

На правах рукописи

Степашов Роман Владимирович

**МЕТОД, МОДЕЛИ И АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И
РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ
РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА,
КОНТАКТИРУЮЩИХ С ЯДОХИМИКАТАМИ, НА ОСНОВЕ
ГИБРИДНЫХ НЕЧЕТКИХ ТЕХНОЛОГИЙ.**

Специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Курск – 2018

Работа выполнена на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Корневский Николай Алексеевич

Официальные оппоненты: Дмитриев Геннадий Андреевич
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры автоматизации
технологических процессов Тверского
государственного технического
университета (г. Тверь)

Прохорцов Алексей Вячеславович
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой приборы и
биотехнические системы Тульского
государственного университета (г. Тула)

Ведущая организация: Поволжский государственный
технологический университет
(г. Йошкар-Ола)

Защита состоится «29» ноября 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://swsu.ru/newfmn/diss/d999.099.03/DisserStepachovR.V.pdf>

Автореферат разослан «___» октября 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Милостная Наталья Анатольевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Анализ профессиональной заболеваемости работников агропромышленного комплекса (АПК) показал, что, несмотря на значительные усилия работников здравоохранения, обслуживающих эту категорию населения, доля болеющих людей и людей, имеющих инвалидность этой категории населения, остается недопустимо высокой.

Это в значительной мере относится к работникам АПК, занятым в растениеводстве, поскольку при реализации трудовой деятельности существует такой мощный фактор риска как контакт с сельскохозяйственными ядохимикатами (минеральные удобрения и пестициды). Часто этот фактор значительно усиливается такими негативными условиями труда, как хроническое утомление, несовершенство используемой сельскохозяйственной техники, другие сопутствующие экологические факторы, значительный уровень психоэмоционального напряжения и др.

В сочетании с индивидуальными особенностями организма условия труда растениеводов провоцируют появление и развитие заболеваний: желудочно-кишечного тракта, нервной и сердечно-сосудистой систем, мочеполовой системы, системы дыхания и др.

Одним из способов повышения качества оказания медицинской помощи работникам АПК, занятым в растениеводстве является своевременное выявление факторов риска, анализ последствий их воздействия на организм человека с целью проведения эффективных мер по профилактике и лечению профессиональных заболеваний исследуемой категории работников.

Таким образом, повышение качества прогнозирования и ранней диагностики заболеваний работников АПК, занятых в растениеводстве, за счет использования современных информационных и интеллектуальных технологий является актуальной задачей.

Степень разработанности темы исследования. Для решения задач оценки степени риска заболевания работников, контактирующих с вредными факторами, и в частности, с ядохимикатами, применяющимися в сельском хозяйстве, как у нас в стране, так и за рубежом (стандарт ИСО) используют в основном два типа моделей: по гигиеническим критериям путем сравнения содержания вредных факторов с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) или предельно-допустимыми условиями (ПДУ); по медико-биологическим критериям — индексу профессиональной заболеваемости; включая заболеваемость с потерей трудоспособности.

Использование традиционных подходов к оценке риска профессиональных заболеваний ориентируется на информацию об уже возникших профессиональных заболеваниях, которая не всегда корректно коррелирует с решением прогностических задач. В реальных условиях трудовая деятельность, проходящая в условиях действия плохо учитываемых

вредных экзогенных факторов провоцирует появление и развитие профессиональных заболеваний. Прогнозирование и ранняя диагностика профессиональных заболеваний, включая работников, занятых в растениеводстве, значительно усложняется тем, что разнородные экзогенные факторы часто имеют нечеткую природу и не всегда собираются в полном объеме. Кроме того, действие экзогенных факторов может быть значительно усилено эндогенными факторами, определяемыми индивидуальными особенностями организма.

В таких условиях, как показывает опыт, накопленный при решении аналогичных задач в Юго-Западном государственном университете, целесообразно использовать технологию мягких вычислений и в частности методологию синтеза гибридных нечетких моделей.

Цель работы: повышение качества медицинского обслуживания работников агропромышленного комплекса, контактирующих с сельскохозяйственными ядохимикатами, путем разработки метода, моделей и алгоритма прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний на основе гибридных нечетких технологий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **следующие задачи:**

- выполнить анализ структуры деятельности работников агропромышленного комплекса, контактирующих с ядохимикатами, их условий труда, экзогенных и эндогенных факторов риска, приводящих к появлению и развитию профессиональных заболеваний с целью выбора адекватного математического аппарата и средств исследования;

- предложить метод синтеза гибридных нечетких моделей прогнозирования и ранней диагностики заболеваний сельскохозяйственных рабочих, контактирующих с ядохимикатами;

- разработать информационно-аналитическую модель, учитывающую структуру взаимосвязей гибридных нечетких моделей между собой и пространством неоднородных информативных признаков, описывающих известные эндогенные и экзогенные факторы риска;

- получить систему нечетких решающих правил прогнозирования и ранней диагностики наиболее распространенных профессиональных заболеваний работников типового агропромышленного комплекса Курской области, контактирующих с сельскохозяйственными ядохимикатами;

- разработать структуру интеллектуальной системы поддержки принятия решений врача профпатолога, предназначенной для решения задач прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса, контактирующих с ядохимикатами, и алгоритм управления этой системой, учитывающий разнородные факторы риска исследуемых заболеваний;

- произвести апробацию интеллектуальной системы поддержки принятия решений врача профпатолога по прогнозированию и ранней диагностике профессиональных заболеваний работников

агропромышленного комплекса, контактирующих с сельскохозяйственными ядохимикатами и доказать эффективность ее использования.

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

- метод синтеза гибридных нечетких моделей прогнозирования и ранней диагностики заболеваний сельскохозяйственных рабочих, контактирующих с ядохимикатами, отличающийся возможностью учета таких специфических факторов, как концентрация вредных веществ в организме и окружающей среде, время контакта с ядохимикатами, их комплексное, мультипликативное и индуцированное влияние на различные органы и системы, уровень индивидуальной защиты в сочетании с другими экзогенными и эндогенными факторами риска, позволяющий синтезировать решающие правила, обеспечивающие повышение качества прогнозирования и ранней диагностики заболеваний работников агропромышленного комплекса, контактирующих с ядохимикатами;

- информационно-аналитическая модель, отличающаяся учетом в ее структуре взаимосвязей гибридных нечетких моделей между собой и пространством неоднородных информативных признаков, описывающих существенные экзогенные и эндогенные факторы риска, позволяющая осуществить проектирование базы знаний с рациональным механизмом взаимодействия соответствующих программных модулей;

- система нечетких решающих правил прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса, контактирующих с сельскохозяйственными ядами, основанная на использовании гибридных нечетких моделей, агрегирующих существенные экзогенные и эндогенные факторы риска, объединенные в иерархические структуры, обеспечивающие уверенность в прогнозе на уровне 0,85, а в диагностике ранней стадии – на уровне 0,9;

- алгоритм управления и структура интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР), отличающаяся использованием гибридных нечетких решающих правил с иерархической структурой, позволяют гибко менять тактику ведения пациентов в зависимости от меняющейся внешней обстановки и индивидуальных факторов риска, что обеспечивает повышение качества оказания медицинских услуг исследуемой категории пациентов.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в развитии технологии мягких вычислений, и в частности, теории уверенности, теории измерения латентных переменных, метода группового учета аргументов, в решении задач повышения качества медицинского обслуживания работников агропромышленного комплекса, контактирующих с ядохимикатами, путем разработки нового поколения систем поддержки принятия решений врачей профпатологов.

Разработанные математические модели позволяют оценить уверенность в прогнозе появления и наличия ранних стадий профессиональных заболеваний по исследуемой категории пациентов.

Информационно-аналитическая модель и алгоритм управления работой ИСППР обеспечивают оценку состояния здоровья пациентов и формируют рекомендации по ведению пациентов агропромышленной отрасли, контактирующих с ядохимикатами.

Предложенные в работе метод, модели и алгоритм реализуются ИСППР, обеспечивающей новый уровень оказания медицинских услуг населению, занятому в агропромышленной сфере растениеводства.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы» («Проведение прикладных научных исследований в области биоинформационных технологий», уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57614X0071) и в соответствии с научным направлением Юго-Западного государственного университета «Разработка медико-экологических информационных технологий».

Результаты работы внедрены в учебном процессе Юго-Западного государственного университета при подготовке магистров по направлению 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии» и используются ОБУЗ «Горшеченская ЦРБ» при прогнозировании профессиональных заболеваний у работников агропромышленного комплекса Горшеченского района.

Методология и методы исследований. Для решения поставленных задач использовались методы системного анализа, теории биотехнических систем медицинского назначения, моделирования, теории синтеза сложных информационных систем, теории алгоритмов, нечетких множеств, прикладной математической статистики, экспертного оценивания. При разработке гибридных нейросетевых модулей принятия решений в качестве инструментария использовался Matlab 8.0 с графическим интерфейсом пользователя для Neural Network Toolbox и со встроенным пакетом Fuzzy Logic Toolbox.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод синтеза гибридных нечетких моделей прогнозирования и ранней диагностики заболеваний сельскохозяйственных рабочих, контактирующих с ядохимикатами, позволил получить решающие правила, обеспечивающие повышение качества прогнозирования и ранней диагностики исследуемого класса состояний.

2. Система решающих правил прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса, контактирующих с сельскохозяйственными ядами, обеспечивает уверенность в прогнозе на уровне 0,85, а в ранней стадии заболеваний – на уровне 0,9.

3. Информационно-аналитическая модель, алгоритм управления и структура интеллектуальной системы поддержки принятия решений, отличающаяся использованием гибридных нечетких решающих правил с иерархической структурой, позволяют гибко менять тактику ведения пациентов в зависимости от меняющейся внешней обстановки и индивидуальных факторов риска, что обеспечивает повышение качества оказания медицинских услуг исследуемой категории пациентов.

Степень достоверности и апробации результатов. Результаты исследования показали их воспроизводимость в различных условиях, отсутствие противоречий относительно нечетких алгоритмов принятия решений и методов математического моделирования, а так же аналогичных результатов, полученных другими исследователями. Результаты экспериментальных исследований решающих правил по прогнозированию профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса согласуются с ранее опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации.

Основные теоретические положения и научные результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на Международных и Всероссийских научных конференциях: XXI конференции «Медико-экологические информационные технологии-2018» (Курск, 2018); Международной научно-практической конференции «Новизна и инновации в сельском хозяйстве» (Курск, 2011); II Всероссийской научно-практической конференции «Инфокоммуникации и космические технологии: состояние, проблемы и пути решения» (Курск, 2018); Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования» (Тамбов, 2018); III Международной научно-практической конференции «Приоритетные направления развития науки и образования» (Пенза, 2018), а также на научно-технических семинарах кафедры биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета (Курск, 2016-2018).

Публикации. Основные результаты диссертационного исследования отражены в 11 научных работах, из них 4 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх разделов, заключения и списка литературы, включающего 175 отечественных и 36 зарубежных наименований. Работа изложена на 143 страницах машинописного текста, содержит 13 рисунков и 8 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, определяются цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы.

В первом разделе исследуется структура ядохимикатов, используемых в агропромышленном комплексе (АПК), определяется технология их использования и механизмы воздействия на организм человека. Изучаются

вопросы появления и развития профессиональных заболеваний сельскохозяйственных рабочих в условиях, когда основным фактором риска является их контакт с сельскохозяйственными ядохимикатами. Показывается, что решение задач прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний, включая заболевания работников АПК, контактирующих с ядохимикатами, с математической точки зрения относится к классу плохоформализуемых задач со значительной долей неопределенности в структуре исследуемых классов состояний.

Во втором разделе определяется объект исследования, формируется экспертная группа, ориентированная на анализ структуры данных и синтез решающих правил прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний людей, контактирующих с ядохимикатами. Методами разведочного анализа изучается структура данных, характеризующих состояние здоровья работников АПК, контактирующих с ядохимикатами.

Анализ структуры данных, используемых для решения поставленных в работе задач, показал, что они имеют неполную и нечеткую природу с пересекающейся структурой, не поддающейся достаточно строгому математическому описанию. Опыт решения многочисленных задач с подобной структурой данных показал, что для их решения целесообразно использовать методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил, разработанную на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета (Корневский Н.А., Филист С.А., Шуткин А.Н.).

С учетом этого, дается краткое описание общих принципов реализации выбранной методологии, и уточняются механизмы определения эндогенных и экзогенных факторов риска, провоцирующих появление и развитие профессиональных заболеваний работников АПК.

В ходе проводимых исследований было установлено, что характерной особенностью воздействия ядохимикатов на организм человека может являться сочетанный мультипликативный эффект провоцирования, появления и развития заболеваний в сочетанной их форме с неизвестной и неустойчивой аналитической зависимостью между концентрацией вносимых удобрений и риском возникновения профессиональных заболеваний.

Кроме того, наблюдается накопительный эффект, когда по мере увеличения времени контакта вред здоровью человека растет существенно нелинейно.

С учетом перечисленных и ряда других особенностей структуры данных, опираясь на общую методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил, с целью повышения прогностической и диагностической эффективности синтезируемых решающих правил предлагается **метод синтеза гибридных нечетких моделей прогнозирования и ранней диагностики заболеваний сельскохозяйственных рабочих,**

контактирующих с ядохимикатами, реализуемый следующей последовательностью действий.

1. При участии инженера когнитолога формируется группа экспертов, состоящая из агрохимиков, врачей профпатологов и гигиенистов.

2. В ходе агроэкологического анализа определяются виды и характеристики ядохимикатов, с которыми контактируют сельскохозяйственные рабочие, оценивается время их контакта с ядохимикатами, определяются списки провоцируемых ими заболеваний ω_ℓ .

3. При наличии медико-технических возможностей выбираются методы и технические средства, позволяющие с достаточной для практики точностью прогнозировать появление и развитие исследуемых классов заболеваний и (или) определять раннюю стадию заболеваний.

4. С использованием методов экспертного оценивания и теории измерения латентных переменных с моделью Раца производится оптимизация списка ядохимикатов, которые необходимо учитывать при синтезе нечетких моделей принятия решений.

5. С использованием алгоритмов МГУА определяются возможные мультипликативные связи между концентрациями ядохимикатов, временем их воздействия и классами состояний здоровья сельскохозяйственных рабочих.

6. В случае отсутствия возможности формирования обучающих выборок, необходимых для проведения разведочного анализа, инженер по знаниям готовит экспертов к решению задач выбора формы и параметров функций принадлежности и по их агрегации.

7. Если имеется медико-техническая возможность определять содержание, концентрацию и время воздействия ядохимикатов на органы и ткани человека, уверенность в прогнозе по ω_ℓ от действия ядохимиката i определяется функцией принадлежности $\mu^P_{\omega_\ell}(z_{\ell i})$ с базовой переменной:

$$z_{\ell i} = f_{\ell i}\left(\frac{c_i}{c_{pi}}\right) \cdot f_{\ell i}^*\left(\frac{t_i}{t_{pi}}\right) \quad (1)$$

где c_{pi} – резистентная концентрация ядохимиката i , ниже которой обеспечивается безопасное функционирование органа в смысле патологии ω_ℓ ; t_{pi} – резистентное время, меньше которого орган «не успевает» перейти в патологию ω_ℓ ; $f_{\ell i}(\cdot)$ – нормировочная функция по концентрации с областью определения $[0, \dots, 1]$; $f_{\ell i}^*(\cdot)$ – нормировочная функция по времени воздействия.

Уверенность ULP в прогнозе ω_ℓ по группе ядохимикатов определяется выражением

$$ULP = Ag_\ell^P \left[\mu_\ell^P(Z_{\ell i}) \right], \quad (2)$$

где Ag_{ℓ}^P - агрегатор прогностических функций принадлежности для класса ω_{ℓ} ; $i=1, 2, \dots$

Уверенность ULR в ранней стадии заболевания ω_{ℓ} по группе ядохимикатов определяется выражением

$$ULR = Ag_{\ell}^R \left[\mu_{\omega_{\ell}}^R (Z_{\ell i}) \right], \quad (3)$$

где Ag_{ℓ}^P - агрегатор диагностических функций принадлежности для класса ω_{ℓ} , $\mu_{\omega_{\ell}}^R (z_{\ell i})$ - функция принадлежности, определяющая уверенность в раннем диагнозе.

8. Если ранний диагноз определяется по концентрациям ядохимикатов, окружающих сельскохозяйственного рабочего и находящихся вне его организма, то без наличия защитных средств в выражениях (2) и (3) базовые переменные $z_{\ell i}$ определяются по формуле:

$$z_{\ell i} = f_{\ell i} \left(\frac{c_i}{c_{\Pi i}} \right) \cdot f_{\ell i}^*(t_i), \quad (4)$$

где $c_{\Pi i}$ - предельно-допустимая концентрация ядохимиката i ; c_i - средняя концентрация за период наблюдения; t_i - время нахождения сельскохозяйственного рабочего в контакте с ядохимикатом i .

Характерной особенностью при работе с ядохимикатами является предписание работы с защитными устройствами и приспособлениями, которые снижают вероятность появления и развития профессиональных заболеваний.

Для учета влияния защитных средств на уверенность в принимаемых решениях вводится функция защиты $Q_{\ell i}$ по заболеванию ω_{ℓ} от ядохимиката i с областью определения $[0, \dots, 1]$.

С учетом $Q_{\ell i}$ уверенность $UQ_{\ell i}$ в появлении и развитии заболеваний ω_{ℓ} от контакта с ядохимикатом i определяется выражением:

$$UQ_{\ell i} = \begin{cases} \mu_{\omega_{\ell}}(z_{\ell i}) - Q_{\ell i}, & \text{если } \mu_{\omega_{\ell}}(z_{\ell i}) > Q_{\ell i}; \\ 0, & \text{если } \mu_{\omega_{\ell}}(z_{\ell i}) \leq Q_{\ell i}. \end{cases} \quad (5)$$

где $z_{\ell i}$ определяется выражением (4).

9. При отсутствии возможности получения моделей (1), (4), (5) предлагается получать специализированные решающие таблицы, в которых по строкам выписываются условия воздействия сельскохозяйственных ядохимикатов, по столбцам – время контакта рабочего с ядохимикатом.

Элементами таблицы является уверенность U_{pq} в появлении и развитии заболевания ω_{ℓ} (где p – номер условия воздействия; q – временные интервалы). Удобно по строкам выписывать все различные способы применения всех ядохимикатов, приводящих к появлению и развитию ω_{ℓ} . Тогда уверенность в появлении и развитии ω_{ℓ} будет определяться агрегацией всех соответствующих частных уверенностей, записанных в таблице.

Уверенности в прогнозах и ранних диагнозах определяются выражениями

$$ULP = Ag_{\ell}^P(U_{pq})_p, \quad (6)$$

$$ULR = Ag_{\ell}^R(U_{pq})_p, \quad (7)$$

10. Когда эксперты – медики приходят к выводу, что какой-либо из ядохимикатов вызывает появление и развитие основного ω_{ℓ} и сопутствующих ω_r ($r=1, \dots, R$) заболеваний и далее одно или несколько сопутствующих заболеваний усиливает риск возникновения и развития основного заболевания, определяется уверенность в прогнозе ULP или раннем диагнозе ULR для основного заболевания. Далее, определяются уверенность в прогнозе URP_r по заболеваниям ω_r ($r=1, \dots, R$) или уверенность в наличии заболевания ω_r URN_r .

Используя шкалы URP_r и URN_r как базовые переменные, определяются функции принадлежности к классу ω_{ℓ} : $\mu_{\omega_{\ell}}(URP_r)$ и $\mu_{\omega_{\ell}}(URN_r)$.

Финальная уверенность в прогнозе и раннем диагнозе по классу ω_{ℓ} определяется выражениями:

$$ULPF = F_P[ULP, \mu_{\omega_{\ell}}(H_r)] \quad (8)$$

$$ULRF = F_R[ULR, \mu_{\omega_{\ell}}(H_r)] \quad (9)$$

где $H_r = URP_r$ или $H_r = URN_r$, F_P - агрегатор прогностического правила, F_R - агрегатор правил ранней диагностики.

11. С целью повышения качества принимаемых решений по выбранным классам заболеваний определяются дополнительные существенные факторы риска; уровень длительного психоэмоционального напряжения (ПЭН); уровень хронического утомления (УУ); функциональный резерв (ФР); энергетические характеристики биологически активных точек (ЭХ БАТ) “связанных с исследуемыми заболеваниями”; уровень эргономичности технических средств, если они используются обследуемыми; экологические характеристики (факторы риска); индивидуальные факторы риска, способствующие появлению и развитию исследуемых заболеваний.

Осуществляется синтез коллективов гибридных нечетких решающих правил в соответствии с общей методологией, разработанной в Юго-Западном государственном университете (Н.П. Корневский, С.А. Филист, А.Н. Шуткин).

Получаемые в ходе синтеза, частные и финальные решающие правила планируется использовать в качестве основных элементов интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) для врачей, ведущих пациентов агропромышленного комплекса. Для оптимизации структуры базы данных предлагается информационно-аналитическая модель, устанавливающая связи и направления взаимодействия между блоками

информативных признаков, множеством частных и финальных решающих правил.

Разработанная **информационно-аналитическая модель принятия решений по прогнозированию и ранней диагностике профессиональных заболеваний** имеет трехуровневую структуру. Агрегаторы первого уровня по подгруппе исходных признаков определяют уровень длительного психоэмоционального напряжения (Y_P); уровень хронического утомления (Y_U); уверенность в появлении и развитии заболеваний ω_ℓ по группе экологических факторов риска (UEK_ℓ); по индивидуальным факторам риска ($UI\Phi_\ell$); за счет контакта с ядохимикатами ($UCЯ_\ell$). Алгоритмы второго уровня по показателям, определяемым агрегаторами первого уровня, определяют уверенность в риске появления заболеваний ω_ℓ (UP_ℓ). Агрегаторы третьего уровня по величине UP_ℓ , энергетической реакции биологически активных точек (БАТ), «связанных» с заболеваниями ω_ℓ и по показателям, традиционным для медицины, методам исследования, определяют уверенность в ранней стадии заболевания ω_ℓ (UR_ℓ).

В третьем разделе решаются задачи синтеза нечетких математических моделей прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, провоцируемых действием сельскохозяйственных ядохимикатов.

В ходе проведенных исследований было установлено, что наиболее часто применяемые минеральные удобрения и пестициды приводят к кислородному голоданию, являющемуся одной из причин появления и развития заболеваний сердечно-сосудистой, нервной системы и системы дыхания.

Для определения содержания кислорода используются пульсоксиметры, рассчитывающие сатурацию крови $S\%$. Для этого показателя в работе получены выражения для оценки уверенности US_ℓ в прогнозе возникновения заболевания ω_ℓ по показателю сатурации крови:

$$US_\ell = \mu_{П\ell}(S) \cdot \gamma_\ell(t), \quad (10)$$

где $\mu_{П\ell}(S)$ - функция принадлежности к классам высокий риск появления (прогноз) в классе $\omega_{П\ell}$ с базовой переменной S ; $\gamma_\ell(t)$ - поправочный коэффициент для класса от стажа работы с ядохимикатами, принятыми в типовой обработке растений сельскохозяйственного назначения.

В соответствии с предложенными методами синтеза нечетких решающих правил на экспертном уровне была построена табличная модель прогноза возникновения наиболее распространенных профессиональных заболеваний работников АПК Курской области по специально разработанному опроснику, фрагмент которого представлен таблицей 1.

Элементами таблицы являются частные коэффициенты уверенности в прогнозе по классу $\omega_{П\ell}$. При выборе частных коэффициентов уверенности эксперты исходили из того, что увеличение номенклатуры и доз

используемых минеральных удобрений и пестицидов приводит к увеличению риска появления и развития патологии.

В скобках указаны условные обозначения соответствующих прогнозируемых классов заболеваний.

С учетом выбранной методики определения частных коэффициентов уверенности общая уверенность от контактов работников АПК с ядохимикатами определяется выражениями:

$$УСЯ_{\ell}(q+1) = УСЯ_{\ell}(q) + КУ_{\ell pt}[1 - УСЯ_{\ell}], \quad (11)$$

где - $КУ_{\ell pt}(p+1)$ - частный коэффициент уверенности по заболеваниям ω_{ℓ} ; p - номер группы источников ядохимикатов; t - номер столбца, соответствующий стажу работы; q - номер итерации; $УСЯ_{\ell}(1) = КУ_{\ell 1t}(1)$.

Таблица 1

Расчетная таблица коэффициентов уверенности в прогнозе появления и развития профессиональных заболеваний (фрагмент)

Источник ядохимикатов	Прогнозируемый класс заболеваний	Стаж контакта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Минеральные удобрения	ССЗ ($\omega_{ПС}$)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,6
	БЛЗ ($\omega_{ПБ}$)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,6	0,6
	ЗЖКТ ($\omega_{ПЖ}$)	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,45	0,45
	ЗНС ($\omega_{ПН}$)	0	0	0,05	0,15	0,2	0,25	0,25	0,3	0,3	0,35
	ЗКС ($\omega_{ПК}$)	0	0	0	0	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
	ЗПП ($\omega_{ПП}$)	0	0	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,3
2. Фосфор органические пестициды (средняя токсичность)	ЗНС ($\omega_{ПН}$)	0	0	0	0	0,05	0,05	0,1	0,1	0,15	0,15
	ССЗ ($\omega_{ПС}$)	0	0	0	0	0	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1
	ЗПП ($\omega_{ПП}$)	0	0	0	0	0	0	0,05	0,05	0,2	0,1

Примечание: ССЗ – заболевания сердечно-сосудистой системы; БЛЗ – бронхо-легочные заболевания; ЗЖКТ – заболевания желудочно-кишечного тракта; ЗНС – заболевания нервной системы; ЗКС – заболевания костной системы; ЗПП – патология тканей почек и печени.

С учетом сатурации крови:

$$УСЯ_{\ell} = УС_{\ell} + УСЯ_{\ell} \cdot (1 - УС_{\ell}) \quad (12)$$

Реализуя общую методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил, были получены нечеткие модели прогнозирования, появления и развития заболеваний сердечно-сосудистой системы (класс $\omega_{\ell} = \omega_C$); системы дыхания (класс $\omega_{\ell} = \omega_D$); и нервной системы (класс $\omega_{\ell} = \omega_H$):

$$УР_{\ell}(q+1) = УР_{\ell}(q) + Q_{\ell}(p+1)[1 - УР_{\ell}(q)], \quad (13)$$

где $UP_{\ell}(1) = Q_{\ell}(1) = UP_{\ell YP}$; $Q_{\ell}(2) = UP_{\ell YU}$; $Q_{\ell}(3) = U_{\ell E}$; $Q_{\ell}(4) = UEK_{\ell}$; $Q_{\ell}(5) = UCSЯ_{\ell}$; $Q_{\ell}(6) = UIIF_{\ell}$; $UP_{\ell YP}$ - уверенность в ω_{ℓ} по уровню ПЭН; $UP_{\ell YU}$ - по уровню хронического утомления; $U_{\ell E}$ - по уровню эргономичности используемой сельскохозяйственной техники; UEK_{ℓ} - от экологических факторов риска (кроме сельскохозяйственных ядохимикатов); $UCСЯ_{\ell}$ - по контакту с ядохимикатами; $UIIF_{\ell}$ - по группе индивидуальных факторов риска.

Для определения ранней стадии заболеваний по классам ω_C , ω_D и ω_H получены диагностические модели типа:

$$UR_{\ell} = UP_{\ell} + UB_{\ell}[1 - UP_{\ell}], \quad (14)$$

где UB_{ℓ} - уверенность в ранней стадии ω_{ℓ} по группе БАТ, «связанных» с ω_{ℓ} .

В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было установлено, что уверенность в правильном прогнозе для моделей (13) превышает величину 0,86, а уверенность в правильной постановке диагноза по выражению (14) превышает 0,9, что позволяет рекомендовать полученные результаты в медицинскую практику

В четвертом разделе разрабатываются основные элементы интеллектуальной системы поддержки принятия решений по оценке состояния здоровья работников агропромышленного комплекса.

Синтез решающих правил, управление взаимодействием программных модулей ИСППР и ее взаимодействием с лицом, принимающим решение (ЛПР), обеспечивается **алгоритмом управления процессами принятия решений**, состоящим из трех основных блоков:

1. Блок синтеза коллективов гибридных нечетких решающих правил по прогнозированию и ранней диагностике профессиональных заболеваний работников АПК, контактирующих с сельскохозяйственными ядохимикатами (блок обучения).

2. Блок прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний, обеспечивающий расчет прогностической и диагностической уверенностей.

3. Блок формирования системы рекомендаций по рациональному ведению пациентов, контактирующих с сельскохозяйственными ядохимикатами.

Структурная схема интеллектуальной системы поддержки принятия решений приведена на рисунке 1.

При реализации процесса обучения в интерактивном режиме последовательно задействуются программные модули: разведочного анализа, измерения латентных переменных с диалоговым пакетом RUMM 2020; группового учета аргументов (МГУА); многомерного линейного анализа, реализуемого пакетом Mathcad; синтеза коллектива нечетких решающих правил и синтеза частных моделей принятия решений по блоку признаков “Сельскохозяйственные ядохимикаты”, разработанный в данном диссертационном исследовании.

Взаимодействие пакетов подсистемы обучения обеспечивается алгоритмом управления процессом принятия решений (АУППР).

При решении задач прогнозирования и ранней диагностики подключаются подсистемы прогнозирования и диагностики с соответствующими программными модулями.

В ходе процессов принятия решений могут быть использованы приборы и системы для определения электрических характеристик БАТ с соответствующим программным обеспечением, а также приборы с программными модулями, рассчитывающими уровни психоэмоционального напряжения, утомления, функционального состояния и резерва.

Взаимодействие врача с ИСППР реализуется через интерфейс пользователя, работающего в интерактивном режиме, обеспечивая комфортное взаимодействие врача с базой данных (БД) и базой знаний (БЗ). Кроме этого, он поддерживает средства графики и функционирование информационно-справочной системы на языке предметной медицинской области.

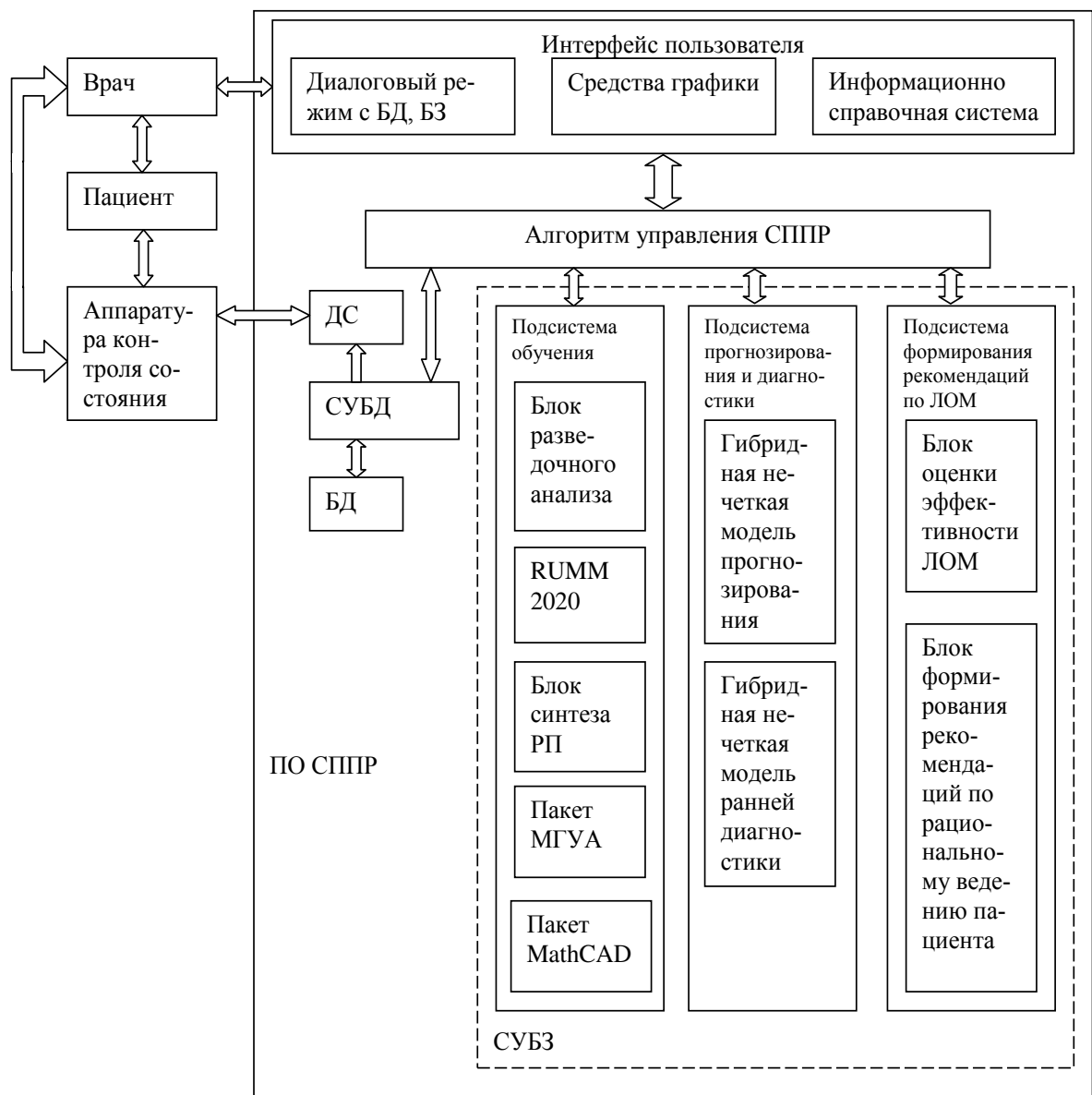


Рисунок 1 – Структура ИСППР

Подсистема формирования рекомендаций по ведению пациентов использует традиционные и хорошо отработанные методики и техническое обеспечение.

В работе использован классический для теории распознавания образов способ тестирования математических моделей путем формирования репрезентативных контрольных выборок с расчетом на них общепринятых показателей качества: диагностической специфичности (ДС), диагностической чувствительности (ДЧ), диагностической эффективности (ДЭ), прогностической значимости положительных (ПЗ+) и отрицательных (ПЗ-) результатов.

Для оценки качества работы прогностических решающих правил (модели 13) процесс наблюдения осуществляется в течение 5 лет.

В начале исследований (первый год) было произведено измерение информативных признаков задачи прогноза появления заболевания с расчетом UP_H , UP_C , UP_D .

В ходе анализа структуры данных был выбран порог дефазификации на уровне 0,55. Относительно этого порога было отобрано 100 работников АПК, по которым математические модели 13 приняли решение о том, что они останутся в классе «здоровые», и 100 работников по которым модели приняли решение о переходе в классы исследуемых заболеваний (классы $\omega_{пн}$, $\omega_{пс}$ и $\omega_{пд}$).

После каждого года наблюдения производилась фиксация количества заболевших и не заболевших обследуемых.

Результаты работы прогностических решающих правил фиксировались с расчетом всех показателей качества.

Результаты этого расчета по классу $\omega_{пн}$ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Оценка качества работы прогностической математической модели по классу $\omega_{пн}$

Год наблюдения \ ПК	1	2	3	4	5
ДЧ	0,64	0,73	0,86	0,89	0,90
ДС	0,92	0,91	0,92	0,93	0,93
ДЭ	0,78	0,82	0,89	0,91	0,92
ПЗ ⁺	0,89	0,89	0,91	0,93	0,93
ПЗ ⁻	0,72	0,77	0,87	0,92	0,90

Примечание: ПК – показатели качества.

Аналогичные таблицы были получены по классам: $\omega_{пс}$ и $\omega_{пд}$.

Анализ полученных данных показывает, что показатели ДЧ, ПЗ⁻, ДЭ растут от года к году.

К третьему году качество работы прогностических решающих правил стабилизируется, и далее остается достаточно высоким. Это позволило экспертам выбрать трехлетний срок как надежное время прогноза профессиональных заболеваний работников АПК, контактирующих с ядохимикатами.

При оценке качества работы математических моделей ранней диагностики (классы $\omega_{рн}$, $\omega_{рс}$ и $\omega_{рд}$), модели (14) ежегодно отбирались по 100 человек, не приобретших исследуемые заболевания и 100 человек с подтвержденной ранней стадией, расчет производится по таким показателям как ДЧ, ДС, ДЭ.

В таблице 3. приведены средние значения показателей качества классификации для ранних стадий исследуемых заболеваний.

Таблица 3

Оценка качества работы диагностических математических моделей

Классы ω_i	ω_{PH}	ω_{PC}	ω_{PD}
ПК			
ДЧ	0,92	0,91	0,92
ДС	0,95	0,93	0,95
ДЭ	0,93	0,92	0,93

Анализ результатов статистических испытаний, полученных прогностических и диагностических решающих правил, показывает, что они дают результаты, соизмеримые с результатами математического моделирования и экспертного оценивания.

Полученные количественные характеристики позволяют рекомендовать результаты диссертационной работы в медицинскую практику лечебно-профилактических учреждений, обслуживающих АПК.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Диссертационная работа посвящена решению научно-практической задачи разработки метода, моделей и алгоритма, прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, вызываемых контактами работников АПК с сельскохозяйственными ядохимикатами, на основе нечетких гибридных моделей. В результате проведенных исследований разработана интеллектуальная система поддержки принятия решений, позволяющая повысить качество принятия решений медицинских учреждений, обслуживающих работников сельскохозяйственных производств.

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Проанализирована структура данных используемых для решения задач оценки состояния здоровья людей, контактирующих с ядохимикатами. Обосновано применение аппарата нечеткой логики для решения поставленных в работе цели и задач.

2. Разработан метод синтеза гибридных нечетких моделей прогнозирования и ранней диагностики заболеваний сельскохозяйственных рабочих, контактирующих с ядохимикатами, учитывающий такие специфические факторы риска, как концентрация вредных веществ в организме и окружающей среде, время контакта с ядохимикатами, их комплексное, мультипликативное и индуцированное влияние на различные органы и системы, использование которого позволит синтезировать прогностические и диагностические модели, обеспечивающие повышение качества медицинского обслуживания работников агропромышленного комплекса, контактирующих с сельскохозяйственными ядохимикатами.

3. Разработана информационно-аналитическая модель, описывающая структуру взаимосвязей гибридных нечетких моделей между собой и пространством неоднородных информативных признаков,

позволяющая осуществить проектирование базы знаний с рациональным механизмом взаимодействия соответствующих программных модулей.

4. Синтезирована система решающих правил прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса, контактирующих с сельскохозяйственными ядами, основанная на использовании гибридных нечетких моделей, агрегирующих существенные экзогенные и эндогенные факторы риска, объединенные в иерархические структуры.

5. Предложены алгоритм управления и структура интеллектуальной системы поддержки принятия решений, позволяющие гибко менять тактику ведения пациентов в зависимости от меняющейся внешней обстановки и индивидуальных факторов риска, что обеспечивает повышение качества оказания медицинских услуг исследуемой категории пациентов.

6. Проведена апробация предложенных метода, моделей и алгоритма, которая показала, что предлагаемые в работе решения обеспечивают приемлемое качество прогнозирования и ранней диагностики заболеваний нервной системы, сердечно-сосудистой системы и системы дыхания, возникающих и развивающихся под воздействием сельскохозяйственных ядохимикатов, причем, прогностические решающие правила обеспечивают трехлетний прогноз с уверенностью не хуже 0,85, а решающие правила для ранней диагностики “работают” с уверенностью не хуже 0,9, что позволяет рекомендовать их к практическому использованию.

Рекомендации. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при построении систем поддержки принятия решений для врачей, ведущих пациентов агропромышленного комплекса.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Использование нечетких гибридных моделей для решения задач повышения качества оказания медицинских услуг работникам агропромышленного комплекса позволит поднять на новый уровень медицинское обслуживание людей, занятых в растениеводстве и смежных областях сельского хозяйства.

СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных журналах

1. Кореневский Н.А. Интеллектуальная система управления здоровьем работников агропромышленного комплекса / Н.А. Кореневский, **Р.В. Степашов**, В.В. Аксенов, М.А. Воронова, А.А. Бурмака // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2018. – Т.17. – №3. – С.678-682.

2. Кореневский Н.А. Нечеткие математические модели прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний сельскохозяйственных рабочих контактирующих с ядохимикатами [электронный журнал] /Н.А. Кореневский, **Р.В. Степашов**, Р.А. Крупчатников, В.В. Аксёнов, Н.Л. Коржук// Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2018. – Т.6. – № 3. – https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2018/07/KorenevskiySoavtori_3_18_2.pdf.

3. Кореневский Н.А. Использование методологии синтеза коллективов гибридных нечетких моделей для решения задач оценки состояния и управления сложными биотехническими системами /Н.А. Кореневский, **Р.В. Степашов**, А.Н. Шуткин, Е.В. Цимбыл, С.Н. Родионова, Д.С. Родионов// Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2018. – Т.17. – № 3. – С.693-700.

4. Степашов Р.В. Синтез решающих правил для прогнозирования и диагностики заболеваний сельскохозяйственных рабочих контактирующих с ядохимикатами [Текст] / **Р.В. Степашов**, Н.А. Кореневский, Е.С. Потапова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2018. – Т.17. № 3. – С.720-724.

Монография

5. Степашов Р.В. Использование технологий мягких вычислений для прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса: монография / Р.В. Степашов, Н.А. Кореневский, А.В. Серебровский, Т.Н. Говорухина – Курск: КГСХА, 2016. – 224с.

Научные работы в других изданиях РИНЦ

6. Степашов Р.В. Прогнозирование и ранняя диагностика профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса подвергающихся вредному воздействию ядохимикатов // Вестник научных конференций. – 2018. – С.267-271.

7. Степашов Р.В. Роль системных факторов риска в задачах прогнозирования возникновения и рецидива профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса / Р.В. Степашов, Н.А. Кореневский, А.В. Серебровский, Е.С. Потапова // Медико-экологические информационные технологии: материалы XXI Международной научно-технической конференции. – Курск:ЮЗГУ, 2018. – С.267-271.

8. Степашов Р.В. Прогнозирование заболеваний работников агропромышленного комплекса контактирующих с ядохимикатами / Р.В. Степашов, Н.А. Корневский // Приоритетные направления развития науки и образования: сборник статей III Международной научно-практической конференции. – Пенза, 2018. – С.132-137.

9. Степашов Р.В. Альтернативы GPS технологий в транспортной отрасли и сельском хозяйстве / Р.В. Степашов, В.В. Серебровский, Е.А. Афанасьев, С.А. Богомоллов, А.С. Бабков // Наука и инновации в сельском хозяйстве: материалы международной научно-практической конференции. – Курск: Изд-во КГСХА, 2011. – С.239-241.

10. Степашов Р.В. Использование ГЛОНАСС/GPS систем в сельскохозяйственных предприятиях / Р.В. Степашов, В.В. Серебровский, Е.А. Афанасьев, С.А. Богомоллов, А.С. Бабков // Наука и инновации в сельском хозяйстве: материалы международной научно-практической конференции. – Курск: Изд-во КГСХА, 2011. – С.242-245.

11. Корневский Н.А. Нечеткая модель в оценке состояния здоровья работников АПК / Н.А. Корневский, Р.В. Степашов, В.В. Аксёнов // Инфокоммуникации и космические технологии: состояние, проблемы и пути решения: сб. науч. ст. по материалам II Всерос. науч.-практ. конф. – Курск: ЮЗГУ, 2018. – С.110-116.

Подписано в печать _____ 2018г. Формат 60×84 1/16.

Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ _____.

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