад автора в получение результатов, изложенных в диссертации. Все результаты диссертационной работы, в том числе постановка задач, разработка и исследование защищаемых методологий, методов, моделей и алгоритмов, основные научные результаты, выводы и рекомендации, принадлежат автору лично. Интеллектуальные системы, реализующие разработанные методы, алгоритмы и модели, созданы непосредственно автором. Участие соавторов сводится к методическим консультациям и получению экспериментальных результатов по предложенным автором постановке задач и технологиям.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, библиографического списка из 231 наименований и приложения. Диссертация содержит 435 страниц основного текста, в том числе 38 таблиц и 149 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована проблема, цель и задачи исследований, научная новизна и практическая значимость, приведены результаты реализации работы.

В первой главе выполнен анализ современного состояния методов и компьютерных технологий прогнозирования профессиональной пригодности работников экстремальных профессий, выявлены пути их модификаций, обеспечивающих повышение эффективности принятия решений. Профессиональная пригодность при этом рассматривается с позиции адаптационных возможностей системы как ее способностей адекватно реагировать на вызовы внешней среды, характеризующиеся точкой в четких или нечетких координатах.

Во второй главе исследованы теоретические и экспериментальные модели прогнозирования профессиональной пригодности работников экстремальных профессий.

Для прогнозирования профессиональной пригодности работников экстремальных профессий предложена концептуальная модель функционального состояния (ФС) сложной системы, основанная на понятии структурно-функциональных единиц (СФЕ), и соотношении *функциональный резерв СФЕ - функциональный ресурс СФЕ*, которое определяет способность системы к самоорганизации и позволяет построить классификационные модели для оценки адаптационного потенциала сложной системы посредством соответствующего выбора управляемых акций и суррогатных маркеров.

Переход системы из одного ФС в другое связан с перераспределением СФЕ по трем выделенным классам, определяемым статусом СФЕ в системе, поэтому модели ФС, основанные на такой гипотезе, назовем моделями с динамической структурой.

Процесс перехода системы из одного структурного состояния в другое описывается двумя латентными переменными. Первая из них (θ) - характеризует ФС (число активизированных СФЕ) и отражает «напряженность» внешней среды, а вторая (α) – уровень возмущающего воздействия. Так как у каждой системы свои системные координаты, то отображение возмущающего воздействия для различных систем будет различно.

Математическая модель формирования функционального состояния сложной системы предполагает, что индикатором ФС служит векторная латентная переменная, определяемая через индикаторные переменные, две компоненты которой определяют число СФЕ первого и третьего классов. Модель позволяет определить вероятность перехода системы из одного ФС в другое в зависимости от величины экзогенных факторов и описывается следующими уравнениями:

$$\theta_i \stackrel{def}{=} f(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{Ni}); \quad (1)$$

$$\theta_i = \varphi_i(Y_i), \quad (2)$$

$$Y_i(\alpha_j) = Y_{i-1} + \Psi_i(P_{ij}), \quad (3)$$

$$P_{ij} = \mathcal{G}(\alpha_j, \theta_{i-1}), \quad (4)$$

где θ_i - i -ый дискретный уровень ФС; $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ - множество индикаторных переменных; Y_i - вектор i -ого дискретного ФС θ_i , характеризующийся состояниями СФЕ, с компонентами y_1 – число включенных в функциональную модель состояния θ_i СФЕ, и y_2 – число СФЕ, находящихся в резерве в данном ФС θ_i ; P_{ij} - условная вероятность перехода системы из состояния θ_{i-1} в состояние, в случае воздействия на систему фактора α_j , $j = \overline{1, M}$ (при этом $\alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_M$).

Если система испытывает адекватные к своему дискретному состоянию внешние воздействия, то все перестройки СФЕ обратимы в пределах соотношения резерв/ресурс системы. При выходе воздействий за пределы

адекватности реакции наблюдаются необратимые перестройки структуры системы, которые приводят к изменениям ее свойств (индикаторных переменных).

Для определения функционального состояния сложной системы в пространстве векторной латентной переменной «резерв СФЕ - ресурс СФЕ» **разработан метод синтеза решающего модуля**, основанный на нечетком шкалировании компонентов вектора. Метод разработан на основе концептуальной модели нечеткого шкалирования, представленной на рисунке 1.

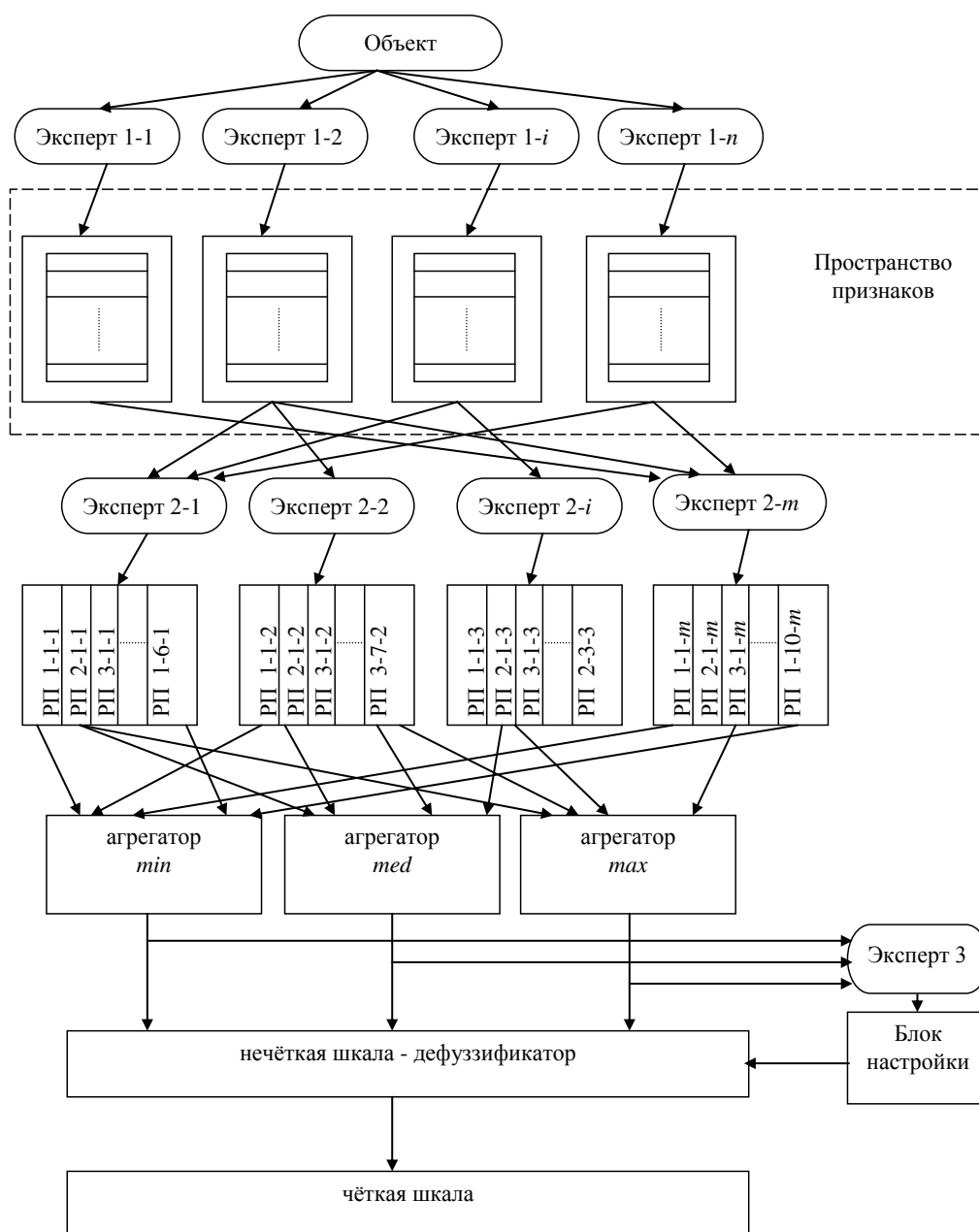


Рисунок 1 – Концептуальная модель нечёткого шкалирования

В концептуальной модели нечеткого шкалирования, представленной на рисунке 1, выделено три уровня экспертного оценивания. На первом уровне исследуемый объект характеризуется некоторыми информационными срезами. Каждый информационный срез представлен подмножеством

признаков. Эксперты второго уровня анализируют эти подмножества признаков и выносят решение о принадлежности исследуемого объекта или его свойства к нечеткому интервалу на порядковой шкале. Такие решения представляются в виде нечетких решающих правил продукционного типа. На рисунке 1 в целях компактности представления концептуальной модели выбрано только три нечетких множества, обозначенные терминами *min*, *med*, *max*. Эксперт третьего уровня формирует нечеткую шкалу для дефuzziфикатора на выходе агрегаторов второго уровня.

Для определения адаптационного потенциала предложена **модель функциональной системы, учитывающая врожденные способности и приобретаемые знания**, которая представлена на рисунке 2. Модель отличается наличием Менеджера, осуществляющего процесс обучения и настройки нейронной сети, формирующей модель ФС. Алгоритм настройки нейронной сети отличается возможностью, по мере мониторинга данных на входах и выходах системы, переключать настройку нейронной сети с настройки по обучающей выборке на настройку «из базы знаний».

Адаптационный потенциал зависит как от функционального состояния Менеджера, так и от ресурсов Системы формирования и перестройки NET. В связи с этим возникает проблема поиска и определения суррогатных маркеров, которые позволили бы оценить эти параметры организма.

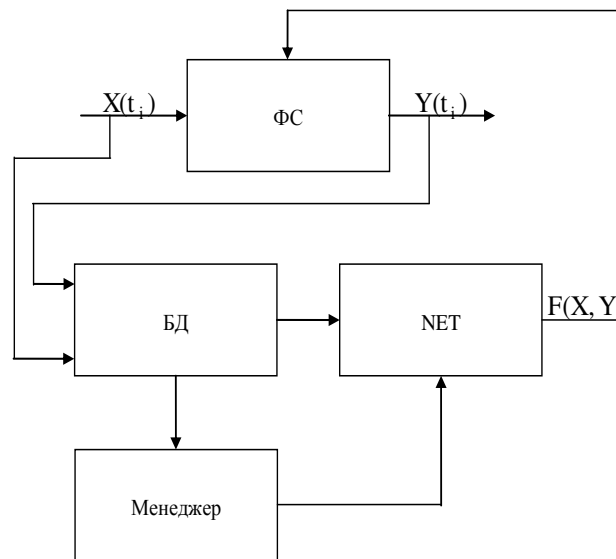


Рисунок 2 – Схема формирования функциональной системы

Из теории систем автоматического управления известно, что наибольшую информацию о состоянии системы можно извлечь при исследовании переходных процессов. Сделать это с помощью многих, используемых в медицинской практике методов, весьма затруднительно, а зачастую и просто невозможно. Поэтому суррогатные маркеры ищем среди параметров, определяемых при перестройке ФС. Для оценки этих параметров был предложен **метод многофазного эксперимента**. Проиллюстрируем метод на примере трехфазного эксперимента. В качестве теста выбирается функциональная проба («физическая» или «интеллектуальная»), имеющая несколько уровней

сложности, которые назовем фазами. Эксперимент состоит из трех фаз. В первой фазе испытуемому предлагают задания с низким уровнем нагрузки. Результаты выполнения заданий (рейтинг) записываются в таблицу экспериментальных данных (ТЭД). Во второй фазе экспериментатор незаметно для испытуемого переключает уровень сложности заданий, число которых столько же, что и в первой фазе. В третьей фазе эксперимента экспериментатор возвращает уровень сложности заданий в исходное состояние и опять предлагает испытуемому выполнить столько же заданий, что и в предыдущих фазах.

Для оценки адаптационного потенциала введем векторную латентную переменную A , определенную в единичном квадрате в декартовой системе координат. Первая проекция a_x вектора A определяет реакцию первичного ответа, а вторая проекция a_y – реакция платы. Такое представление адаптации позволит разделить индивидуумов на 5 классов.

Реакцию первичного ответа (a_x) и реакцию платы (a_y) для i -го индивидуума представим в виде аддитивной модели:

$$a_{xi} = c_1 \cdot \alpha_{1i} + c_2 \cdot \alpha_{2i}; \quad a_{yi} = c_3 \cdot \beta_{1i} + c_4 \cdot \beta_{2i}, \quad (5)$$

где α_{ki} и β_{ki} – статистические характеристики фаз индивидуума, c – контрастирующие коэффициенты, которые определяются эмпирически.

Предложенная классификационная модель многофазного эксперимента основана на анализе статистических характеристик наблюдаемых суррогатных маркеров и позволяет построить классификаторы функционального состояния сложных систем. Проведенные экспериментальные исследования показателей качества классификаторов, полученных на основе модели трехфазного эксперимента, подтвердили адекватность модели.

В третьей главе в результате проведенного исследования предложена практическая методология синтеза коллективов гибридных нечетких решающих правил. Методология включает методы формирования и сегментации пространства информативных признаков, методы анализа структуры пространства информативных признаков и выбора подходящих парадигм формирования нечетких решающих правил, методы оценки информативности признаков и нечетких решающих правил, методы построения агрегаторов решающих правил.

Для построения классифицирующих решающих правил использовались следующие парадигмы.

Нечеткий Вальдовский классификатор. Уверенность в классификации определяется функцией принадлежности к ω_r с базовой переменной, определяемой по шкале ДК, то есть $UGV_r = \mu_{\omega_r}$ (ДК).

При нечеткой классификации в двумерном отображающем пространстве четкий вывод метода диалогового конструирования двумерных классификационных пространств трансформируется в нечеткое решение путем оп-

ределения функций принадлежности $\mu_{\omega_r}(D_r)$ к классу ω_r с базовой переменной, определяемой как расстояние D_r от отображения в Φ исследуемого объекта до двумерных границ класса $\omega_r: UGD_r = \mu_{\omega_r}(D_r)$.

Если возможно построение *разделяющих поверхностей между классами*, то переход к нечетким классификаторам осуществляется через функции принадлежности $\mu_{\omega_r}(D_{kr})$ с базовыми переменными по расстояниям D_{kr} до разделяющих поверхностей и (или) эталонных структур с номерами k . Уверенность в принимаемых решениях определяется по максимальным значениям соответствующих функций принадлежности: $UGR_r = \mu_{\omega_r}(D_{kr})$.

Одним из способов уменьшения ошибок классификации при использовании линейной разделяющей поверхности (ЛРП) являются ограничения области исследования эталонными гиперструктурами содержащими в себе объекты исследуемых классов.

На рисунке 3 приведен пример такого ограничения для классов ω_ℓ и ω_r , выполненный посредством двух гиперпараллелепипедов. Условия нахождения объектов исследуемых классов внутри ограничивающих гиперпараллелепипедов определяются границами гистограмм $C_{1\ell}^H, C_{1\ell}^B, C_{2\ell}^H, C_{2\ell}^B, C_{1r}^H, C_{1r}^B, C_{2r}^H, C_{2r}^B$ (рисунок 3).

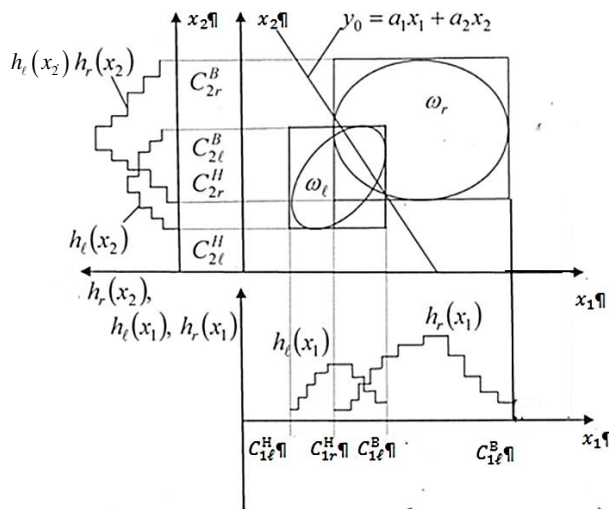


Рисунок 3 - Формирование границ ограничивающих эталонных структур для классов ω_ℓ и ω_r .

Если целесообразна нечеткая аппроксимация многомерных областей нечеткими многомерными гиперпараллелепипедами, то, каждый из гиперпараллелепипедов определяется выражением $\mu_{\omega_{rk}} = \min_i [\mu_{rk}(X_i)]$, где k – номер нечеткого гиперпараллелепипеда в многомерном пространстве признаков. Множество, аппроксимирующее гиперпараллелепипедов для класса ω_r , объединяется выражением: $UGG_r = \mu_{\omega_r} = \max_k (\mu_{\omega_{rk}})$.

Для синтеза классификационных решающих правил *разработан метод синтеза на основе нечеткой логики Л. Заде и Е. Шортлифа*, отличающийся использованием функции принадлежности к гиперобъемам многомерного пространства, характеризующим исследуемые классы состояний, причем форма, параметры и способы агрегации функций принадлежности выбираются в зависимости от структуры анализируемых данных. В общем виде синтез систем нечетких решающих правил согласно методу реализуется в три этапа. На первом этапе производится разведочный анализ, позволяющий изучить геометрическую структуру классов в пространстве информативных признаков. На втором этапе под известную структуру классов и типы признаков выбираются базовые переменные и параметры частных функций принадлежности, решающих задачи классификации по подпространствам и областям исходного пространства признаков. На третьем этапе частные функции принадлежности объединяются в коллективы нечетких решающих правил в виде сетевых структур, обеспечивающих требуемое качество решаемой задачи, причем было показано, что использование в качестве агрегаторов нечетких *min* или *max*, образующих множество гиперпараллелепипедов, определяемых функциями принадлежности $\mu_{\omega_\ell}^q(X)$ для исследуемого класса состояний ω_ℓ , позволяет осуществить выделение классов со сколь угодно сложной структурой.

Для синтеза нечетких решающих правил по признаковым гистограммам разработан алгоритм, позволяющий устранить ограниченность информации о структуре данных.

Если обучающие выборки отсутствуют, то использовался классический аппарат нечеткой логики принятия решений, в котором в качестве базовых элементов используются функции принадлежности $\mu_{\omega_r}(x_i)$ и (или) $\mu_{\omega_r}(Y_j)$ к исследуемым классам состояний ω_r с базовыми переменными, определяемыми по шкалам информативных признаков x_i и (или) комплексных показателей Y_j , вычисляемых по информативным показателям $Y_j = f_j\{x_1, x_2, \dots\}$, где f_j функциональная зависимость, «связывающая» все или часть информативных признаков с Y_j , например, $UGN_r = \min_i [\mu_{\omega_r}(x_i)]$.

При возможности использовать метод группового учения аргументов (МГУА) уверенность в классификации при использовании нечеткого МГУА определяется выражением:

$$UGM_\ell = \frac{1}{L_r} \sum_{r=1}^{L_r} \mu_{\ell r}(D_{\ell r}), \quad (6)$$

где L_r количество МГУА-моделей в классе ω_ℓ , $\mu_{\ell r}(D_{\ell r})$ - функция принадлежности к классу ω_ℓ с базовой переменной $D_{\ell r}$, определяемой как расстояние от точки многомерного пространства до модели с номером r класса ω_ℓ .

Для удобства использования МГУА моделей в соответствующих системах поддержки принятия решений формируется «База моделей системных взаимосвязей», в которой множество идентифицированных моделей располагается по критерию информативности, позволяя сократить время их выборки из базы. В ходе обучения и «сортировки» модели могут быть представлены в виде системы уравнений:

$$\begin{aligned} x_{\omega_i j} &= F_{X\ell}(A_\ell; \{x_{\omega_i j}\}, j=1, \dots, n_1, j \neq i), i=1, \dots, n_1, \\ y_{\omega_i k} &= F_{Y\ell}(B_\ell; \{y_{\omega_i k}\}, j=1, \dots, n_2, j \neq k), k=1, \dots, n_2 \\ y_{\omega_i k} &= F_{YX\ell}(C_\ell; \{y_{\omega_i k}\}, \{x_{\omega_i i}\}, i=1, \dots, n_1; i, j \neq k), k, j=1, \dots, n_2 \end{aligned} \quad (7)$$

где n_1, n_2 – количество показателей во множествах X и Y , соответственно; $x_{\omega_i i}, y_{\omega_i k}$ – соответственно, i -ый показатель из множества X_{ω_ℓ} и k -ый элемент из множества Y_{ω_ℓ} по классам ω_ℓ ; A_ℓ, B_ℓ, C_ℓ – векторы настраиваемых параметров по классам ω_ℓ , полученные в ходе синтеза моделей; $F_{X\ell}, F_{Y\ell}, F_{YX\ell}$ – функционалы структурных моделей в классе ω_ℓ .

Базовые переменные функций принадлежности определяются как меры близости между реально измеряемыми параметрами и их значениями, вычисляемыми по моделям системных структурных взаимосвязей между признаками, описывающими состояние исследуемых органов и систем, а процедура агрегации учитывает особенности структуры используемых данных.

Если для построения решающих правил используется теория латентных переменных, то модель Г. Раша может быть использована для получения базовой переменной L и нечеткой оценки состояния объекта исследования с расчетом уверенности в классификации в соответствии с выражением $UGR_\ell = \mu_{\omega_\ell}(L)$. В *методе синтеза правил нечеткого вывода с использованием теории измерения латентных переменных* латентные переменные модели Г. Раша определяются как показатели, характеризующие состояние здоровья и функциональное состояние обследуемых и способы их коррекции.

Исследование роли индикаторных переменных в измерении латентных переменных производилось с помощью стандартного пакета диалоговых прикладных программ RUMM 2020 (Raschuni dimensional Measurement Models). В пакете RUMM 2020 определялась функциональная связь между латентной переменной L , определяемой в логитах, и выбранным набором индикаторных переменных S_j

$$L = f_L(S_j), \quad (8)$$

где f_L – вид функциональной зависимости L от S_j .

Для согласованного применения нечеткой логики принятия решений шкала L в логитах использовалась как базовая переменная для построения функций принадлежности $\mu_{\omega_\ell}(L)$ объекта исследований к классам состояний ω_ℓ . При этом для перехода от L к $\mu_{\omega_\ell}(L)$ пакетом RUMM 2020 использовалась гистограмма распределения объектов исследования на шкале латентной переменной L .

При построении агрегаторов – коллективов нечетких решающих правил решение должно приниматься при обязательном учете «мнения» всех участков коллектива, с учетом возможных «сомнений» или «доверия» в направлении альтернативы (к классу ω_r), например,

$$UG_r = \min(UGN_r, UGV_r, UGP_r, UGD_r, UGG_r, UGM_r, UGR_r). \quad (9)$$

Если использование каждого из правил добавляет уверенность в принятии решений относительно гипотезы ω_r , то целесообразно использовать итерационные накопительные процедуры, например, Е. Шортлифа,

$$UG_r = F_r(UGN_r, UGV_r, UGP_r, UGD_r, UGG_r, UGM_r, UGR_r), \quad (10)$$

где F_r – накопительная итерационная функция.

При наличии репрезентативных обучающих выборок и адекватности модели Г. Раша, процедуру агрегации целесообразно производить, используя выражение вида:

$$UG_r = \frac{\alpha_1 UGN_r + \alpha_2 UGV_r + \alpha_3 UGP_r + \alpha_4 UGD_r + \alpha_5 UGG_r + \alpha_6 UGM_r + \alpha_7 UGR_r}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 + \alpha_7} \quad (11)$$

Экспертная оценка информативности α_j (важности) признаков определяется по методикам хорошо отработанным в рамках квалиметрии.

Рассматривая результаты работы коллективного решающего правила как латентные переменные, а результаты работы частных решающих правил $UGN_r, UGV_r, UGP_r, UGD_r, UGG_r, UGM_r, UGR_r$ как индикаторные переменные и используя логистические модели Г. Раша определяем целесообразность включения частных моделей в коллективные выражения (11) и значения весовых коэффициентов α_j ($j=1, \dots, 7$).

Для уточнения фактов наличия непересекающихся и пересекающихся областей различных классов, в определенных подобластях исходного пространства выделяемых, например, по координатам шкал дистальных гистограмм, разработан *метод анализа структуры многомерных данных*. Метод реализуется посредством алгоритма с использованием разведочного анализа и итерационных циклов выполнения следующих процедур:

1. На базовой шкале S выделяем зоны уверенной классификации для классов ω_ℓ и ω_r - $\Delta S\omega_\ell$ и $\Delta S\omega_r$, а так же зону неуверенной классификации-

ΔS_n , определяемую границами пересечения базовых дистальных гистограмм с учетом фактора доверия к элементам обучающей выборки (DE).

2. Для массива МУ2 порождающего зону неопределенной классификации, исследуется разделимость классов ω_ℓ и ω_r с помощью набора признаков и дистальных гистограмм различных типов.

3. На выделенной шкале второго уровня устанавливаются зоны уверенной и не уверенной классификации и для них может решаться задача оценки выделения непересекающихся групп объектов исследуемых классов по п.п. 1 и 2 с получением шкал третьего, четвертого и т.д. уровней.

После этого выполняется процедура выделения зон надежной классификации с возможностью возвращения на итерационный процесс согласно п.п. 1-3.

В четвертом разделе осуществлена разработка прототипов решающих модулей и моделей принятия решений для СППРПРО работников экстремальных профессий.

Предложены нейронные сети с виртуальными потоками, которые отражают скрытые системные связи между реальными и виртуальными потоками. При этом вектор информативных признаков состоит из двух подвекторов, первый из которых соответствует реальным потокам, а второй – виртуальным потокам.

В качестве инструментария для формирования виртуальных потоков используем гибридные решающие модули.

В среде МАТЛАБ разработана программная среда, позволяющая моделировать нейронные сети прямого распространения с различной структурой скрытых слоев, моделировать и визуализировать пространство информативных признаков. Моделирование процессов классификации в разработанной программной среде позволили оценить влияние на качество классификации искусственно введенных виртуальных потоков. Для оценки качества классификации гибридных решающих модулей с виртуальными потоками введен новый показатель качества классификации, позволяющий создавать эффективные «движки» для управления показателями качества решающих модулей.

Экспериментально доказано, что введение виртуальных потоков в гибридный решающий модуль позволяет организовать «движок», осуществляющий управление качеством классификации нейросетевой структуры.

Метод синтеза дополнительного признака для нейросетевого классификатора, построенного на основе нейронной сети прямого распространения, предусматривающий последовательное выполнение шести шагов.

На **первом шаге**, на основе обучающей выборки $\{Z_1, Z_2, \dots, Z_i, \dots, Z_M\}$, формируется новая обучающая выборка $Z_{N+1} = (z_{N+1}^1, z_{N+1}^2, \dots, z_{N+1}^i, \dots, z_{N+1}^M)^T$. Обучающая выборка формируется таким образом, что к каждому i – му N -мерному вектору Z_i добавляется z_{N+1} виртуальная компонента.

На **втором шаге** синтеза формируем модель нейронной сети *NET1*, используя процедуру обучения нейронной сети прямого распространения.

На **третьем шаге** определяются количественные характеристики качества классификации полученной модели на различных контрольных выборках.

На **четвертом шаге** осуществляется процедура искусственного улучшения качества классификации полученной модели нейронной сети *NET1* для модифицированной на шаге один обучающей выборки или контрольной выборки, составленной из образцов обучающей выборки.

Улучшение показателей качества классификации осуществляется посредством изменения дополнительного информативного признака в образцах обучающей (контрольной) выборки согласно структурной схеме, представленной на рисунке 4.

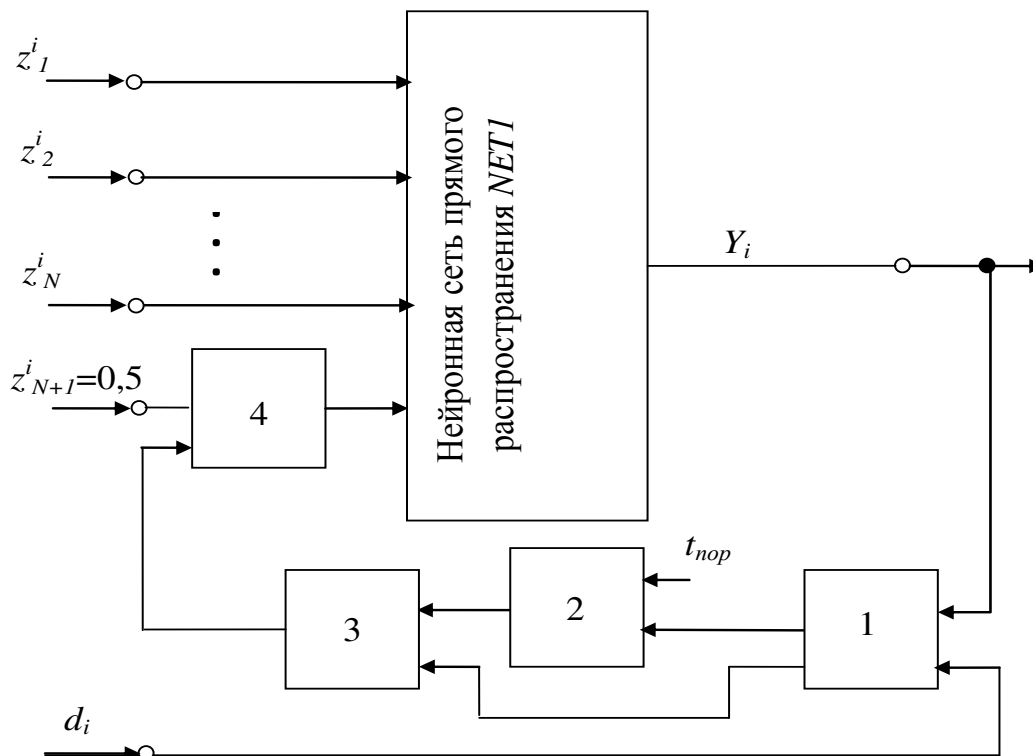


Рисунок 4 – Схема коррекции дополнительного информативного признака в i -м образце обучающей (контрольной) выборки

Схема имеет петлю обратной связи, реализованной последовательно соединенными блоками 1 – блок вычисления модуля разности, блоком 2 – компаратор, блока 3 – блок управления и блока 4 – сумматор.

Если ошибка превосходит некоторый порог, заданный в компаратор 2, то блок управления 3 формирует управляющее воздействие на сумматор 4, направленное на снижение ошибки Δ_i .

Новое значение дополнительного признака z_{N+1}^i снимается с выхода сумматора 4 после того, как ошибка Δ_i снижена до минимально возможной в данной модели нейронной сети.

Алгоритм четвертого шага формирования виртуального потока имеет контуром обратной связи, предназначенный для осуществления итерационного процесса формирования дополнительного информативного признака во входном векторе образца обучающей выборки, что позволяет сформировать новую обучающую выборку, векторы образцов которой имеют на одну компоненту больше, чем векторы образцов исходной обучающей выборки.

На *пятом шаге* строится модель дополнительного признака. Модель дополнительного признака строится как:

$$z_{N+1}^i = f(z_1^i, z_2^i, \dots, z_N^i), \quad (12)$$

где i – номер образца контрольной выборки (неизвестного образца).

На *шестом шаге* формируется решающий модуль для классификации неизвестного образца, включающий две нейронных сети NET_1 и NET_2 , первая из которых является классификатором, а вторая аппроксиматором (рисунок 5).

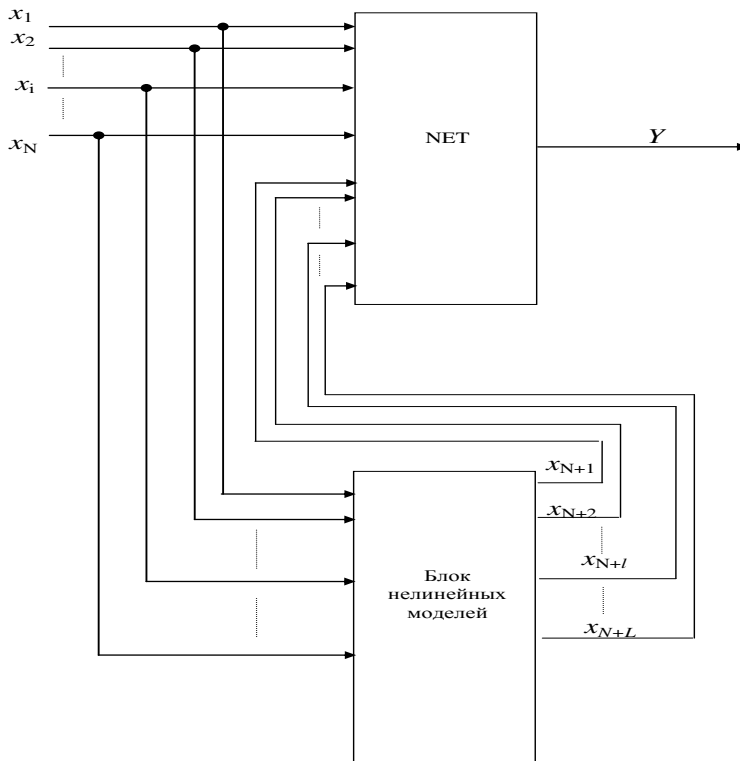


Рисунок 7 - Обобщенная структурная схема классифицирующего модуля, предназначенного для работы с дополненным пространством информативных признаков

Этот модуль представляет из себя обобщенную рекуррентную структурную схему формирования гибридного вектора информативных признаков, который состоит из двух подвекторов, один из которых сформирован из исходных информативных признаков, а второй – из информативных признаков, полученных на основе моделирования системных связей между информативными признаками первого подвектора. Использование для формирования второго подвектора как системных связей между исходным пространством

информативных признаков, так и вновь сформированным признаковым пространством, позволило выделить релевантные системные связи в исходном пространстве информативных признаков и во вновь сформированном пространстве информативных признаков.

Метод построения универсального нейросетевого аппроксиматора NET_2 основан на обучаемой нейронной сети. Она имеет два скрытых слоя, в первом из которых проводится разбиение обучающей выборки на кластеры посредством многомерных линейных аппроксиматоров, а во втором скрытом слое вычисляется функция принадлежности к заданному кластеру на основе численного значения многомерной аппроксимирующей функции. Метод позволяет формировать виртуальные потоки различной размерности.

На первом шаге реализации метода, полученные посредством нейронной сети NET_1 данные аппроксимируются линейной многомерной функцией.

На втором шаге реализации метода определяем ошибку аппроксимации по множеству $\{z_{N+1}^i\}$. Если ошибка аппроксимации по всем элементам этого множества не превышает предельно допустимую, то на этом процесс построения аппроксиматора заканчивается – нейронная сеть вырождается в персептрон. Если это не так, то переходим к третьему шагу – кластеризации обучающей выборки для NET_2 .

Если на вход сети подается неизвестный образец, то второй слой сети позволяет определить его близость к одному из известных образцов или к одному из сформированных кластеров. Чем ближе образец к тому или другому кластеру, тем ближе к нулю соответствующий выход нейрона. Таким образом, при поступлении на ее входы компонентов вектора X_j , соответствующему кластеру \mathfrak{K} , на выходах нейронов второго слоя появятся числа, близкие к нулю. При этом наиболее близким к нулю будет выход y_r того нейрона, расстояние между гиперплоскостью которого и точкой X_j минимально. После этого достаточно выбрать минимальное значение из всех компонентов вектора состояния второго слоя $(y_1, y_2, \dots, y_r, \dots, y_\lambda)$, которое будет характеризовать степень близости вектора X к кластеру \mathfrak{K} .

Так как выходы второго слоя имеют произвольный знак, то есть могут приближаться к нулю с двух сторон, то над ними должны быть осуществлены симметричные нелинейные преобразования. Эти нелинейные преобразования позволяют осуществить переход от четких чисел, соответствующих выходам второго слоя, к нечетким, которые характеризуют степень принадлежности соответствующего выхода второго слоя к искомому кластеру.

Сформированная нейронная сеть позволяет добавить к входному вектору информативных признаков неизвестного класса дополнительный информативный признак и тем самым формирует дополнительный поток данных. В структуре четырехслойного аппроксиматора использованы как нейросетевые технологии, так и технологии мягких вычислений.

Метод формирования нелинейных моделей виртуальных потоков, составляющих основу классифицирующего модуля рисунок 5. Модуль моделирования виртуальных потоков состоит из двух слоев. Первый слой фор-

мирует множество моделей \hat{Y} . Для каждого виртуального потока посредством МГУА - моделирования получено свое подмножество моделей $\{z_j\}_i \subseteq Z, \forall i = \overline{1, M}$. Каждое подмножество моделей $\{z_j\}_i, j = 1 \dots K_i$, где K_i – число МГУ - моделей для i -го виртуального потока, полученных на основе МГУА-моделирования, которые предполагается использовать для описания взаимного влияния известных информативных признаков (реальных потоков) в системе простых комбинаций реальных и виртуальных потоков. Множество моделей \hat{Y} получается не посредством усложнения МГУА-моделей, а посредством МГУА-нейронной сети.

Процесс обучения МГУА - модели виртуального потока состоит в конфигурации нейронных сетей, начиная с первого скрытого слоя, независимой настройке синаптических весов каждой нелинейной адальны и наращивании количества слоев для достижения необходимой точности прогнозирования. Количество нейронов первого скрытого слоя сети определяется количеством K МГУА – моделей соответствующего эндогенного фактора и не превышает значение $K(K-1)/2$ – количества сочетаний из K по 2.

После обучения нейронной сети посредством любого из известных алгоритмов обучение оценивается точность моделирования.

Структура гибридной решающей системы с виртуальными потоками позволяет учитывать латентные информативные признаки (виртуальные потоки), определяемых на основе статистических и экспертных исследований связей между исходными информативными признаками.

В качестве основы для разработки гибридной решающей системы выбрана распространенная модель нечеткого решающего модуля, состоящая из блоков фуззификатора, агрегатора и дефуззификатора. В отличие от основной структуры, в рассматриваемой модели на этапе фуззификации выполняется разбиение признакового пространства на группы для последующего анализа наборов сгруппированных признаков вместо совокупного анализа одновременно всех признаков исходного пространства. Агрегирование выполняется в два последовательных шага: на первом выполняется построение структуры групповых агрегаторов, предназначенных для вычисления коэффициентов уверенности принадлежности объектов к заданному классу на основании каждой группы признаков. Дополнительный информативный признак формируется нейронной сетью согласно обобщенной структуре рисунк 4.

На втором шаге для рассчитанных групповых коэффициентов уверенности строятся основные агрегаторы, позволяющие непосредственно определить коэффициент уверенности принадлежности объекта к заданному классу. В качестве дефуззификатора гибридной системы используется нейронная сеть, обучение которой производится на основе исходных обучающих данных, полученных из анализа образцов обучающей выборки больных исследуемом профессиональным заболеванием.

Алгоритм последовательной настройки гибридной прогнозирующей системы с виртуальными потоками включает в себя этапы выбора нечетких функций принадлежности, составление набора нечетких операций для агрегаторов, обучение нейронной сети, используемой в качестве дефuzziфикатора, контроль качества прогнозирования, выполняемого полученной системой.

Пятый раздел посвящен теоретическим вопросам разработки методов и алгоритмов для систем интеллектуальной поддержки СППРПРО работников экстремальных профессий.

Для прогнозирования профессиональной пригодности работников экстремальных профессий предложена структурно-функциональная организация СППРПРО, за основу которой взята пирамидальная динамическая структура с блоками, организованными на основе принципов автономного интеллектуального агента. В качестве базиса системы выделим второй уровень. Здесь имеются четыре автономных интеллектуальных агента. Первый агент определяет адаптационный потенциал. Второй агент прогнозирует профессиональные заболевания кандидата, характерные для данного вида профессиональной деятельности. Третий агент определяет соответствие психологического портрета кандидата выбранному виду деятельности. Четвертый агент реализует виртуальный поток, организация которого рассмотрена в четвертом разделе.

Первый иерархический уровень агрегирует решения интеллектуальных агентов второго уровня. Третий иерархический уровень обеспечивает интеллектуальных агентов второго уровня методами и методиками тестирования соответствующих ракурсов профессиональной пригодности. На рисунке 6 представлена схема формирования агента второго уровня.

Менеджером в этой схеме является лицо, принимающее решение (ЛПР). Выбрав соответствующий вид деятельности, ЛПР приступает к формированию агентов второго уровня. Для формирования агента второго уровня ЛПР должен выбрать из базы знаний методы и методики для соответствующего агента, а также методы и модели объединения (агрегации) их внутри агента. При необходимости ЛПР может протестировать метод или методику на обучающих и контрольных выборках или на основе вновь созданных экспертных знаниях.

Метод синтеза модели для определения адаптационного потенциала работников экстремальных профессий построен на основе идеи конструктора, которая заключается в «сборке» из известных методов и методик исследования адаптационного потенциала адекватной модели количественного определения адаптационного потенциала, ориентированной на конкретную экстремальную профессию. Метод позволяет найти оптимальное сочетание методов и методик для количественного вычисления адаптационного потенциала кандидата на работу выбранной экстремальной профессии.

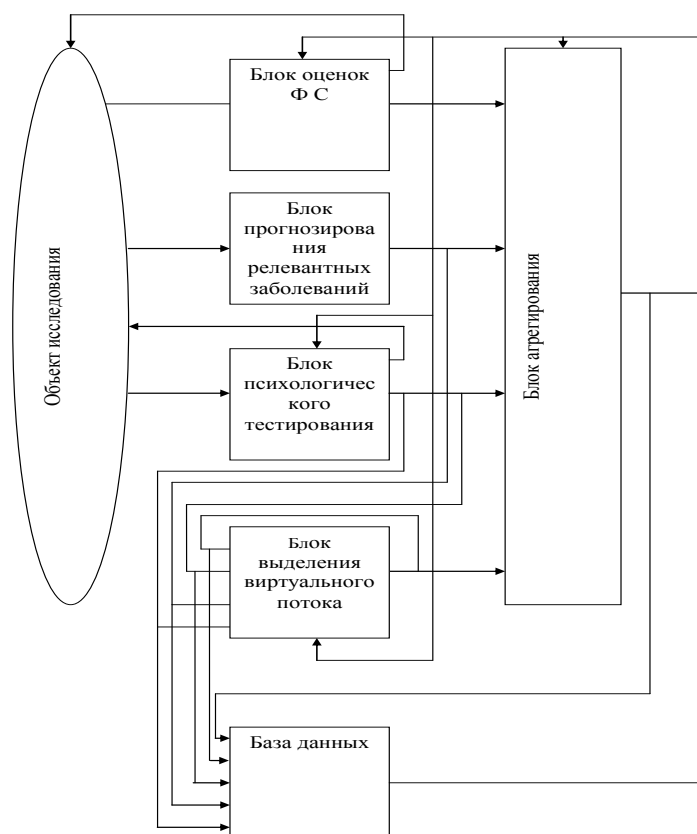


Рисунок 6 – Схема формирования агента второго уровня

У ЛПР должен быть инструментарий, позволяющий собрать из отдельных модулей специализированный блок для определения адаптационного потенциала. На рисунке 7 представлена укрупненная панель инструментов для формирования слабого классификатора. Инструментарий имеет ячеистую структуру.

Учитывая недостатки известных методов прогнозирования профессиональных заболеваний, был разработан новый метод прогнозирования риска развития профессиональных заболеваний, заключающемся в психологическом и психофизиологическом исследовании с помощью набора тестов, адресованных всем иерархическим уровням личности, сравнении статистических показателей тестирования со статистическими показателями тестирования в эталонных группах и принятию решения о риске заболевания по результатам этого сравнения, для каждого неизвестного образца путем использования комплекса тестов, формирующих множество «слабых» классификаторов, из которых, посредством агрегации, формируют «сильный» классификатор, на основе которого принимается окончательное решение по риску исследуемого заболевания у неизвестного образца. При формировании «сильного» классификатора учитывается «вес» «слабого» классификатора в прогнозе соответствующего заболевания, который определяется на основе результатов качества прогнозирования соответствующего теста на контрольных или эталонных группах, а также качества прогнозирования всей совокупности тестов на конкретной эталонной группе.

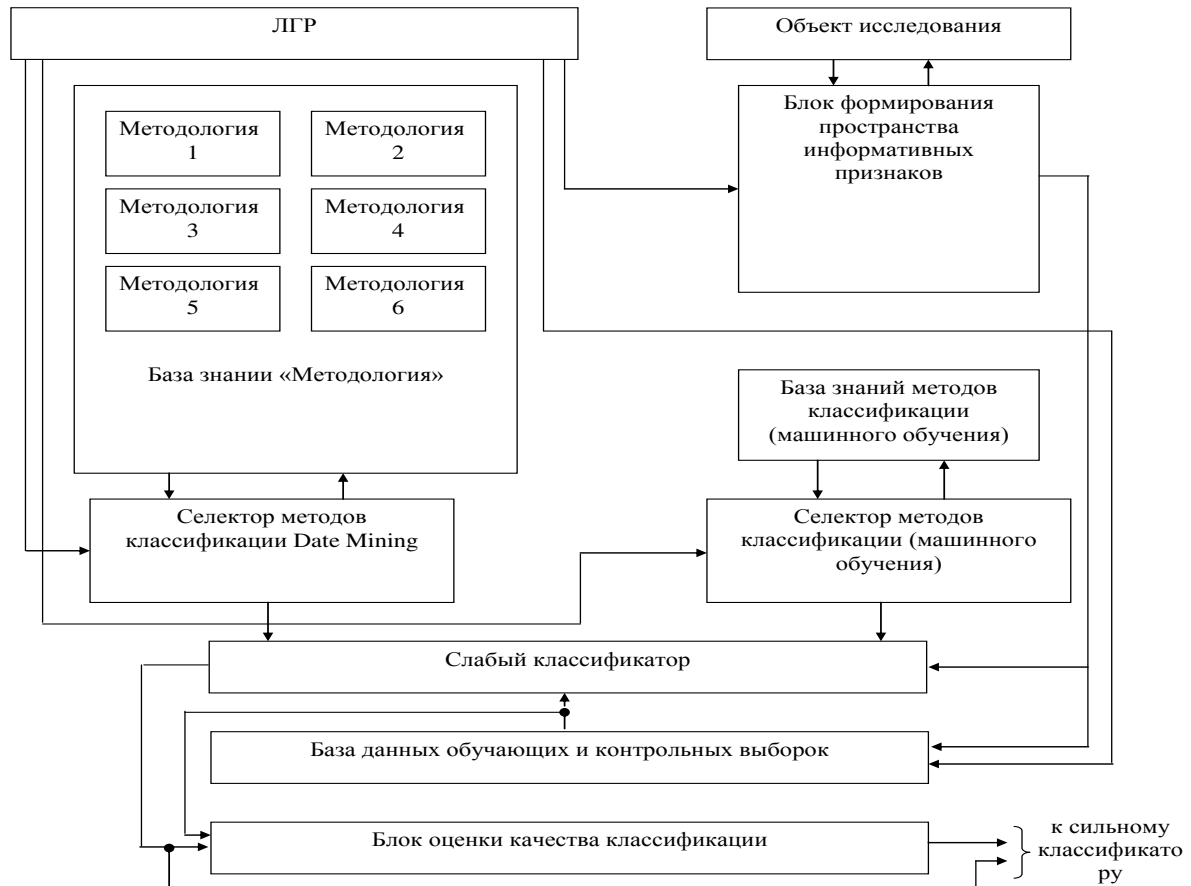


Рисунок 7 - Укрупненная панель инструментов для формирования слабого классификатора

При реализации метода используют N эталонных групп для каждого класса прогнозируемого заболевания. При этом используют M тестов, на основе которых получают суррогатные маркеры прогнозирования социально значимых заболеваний – «слабые» классификаторы. В рамках метода разработана схема «сильных» классификаторов, отличающаяся гибридной нейросетевой структурой формирования промежуточных «сильных» классификаторов и учетом «веса» обучающей выборки, на основе которой был получен этот классификатор, позволяющая определять «веса» «слабых» классификаторов.

Для формирования финального «сильного» классификатора разработан метод формирования сильного классификатора, отличающийся тем, что при формировании «сильного» классификатора учитывается «вес» «слабых» классификаторов, который определяется путем формирования промежуточных «сильных» классификаторов, получаемых для каждого теста (суррогатного маркера) с учетом «весов» эталонных групп, на которых были обучены эти классификаторы. Так как «вес» эталонной группы влияет на «вес» суррогатного маркера, то процесс «взвешивания» осуществляем методом итераций.

Разработан метод обучения «сильных» классификаторов, отличающийся тем, что в процессе обучения «сильных» и «слабых» классификаторов контролируются «веса» слабых классификаторов и «веса» эталонных групп, и при условии, что эти показатели окажутся ниже пороговой величины, соответствующие суррогатный маркер или эталонная группа исключается из финального классификатора, позволяющий повысить диагностическую эффективность метода прогнозирования риска социально значимых заболеваний. Структурная схема устройства для «взвешивания» суррогатных маркеров представлена на рисунке 8. Входы промежуточных «сильных» классификаторов соединены с выходами соответствующих «слабых» классификаторов. «Слабые» классификаторы разбиты на M подмножеств, каждое из которых соответствует определенному маркеру (тесту).

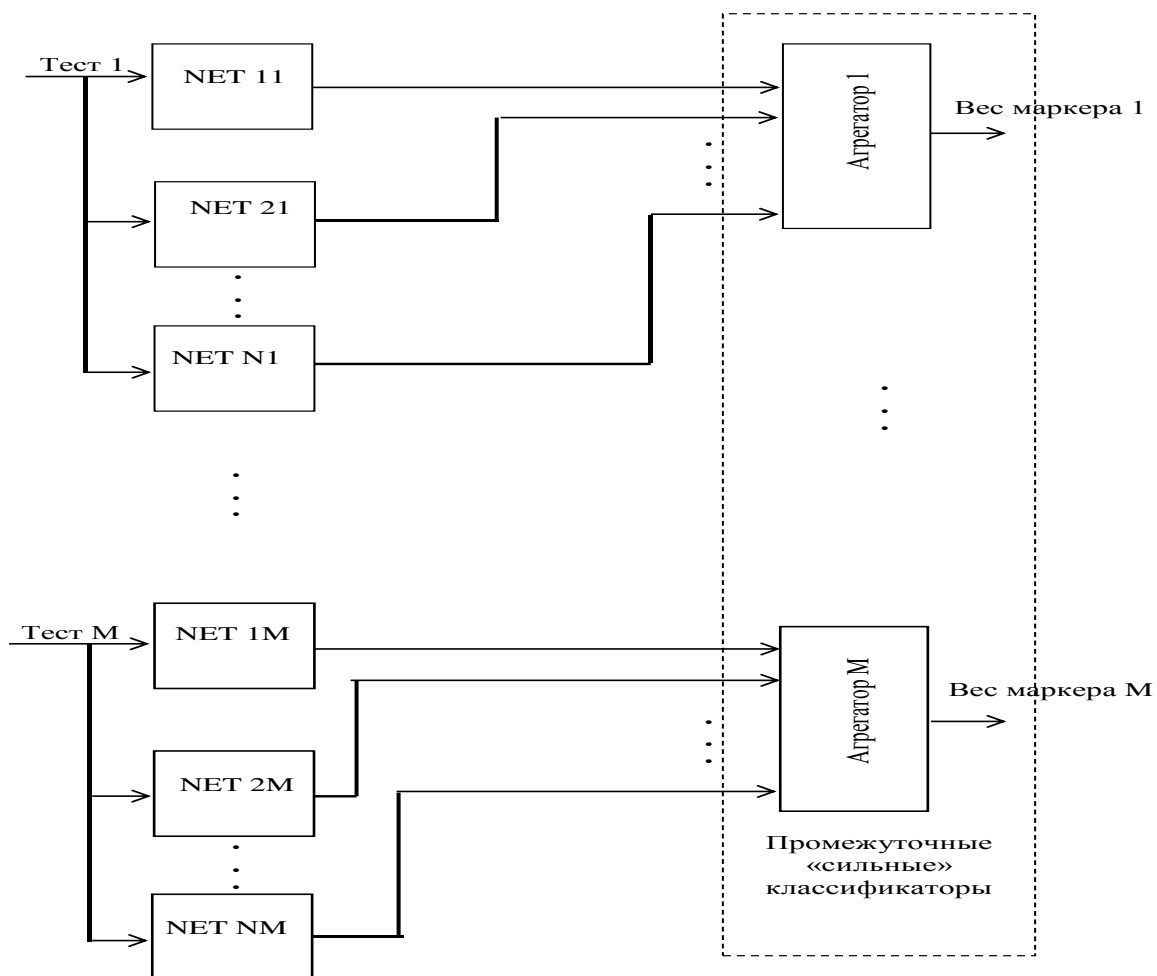


Рисунок 8- Структурная схема устройства, предназначенного для «взвешивания» суррогатных маркеров

Промежуточный «сильный» классификатор агрегирует результаты работы «слабых» классификаторов в соответствующем подмножестве. Для обучения промежуточного «сильного» классификатора используют все эталонные группы риска по соответствующей патологии. Таким образом, каждый ij -й «слабый» классификатор обучается по i -й эталонной группе, а каж-

дый промежуточный j -й «сильный» классификатор обучается по всей совокупности эталонных групп. Для определения «веса» маркера определяют качество классификации промежуточного «сильного» классификатора.

В диссертации представлены алгоритмы для реализации этих методов.

Полученные экспериментальные результаты показали, что разработанный метод прогнозирования риска профессионального заболевания является универсальным инструментом. Решающие модули как «слабых», так и «сильных» классификаторов могут строиться на основе любой интеллектуальной платформы. Эффективность алгоритма слабо зависит от диагностической эффективности суррогатных маркеров или от «удачного» формирования экспериментальных выборок.

Для формирования интеллектуальных агентов для прогнозирования психологической устойчивости работника экстремальных профессий разработан алгоритм синтеза модели интеллектуального агента (формирования текущих методик), основанный на формировании суперпозиции текущих методик, отличающийся тем, что формирования методик для выбранной профессии осуществляется на основе двухконтурного принципа, в первом контуре осуществляется количественная оценка эффективности этой методики, а во втором – непосредственная получение психологического «портрета» кандидата на основе этой методики, позволяющий сформировать агентов второго иерархического уровня для СППРПО определения профессиональной пригодности кандидатов на работу опасных профессий.

Текущая методика извлекается ЛПР из базы методик. Для реализации текущей методики нужен соответствующий комплект тестов, который выбирается из батареи тестов, и ключи, позволяющие построить соответствующие шкалы, в том числе и нечеткие. Если методика выбрана, то можем приступить к этапу тестированию кандидата, который заканчивается его психологическим «портретом» (слабым классификатором), соответствующим выбранной методике.

Если соответствующей методике нет в базе методик, то ЛПР сам формирует подходящую методику исходя из тестов, имеющихся в батарее тестов. После формирования методики она проходит тестирование с использованием эталонного портрета кандидата. Если методика удовлетворительно описывает эталонный портрет кандидата, то она помещается в базу методик и доступна для дальнейшего использования.

Алгоритм формирования методик для выбранной профессии работает на основе двухконтурного принципа. В первом контуре осуществляется методика формирования слабого классификатора на основе экспертных оценок профессиональной пригодности. Если методика прошла этот контур, то она помещается в базу методик, то есть на ее основе могут быть построены слабые классификаторы. Второй контур ничем не отличается от непосредственного получения «портрета» кандидата, так же, как в измерительной технике этап калибровки не отличается от этапа измерения.

Таким образом, разработанные интеллектуальные технологии направлены на повышение качества профессионального отбора работников экстре-

мальных профессий и могут быть использованы в системах скрининговой диагностики, автоматизированных системах профессионального отбора, профилактической медицине.

В шестом разделе осуществлена программная реализация методов и алгоритмов прогнозирования профессиональной пригодности работников экстремальных профессий в интеллектуальных системах поддержки принятия решений.

СППРПРО является компьютерной программой и состоит из интерфейсной части, блока обработки информации (правила, по которым формируется результат, алгоритмы обработки данных), блока хранения данных. Структурная схема СППРПРО для профессионального отбора работников МЧС представлена на рисунке 9. СППРПРО функционально состоит из трех подсистем: подсистемы знаний, подсистемы принятия решений и подсистемы интернет-тестирования.

Координацию между этими подсистемами осуществляют ЛПР, и специалист по программному обеспечению. СППРПРО работает с двумя потоками данных, которые поступают от исследуемого объекта – человека. Первый поток данных формируется путем анкетирования по определенным методикам, которые задаются ЛПР через блок ввода методик, посредством которого осуществляется управление блоком стартовых анкет.

Подсистема принятия решений включает два блока принятия решений, первый из которых предназначен для тестирования по базе данных «Здоровье», а второй – по базе данных психологических тестов, выявляющих профессиональные склонности. СППРПРО формирует и интегрирует решающие правила, основанные на различных парадигмах и оперирующих с различными сегментами пространства информативных признаков, связанными с различными функциональными системами организма человека.

Для экспресс - диагностики используется блок экспресс оценки. В этом случае данные тестирования попадают не в базу данных, а непосредственно на решающие модули, включенные в блок экспресс оценки. Туда же непосредственно попадают данные от приборов измерения. Отличительной особенностью экспресс анализа является то, что при принятии решения используется только одна анкета и минимум инструментальных исследований.

Подсистема интернет-тестирования осуществляет тестирование профессиональной пригодности работников МЧС через Интернет посредством доступа к базе знаний и базе данных СППРПРО, а также к инструментальным средствам создания блоков принятия решений.

Программное обеспечение психологического тестирования реализует ряд методик и интегрировано в базу данных СППР. Основным модулем программного обеспечения является стартовая анкета, которая содержит интерфейс, анкету и методику обработки данных.

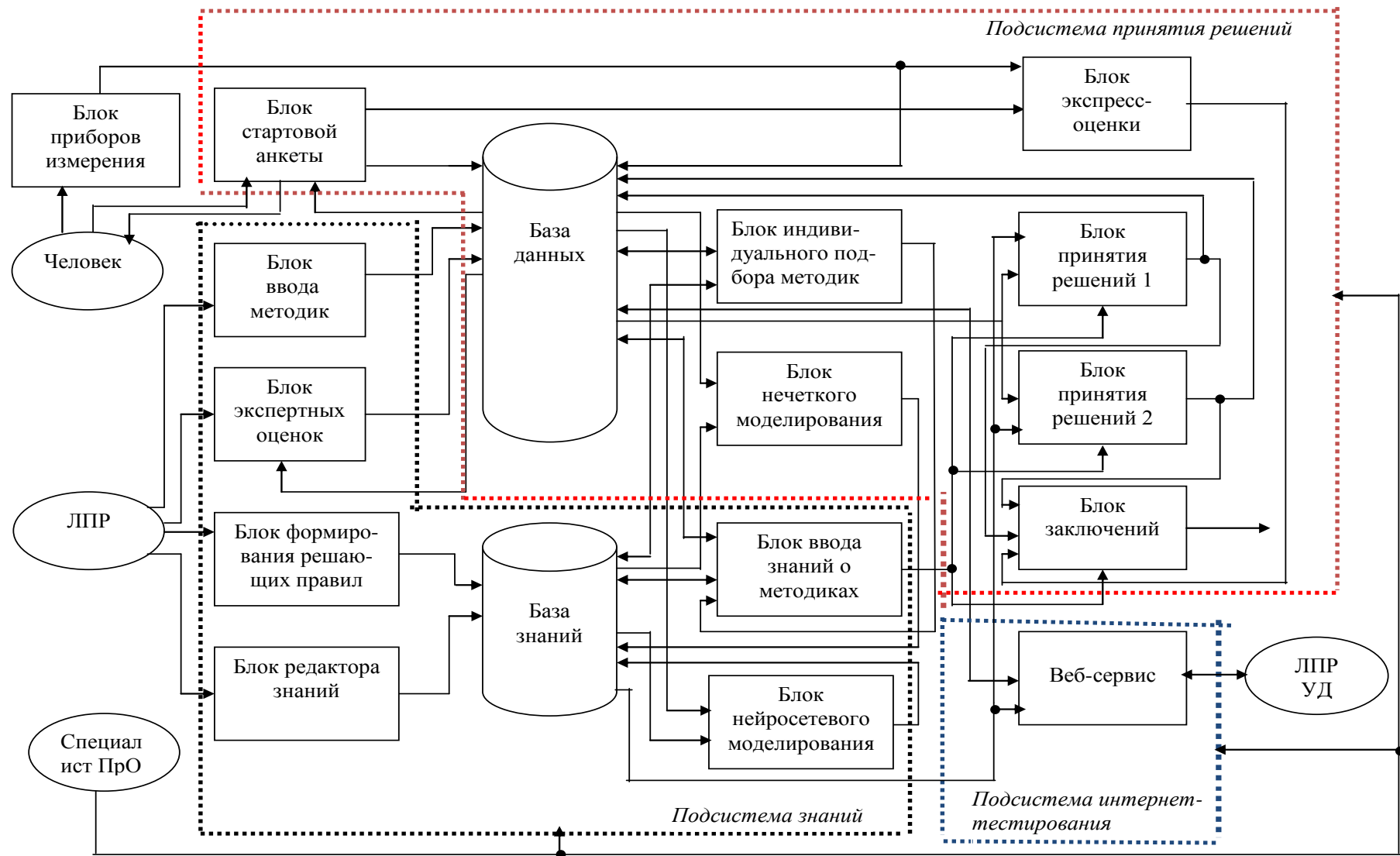


Рисунок 9 - Структурная схема проблемно-ориентированной системы поддержки принятия решений при тестировании профпригодности работников МЧС

Входными данными для блока стартовой анкеты будут код испытуемого и его ответы на предложенные вопросы и утверждения. Доступ к каждой из методик осуществляется путем выбора нужного пункта меню на главном окне.

Решение о пригодности или непригодности человека к службе в МЧС России по результатам тестирования принимается в блоке экспертной оценки. Если используется комплекс методик, то это решение принимается в блоках принятия решений. Окончательное решение принимается в блоке заключений с привлечением ЛПР. Помимо выдачи результата, результаты тестирования сохраняются в отдельном файле в базе данных. Это дает возможность многоэтапного тестирования.

Экспериментальные исследования показателей качества предложенных методов и алгоритмов прогнозирования проводились посредством тестирования больных заболеваниями, являющимися критичными для работников МЧС, находящихся на стационарном лечении, и группы здоровых работников МЧС. Для каждого заболевания использовалась группа методик, которые формировали пространство информативных признаков, из которых формировались «слабые» классификаторы. Предложенные методы допускают иерархическую схему агрегирования классификаторов. На следующем уровне иерархии классификаторы могут объединяться по самим заболеваниям, усиливая уверенность в принимаемом решении согласно.

Эксперименты проводились на группе больных желудочно-кишечными заболеваниями и группе больных из травматологического отделения.

В экспериментах использовали три «слабых» классификатора, построенных по трем подпространствам информативных признаков: психологические, физиологические, комбинированные (психологические и физиологические). В качестве источника психологических признаков использовался тест Леонгарда.

На рисунках 10 представлены диаграммы показателей качества классификации для женщин и мужчин шести классифицирующих моделей, которые являются комбинациями двух методов классификации и трех признаков пространств.

Вероятность правильной классификации по физиологическим и психологическим признакам, а также с использованием комбинированного признакового пространства достаточно высока при применении обоих методов прогнозирования используемых в рассмотренном эксперименте.

Более тонкую оценку испытуемых по результатам прохождения ими семи методик выполняет блок нечеткого моделирования, интегрированный в подсистему принятия решений. Для моделируемой системы лингвистической переменной является «годность испытуемого к службе в МЧС России».

Для построения блока использован подход Мамдани-Заде. Применительно к разработанной системе имеется девять входных переменных:

*ИСК(x1), ИФУ(x2), ИУУ(x3), ПЭМ(x41), НЭМ(x42), ТДЭМ(x43),
ИСТ(x5), ИЛТ(x6), ИХРУ(x7).*

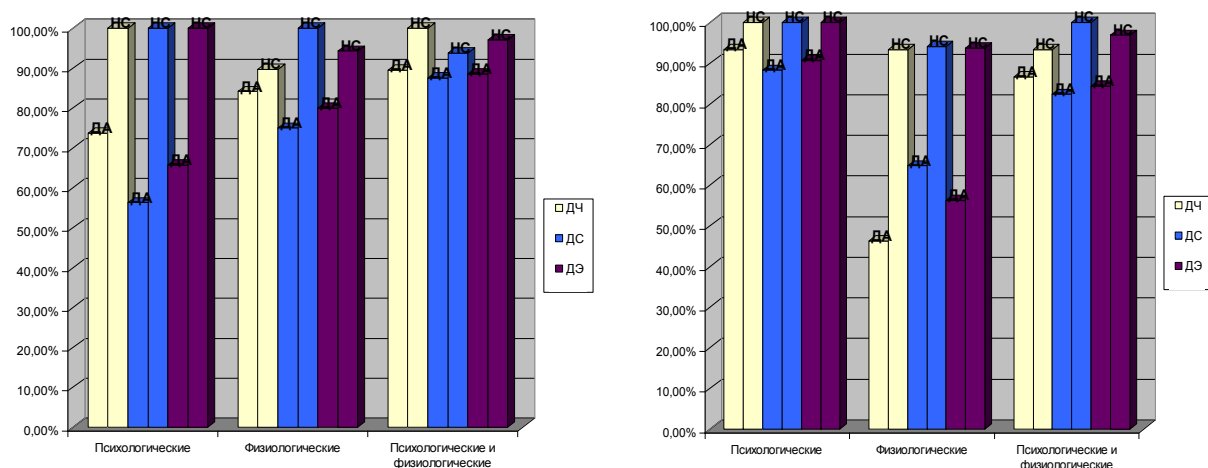


Рисунок 14 - Диаграмма показателей качества для шести моделей прогнозирующей системы для лиц женского пола (а) и мужского пола (б) при прогнозировании с тестом Леонгарда

Каждая из переменных соответствует количественному значению показателей функционального состояния по результатам прохождения используемой комплексной методики. Имеется также одна выходная переменная «Выход1». По каждому из девяти показателей результат может быть «годен» (диапазоны, соответствующие диапазонам «в норме», используемым в программе для каждого показателя), «условно годен» (диапазоны, ближайшие к «в норме») или «негоден» (остальные диапазоны). Выходная переменная также может иметь три значения «годен», «условно годен» или «негоден», но они обозначают уже пригодность человека к службе в МЧС России, а не пригодность по результатам отдельных методик.

Для объективизации результатов прогнозирования профессиональной пригодности курсантов МЧС, полученных посредством СППРПРО, были сформированы репрезентативные контрольные выборки. В качестве показателей качества, характеризующих достоверность прогноза, были выбраны диагностическая чувствительность (ДЧ), диагностическая специфичность (ДС), прогностическая значимость положительных (PZ^+) и отрицательных (PZ^-) результатов испытаний, а так же диагностическая эффективность (ДЭ).

СППР выделяла три класса: ω_0 - класс «годен»; ω_1 - класс «не годен»; ω_2 - класс «условно годен». В данном случае актуально выявить класс «не годен» (нулевая гипотеза), так как эффективность СППР определяется снижением количества выявленных профессионально непригодных курсантов на момент выпуска или устройства на работу.

Далее каждый год на экспертном уровне с использованием данных получаемых в ходе медицинских и психологических исследований фиксировался факт пребывания курсанта в классе ω_0 или ω_1 .

В таблице 1 представлены результаты этих исследований.

Таблица 1 – Таблица показателей качества прогнозирования по годам

ПК \ ГОД	2013	2014	2015	2016
ДЧ _{ω₁}	0,73	0,83	0,87	0,92
ДЧ _{ω₂}	0,72	0,79	0,89	0,89
ДС _{ω₁}	0,70	0,79	0,87	0,91
ДС _{ω₂}	0,68	0,81	0,87	0,90
ПЗ ⁺ _{ω₁}	0,78	0,74	0,83	0,88
ПЗ ⁺ _{ω₂}	0,64	0,75	0,83	0,86
ПЗ ⁻ _{ω₁}	0,78	0,86	0,90	0,94
ПЗ ⁻ _{ω₂}	0,78	0,85	0,92	0,92
ДЭ _{ω₁}	0,71	0,80	0,87	0,91
ДЭ _{ω₂}	0,79	0,80	0,88	0,89

Результаты экспериментальной проверки решающих правил прогнозирования профессиональной пригодности курсантов МЧС показали, что для трех классов профессиональной пригодности они обеспечивают четырехлетний прогноз по выбранным классам заболеваний на уровне 0,88 и выше в зависимости от используемой входной информации.

Использование таблиц, фиксирующих показатели качества классификации прогностических решающих правил по годам, позволяет оценивать величину уверенности в прогнозе по выбранным классам заболеваний через выбранный исследователем интервал времени наблюдения. Полученная тенденция позволяет сделать вывод о том, что наиболее точный прогноз достигается на 3-4 года вперед, а прогностические «ожидания» экспертов практически совпадают с результатами статистических испытаний полученных решающих правил.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе в рамках решения поставленной научно-технической проблемы повышения эффективности прогнозирования профессиональной пригодности работников экстремальных профессий на основе построения систем поддержки принятия решений в условиях неопределенности и неполноты исходных данных получены следующие основные результаты:

1. Выполнен анализ современного состояния методов и компьютерных технологий прогнозирования профессиональной пригодности работников экстремальных профессий, выявлены пути их модификаций, обеспечивающих повышение эффективности принятия решений.

2. Создан комплект моделей управления и прогнозирования функциональным состоянием живых систем, позволяющих оценить их способность к

гомеостазису при функционировании в экстремальных условиях, включающий:

- математическую модель формирования функционального состояния сложной системы;
- метод синтеза решающего модуля для определения функционального состояния сложной системы в пространстве двух латентных переменных;
- модель функциональной системы, учитывающей врожденные способности и приобретенные знания, а также алгоритм ее формирования;
- классификационную модель многофазного эксперимента.

3. Разработана методология синтеза гибридных решающих правил, основанной на использовании совокупности методов нечеткой оценки и управления состоянием здоровья человека, включающая:

- метод синтеза классифицирующих решающих правил на основе нечеткой логики Л. Заде и Е. Шортлифа;
- метод синтеза решающих правил принятия решений относительно разделяющих поверхностей и эталонных структур в многомерном пространстве признаков;
- метод синтеза решающих правил принятия решений на основе идеологии группового учета аргумента;
- метод синтеза правил нечеткого вывода с использованием теории измерения латентных переменных;
- метод разведочного анализа для оценки структуры данных.

4. Разработан метод синтеза виртуальных потоков для систем поддержки принятия решений, предназначенных для прогнозирования способностей человека работать в экстремальных условиях, включающий:

- способ формирования дополнительного признака для нейросетевого классификатора;
- алгоритм формирования виртуального потока;
- обобщенную рекуррентную структурную схему формирования гибридного вектора информативных признаков;
- структуру гибридного решающего модуля с виртуальными потоками.

5. Разработана структурно-функциональная организация СППРПРО для прогнозирования профессиональной пригодности для работы в экстремальных условиях, позволяющая учитывать как наблюдаемые, так и не наблюдаемые факторы профессиональной пригодности.

6. Разработан метод прогнозирования профессиональных заболеваний, основанный на формировании из группы включенных методик тестирования профессиональной пригодности множества «слабых» классификаторов и гибридных технологиях формирования «сильных» классификаторов, позволяющий получить диагностическую эффективность метода прогнозирования профессиональной пригодности для работы в экстремальных ситуациях, в среднем, до 89 % .

7. Разработана методология синтеза интеллектуальных агентов, основанная на создании конструктора из методов и методик с последующим созда-

нием из их композиции классификатора профессиональной пригодности, адаптированного к заданной экстремальной профессии, включающая:

- метод синтеза модели для определения адаптационного потенциала работников экстремальных профессий;

- структурную схему сильных классификаторов, позволяющую определять веса слабых классификаторов;

- метод синтеза интеллектуального агента для прогнозирования психологической устойчивости работника экстремальной профессии, позволяющий сформировать агентов второго иерархического уровня для СППРПО определения профессиональной пригодности работников экстремальных профессий.

8. Разработана система поддержки принятия решений для определения профессиональной пригодности курсантов МЧС и ее программное обеспечение, экспериментальные исследования которой показали, что она обеспечивает четырехлетний прогноз по выбранным классам профессиональных заболеваний работников экстремальных профессий на уровне 0,88.

Рекомендации. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при построении систем поддержки принятия решений по прогнозированию профессиональной пригодности при работе в экстремальных условиях.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Создание систем поддержки принятия решений для прогнозирования поведения операторов сложных динамических систем в экстремальных ситуациях.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК

1. Бойцов, А.В. Синтез решающих правил для оценки уровня психоэмоционального напряжения и утомления с использованием двумерных классификационных пространств и векторной алгебры [Текст]/ А.В. Бойцов, **А.Н. Шуткин**, В.В. Серебровский [и др.]// Известия Юго-Западного государственного университета. - 2014, №5(56). С. 58-63.

2. Корневский, Н.А. Синтез решающих правил для прогнозирования заболеваний желудка на основе моделей Г. Раша [Текст]/ Н.А. Корневский, В.Г. Никитаев, А.В. Бойцов, **А.Н. Шуткин** //Известия Юго-Западного государственного университета. - 2014, №5(56). С. 69-76.

3. Корневский, Н.А. Метод оценки защитных свойств организма на основе нечеткой модификации модели Г. Раша [Текст]/ Н.А. Корневский, **А.Н. Шуткин**, В.В. Федянин, Е.А. Бойцова // Известия Юго-Западного государственного университета. - 2014, №6(57). С. 70-74.

4. **Шуткин, А.Н.** Оценка функционального состояния и состояния здоровья человека с использованием теории измерения латентных переменных на основе моделей Г. Раша [Текст]/ А.Н. Шуткин, Е.А. Бойцова, С.Н. Корневская [и др.] // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. - 2014. - Т.13, №4. - С. 927-932.

5. **Шуткин, А.Н.** Использование технологии мягких вычислений для оценки защитных свойств организма [Текст]/А.Н. Шуткин, Е.А. Бойцова, Л.П. Лазурина [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. - 2015, №2(15), С. 62-72.

6. **Шуткин, А.Н.** Использование гибридных нечетких моделей для оценки степени утомления/А.Н. Шуткин, Е.А. Бойцова, С.Н. Корневская// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. - 2015, №2(15), С. 107-118.

7. Корневский, Н.А. Использование теории измерения латентных переменных на основе моделей Г. Раша в задачах оценки и управления состоянием здоровья [Текст]/Н.А. Корневский, **А.Н. Шуткин**, Е.А. Бойцова//Медицинская техника. - 2015, №6, С. 37-40.

8. **Шуткин, А.Н.** Методология синтеза нечетких гибридных решающих правил для решения задач прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, провоцируемых образовательным процессом [Текст] / А.Н. Шуткин// Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2015.- №6(314). - С. 122-129.

9. **Шуткин, А.Н.** Оценка состояния здоровья человека на основе метода нечеткой классификации в двумерных отображающих пространствах [Текст] / А.Н. Шуткин// Фундаментальные исследования. 2015.- №8 (часть 3). - С. 538-542.

10. **Шуткин, А.Н.** Структурно-функциональная модель для мониторинга влияния управляющих воздействий на функциональное состояние самоорганизующихся систем [Текст] / **А.Н. Шуткин**, П.С. Кудрявцев, В.В. Протасова [и др.] // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. Научно-технический журнал. – 2015. № 2 (30).-С.105-119.

11. **Шуткин, А.Н.** Гибридные многоагентные классификаторы в биотехнических системах диагностики заболеваний и мониторинге лекарственных назначений [Текст] / **А.Н. Шуткин**, М.А. Ефремов, О.В. Шаталова [и др.] // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2015. № 6.-С.42-48.

12. **Шуткин, А.Н.** Нейросетевые модели для мета-анализа медико-экологических данных [Текст] / А.Н. Шуткин, А.Г. Курочкин, В.В. Протасова [и др.] // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2015. № 6.-С.48-54.

13. Филист, С.А. Структурно-функциональная модель мета-анализа медико-экологических данных [Текст] / С.А. Филист, В.В. Уварова, **А.Н. Шуткин** // Вопросы радиоэлектроники. Серия «Общетехническая» (ОТ), 2015. Выпуск 7. - С.102-110.

14. **Шуткин, А.Н.** Оценка уровня утомления с использованием теории измерения латентных переменных/ А.Н. Шуткин, Е.А. Бойцова, Л.В. Стародубцева// Системный анализ и управление в биомедицинских системах. - 2015, №3 .Т 14. С. 553 - 561.

15. Бойцова, Е.А. Оценка уровня функциональных резервов организма на основе технологии мягких вычислений и модели Г. Раша/Е.А. Бойцова,

А.Н. Шуткин, М.А. Магеровский// Системный анализ и управление в биомедицинских системах. - 2015, №3 .Т 14. С. 577 - 584.

16. **Шуткин, А.Н.** Оценка уровня психоэмоционального напряжения на основе комбинированных нечетких моделей и модели Г. Раша/ **А.Н. Шуткин** // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. - 2015, №3 .Т 14. С. 593 - 600.

17. Артеменко, М.В. Формирование множества информативных показателей на основании аппроксимирующего полинома Колмогорова-Габора и максимального градиента функциональных различий [Текст]/М.В. Артеменко, Н.М. Калугин, **А.Н. Шуткин** //Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. - 2016, №1(18), С. 116-123.

18. Кореневский, Н.А. Нечеткие модели профессиональной ориентации и оценки уровня подготовки спортсменов [Текст] / Н.А. Кореневский, М.А. Магеровский, **А.Н. Шуткин** [и др.]// Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2016.- №1(305). - С. 121-126.

19. Кореневский, Н.А. Классификация и оценка уровня функциональных состояний на основе нечеткой модификации теории измерения латентной переменной [Текст] / Н.А. Кореневский, **А.Н. Шуткин**, Е.А. Бойцова [и др.]// Биомедицинская радиоэлектроника. 2016.- №3. - С. 53-60.

20. Кореневская С.Н. Аппаратно-программный комплекс для психофизиологических исследований на платформе Андроид с AFF интерфейсом [Текст] / С.Н. Кореневская, Е.С. Шкатова, **А.Н. Шуткин** [и др.]// Медицинская техника. 2016.- №5, 2016. - С. 24-27.

21. Шуткин, А.Н. Нечеткие модели оценки эргономики транспортных средств и ее влияния на профессиональные заболевания [Текст] / **А.Н. Шуткин**, К.В. Разумова, Е.А. Старцев [и др.]// Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2016.- №1(305). - С. 122-129.

22. Кореневский, Н.А. Оценка уровня информативности для плохоформализуемых данных в медицине, психологии и экологии [Текст] / Н.А. Кореневский, **А.Н. Шуткин**, В.Н. Николаев [и др.]// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. - 2016.- №2 (19). - С. 136-141.

23. **Шуткин, А.Н.** Прогнозирование и ранняя диагностика заболеваний, провоцируемых длительными умственными нагрузками / А.Н. Шуткин// Системный анализ и управление в биомедицинских системах. - 2016, №2 .Т 15. С. 320 - 325.

24. Кореневский, Н.А. Метод синтеза гибридных нечетких моделей принятия решений по оценке состояния и управления биотехническими системами [Текст] / Н.А. Кореневский, **А.Н. Шуткин**, К.В. Разумова [и др.]// Биомедицинская радиоэлектроника. 2016.- №9. - С. 68-74.

25. **Шуткин, А.Н.** Информационно-аналитическая модель принятия решений о профессиональной пригодности и оценке состояния здоровья работников опасных профессий [Текст] / А.Н. Шуткин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислитель-

ная техника, информатика. Медицинское приборостроение. - 2017.- №2 (23). - С. 56-61.

26. **Шуткин, А.Н.** Теоретические и экспериментальные модели прогнозирования профессиональной пригодности работников экстремальных профессий [Текст] /А.Н. Шуткин//Прикаспийский журнал: Управление и высокие технологии, № 3 (39), 2017 г. – С.36-45.

Монографии

27. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография[Текст] /Н.А. Кореневский, А.Н. Шуткин, С.А. Горбатенко, В.И. Серебровский. – Старый Оскол: ТНТ, 2016. – 472 с.

28. Математическое моделирование в рефлексодиагностике: монография[Текст] / Н.А. Кореневский, А.Н. Шуткин, Л.П. Лазурина, В.А. Лазаренко. – Курск: Из-во ЗАО «Университетская книга», 2017. – 334 с.

Патенты, заявки на патенты и свидетельства о госрегистрации программ

29. Суржикова, С.Е. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2015618046. Программа для синхронизации работы АЦП и ЦАП модуля L-Card E20-10 / С.Е. Суржикова, **А.Н. Шуткин**, В.В. Федянин. М.: РосПатент; Заявитель и правообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Юго-Западный государственный университет». № 2015615071; заявлено 15.06.2015; дата регистрации 29.07.2015.

30. Кондрашов, Д.С. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2017661830. Программа для оценки профессиональной пригодности на основе многомерных методик исследования личности (ProfTesting)/ Д.С. Кондрашов, **А.Н. Шуткин**. М.: РосПатент; Заявитель и правообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет». № 2017618616; заявлено 28.08.2017; дата регистрации 23.10.2017.

31. **Шуткин, А.Н.** Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2017661414. Программа формирования интегральной среды для выявления профессиональной пригодности работников экстремальных профессий/ А.Н. Шуткин, Р.А. Томакова, В.А. Макашин [и др.] М.: РосПатент; Заявитель и правообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет». № 2017618183; заявлено 14.08.2017; дата регистрации 12.10.2017.

Наиболее значимые статьи, опубликованные в других изданиях

32. **Шуткин, А.Н.** Некоторые направления совершенствования подсистемы «обучение - развитие» курсантов в среде вуза/А.Н. Шуткин, В.Н. Ста-

ров//Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2013. - №4 (9). – С. 24-29.

33.Калач, А.В. Создание и развитие высокоманевренной службы экстренного реагирования в российской федерации/ А.В. Калач, **А.Н. Шуткин**, Н.С. Шимон //Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2013. № 4 (9). С. 24-28.

34. Старов, В.Н. Проблемы безопасности техносферы и техногенного риска опасных объектов/ В.Н. Старов, **А.Н. Шуткин** //Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2013. № 1. С. 14-17.

Материалы докладов, опубликованные в трудах международных и всероссийских конференций

35.**Шуткин А.Н.** Особенности использования моделей Г. Раша в медицинских экспертных системах // Информационные проекты в медицине и педагогике. Материалы международной научно-практической конференции. - М.: 2014. - С. 20-21.

36.**Шуткин А.Н.**, Корневская С.Н., Федянин В.В. Проектирование баз знаний медицинских экспертных систем с использованием коллективов нечетких правил // Информационные проекты в медицине и педагогике. Материалы международной научно-практической конференции. - М.: 2014. - С. 61-64.

37.**Шуткин, А.Н.** Управление функциональным состоянием сложных систем на основе моделей взаимосвязи латентный и индикаторных переменных / А.Н. Шуткин, Томаков М.В., Кудрявцев П.С. // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. Сборник научных трудов по материалам 5 Международной научно-практической конференции, г. Белгород, 30 ноября 2014 г. - Белгород: Агентство перспективных научных исследований (АПНИ). – Ч.3. - 2014. - С. 172-174.

38.**Шуткин, А.Н.** Модель мета-анализа медико-экологических данных [Текст] / А.Н. Шуткин, В.В. Протасова //Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий: сб. тр. VIII междунар. конф. «ПМТУКТ-2015». Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2015. – С.404-406.

39.Протасова, В.В. Мониторинг эффективности лекарственных процедур на основе моделей взаимосвязи латентных и индикаторных переменных [Текст] / В.В. Протасова, С.А. Филист, **А.Н. Шуткин** // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте - 2015: труды XXIII Международной конференции. – Новороссийск, 2015. – С. 113-115.

40.Суржикова, С.Е. Программный продукт для анализа вольтамперных характеристик биоактивных точек на основе модуля L-CARD E20-10/С.Е. Суржикова, О.В. Шаталова, **А.Н. Шуткин**//Proceeding of the International Scientific and Practical Conference «Methodology of modern research, vol. I (March 21-22, 2015, Dubai, UAE)», Dubai.: Rost Publishing, 2015. С.115-120.

41. Мухатаев, Ю.Б. Использование модели Г. Раша при нечеткой интерпретации в задачах медицинской и психологической диагностики/Ю.Б. Мухатаев, Е.С. Шкатова, **А.Н. Шуткин** и др.//Современные тенденции развития науки и технологий: сборник научных трудов по материалам VIII Международной конференции. Белгород – 2015, №8, часть II.- С. 78-82.

42. **Шуткин, А.Н.** Оценка и управление состоянием организма на основе моделей Г. Раша [Текст] / А.Н. Шуткин //Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание - 2015: Сборник материалов XII Международной научно-технической конференции. Курск: ЮЗГУ, 2015. - С. 410-414.

43. Кореневский, Н.А. Синтез коллектива нечетких решающих правил для медицинских экспертных систем/Н.А. Кореневский, И.И. Хрипина, **А.Н. Шуткин** [и др.]//Научная сессия НИЯУ МИФИ – 2015. Аннотации докладов. М. 2015. С. 64

44. Кореневский, Н.А. Использование технологии мягких вычислений в медицинских экспертных системах/Н.А. Кореневский, **А.Н. Шуткин**, И.И. Хрипина//Современное научное знание: теория, методология, практика. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 декабря 2015 г.. В 3-х частях. Часть 1. Смоленск: ООО «НОВАЛЕНСО», 2016. – С. 45-47.

45. **Шуткин, А.Н.** Качественная характеристика моделей сложных систем которые могут быть использованы для анализа адаптационных возможностей организма [Текст] / А.Н. Шуткин // Медико-экологические информационные технологии-2015. Сборник материалов XVIII Международной научно-технической конференции. Курск: ЮЗГУ. 2015. – С. 98 - 101.

46. Кореневский, Н.А. Прогнозирование и диагностика состояния биотехнических систем с использованием коллективов решающих правил [Текст] / Н.А. Кореневский, **Н.А. Шуткин**, И.И. Хрипина [и др.]//Актуальные проблемы энергоснабжения и энергоэффективности в технических системах: тезисы докладов 2-й Международной конференции с элементами научной школы. – Тамбов, 2015. - С. 430-431.

47. Кореневский, Н.А. Методология синтеза гибридных нечетких моделей оценки состояния и управления биотехническими системами [Текст] / Н.А. Кореневский, **Н.А. Шуткин**, Л.В. Стародубцева [и др.]//12-я Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2016» - Владимир – Суздаль, Россия, Доклады, Книга 1. – С. 107-109.

48. **Шуткин, А.Н.** Оценка и выбор информативных признаков для прогнозирования и диагностики состояния биотехнических систем [Текст] / **Н.А. Шуткин**, Н.А. Кореневский, Е.А. Старцев//12-я Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2016» - Владимир – Суздаль, Россия, Доклады, Книга 2. – С. 95-97.

49. Курочкин, А.Г. Нейросетевые структуры для алгоритма мета-анализа эффективности лекарственных назначений [Текст] / А.Г. Курочкин,

Е.С. Шкатова, **Н.А. Шуткин**//Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века: сб. ст. по материалам Всерос. научн.-практ. конф.– Пермь, 2016. - С. 110-114.

50.**Шуткин, А.Н.** Архитектура решающих модулей для прогнозирования здоровья молодежи [Текст] / **Н.А. Шуткин**, Е.А. Старцев//Актуальные проблемы энергоснабжения и энергоэффективности в технических системах: тезисы докладов 3-й Международной конференции с элементами научной школы. – Тамбов, 2016. - С. 456-457.

51.Кореневский, Н.А. Нечеткие гибридные модели в медико-биологических исследованиях кардиосистем [Текст] / Н.А. Кореневский, **Н.А. Шуткин**//Сборник тезисов XII Международного конгресса. Санкт-Петербург, 2016. - С.230.

52.Шкатова, Е.А. Использование модели Г. Раша для оценки эффективности психологических тестов [Текст] / Е.С. Шкатова, **Н.А. Шуткин**//Сборник тезисов XII Международного конгресса. Санкт-Петербург, 2016. - С.231.

53.**Шуткин, А.Н.** Прогнозирование здоровья студентов на основе байесовского подхода оценки риска психосоматических заболеваний [Текст] / **Н.А. Шуткин**, Е.А. Старцев, Е.С. Шкатова//Интеллектуальные информационные системы: труды Всерос. конф. – Воронеж, 2016. - С. 205-208.

54.Позин, А.О. Тестирующие гибридные системы с дополнительным пространством информативных признаков [Текст] / А.О. Позин, С.А. Филист, **А.Н. Шуткин** // Современные информационные технологии в управлении качеством: сборник статей V Международной научно-прикладной конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2016. С.46-50.

Подписано в печать _____.

Формат 60×84 1/16. Печатных листов 2,0. Тираж 100 экз. Заказ 22.

Юго-Западный государственный университет,

305040 г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Отпечатано в ЮЗГУ.