МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ИЗВЕСТИЯ

Юго-Западного государственного университета

Серия
УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА. МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

№ 2 (15)
2015

Курск

2015. №2 (15)
Научный рецензируемый журнал

ИЗВЕСТИЯ

ЮГО-ЗАПАДНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение

Основан в 2011 г.

Выходит четыре раза в год

Учредитель: ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (ПИ №ФС77-44620 от 15.04.11).

Журнал «Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение» включен в перечень ведущих научных журналов ВАК Минобрнауки России

Редакционная коллегия

С.Г. Емельянов (главный редактор), д-р техн.наук, профессор, ректор ЮЗГУ;
В.С. Титов (заместитель главного редактора), д-р техн. наук, профессор, ЮЗГУ;
О.И. Атакищев, д-р техн.наук, профессор;
Н.М. Агарков, д-р мед. наук, профессор;
И.А. Авилова, д-р биол. наук, профессор;
М.В. Бобырь, д-р техн. наук, доцент;
А.А. Бурмака, д-р техн. наук, профессор;
В.Н. Гридин, д-р техн. наук, профессор;
С.В. Дегтярев, д-р техн. наук, профессор;
В.Э. Дрейзин, д-р техн. наук, профессор;

СОДЕРЖАНИЕ

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ! 6

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА 8

Серебровский В.В., Ефремова И.Н., Ефремов В.В.
К вопросу учета смысловой составляющей текста в информационно-поисковых системах.....8

Атакищев А.О.
Метаграмматическая модель декодируемых префиксных кодированных данных.....12

Прохоров И.В., Мысев А.Э.
Исследование алгоритмов рекомендательных систем, основанных на вероятностных моделях.....16

Фролов С.Н., Бермудес С. Хосе Г.
Обработка естественного языка в дистанционном образовании.....21

Машков Е.Ю.
Сингулярные стохастические уравнения леонтьевского типа с импульсными воздействиями.....26

Симаков А.Н., Душин Е.В., Юхин А.М.
Методика оценки качества модульных систем постоянного тока в телекоммуникационных системах.....35

Мохсен Шамсан Ахмед Исмаил
Алгоритм повышения информативности сообщения при анализе акустических сигналов объекта, издающего акустический шум.....42

Серебровский В.В., Ханис Н.А., Журавлева Е.В., Ханис А.Л.
Метод и алгоритм анализа и прогнозирования пожаробезопасности при применении модульной структуры автоматизированной защиты помещений центров обработки данных.....47

Ефремова И.Н., Ефремов В.В.
Способ неточного поиска в тексте, содержащем ошибки антропогенного характера.....54

Ж.Т. Жусубалиев, д-р техн. наук, профессор;
И.В. Зотов, д-р техн. наук, профессор;
Н.А. Кореневский, д-р техн.наук, профессор;
А.П. Локтионов, д-р техн. наук, доцент;
С.П. Серегин, д-р мед. наук, профессор;
А.С. Сизов, д-р техн. наук, профессор;
А.В. Филонович, д-р техн. наук, профессор;
С.А. Филист, д-р техн. наук, профессор;
Л.В. Шульга, д-р мед. наук, профессор.

Адрес редакции:
305040, г. Курск, ул.50 лет Октября, 94.
Телефоны: (4712) 22-25-26
Факс: (4712) 50-48-00.
E-mail: rio_kursk@mail.ru

Оригинал-макет подготовлен А.Е. Серебряковой

Подписано в печать 17.04.15. Формат 60×84/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 14,8.
Тираж 1000 экз. Заказ 40. Цена свободная.
Юго-Западный государственный университет
305040, г. Курск, ул.50 лет Октября, 94.

Плата с аспирантов за публикацию не взимается.

Подписной индекс журнала «Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение» 44288 в объединенном каталоге «Пресса России»

МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ.....62

Шуткин А.Н., Бойцова Е.А., Лазурина Л.П., Писарев М.В.
Использование технологий мягких вычислений для оценки защитных механизмов организма.....62

Агарков Н.М., Макконен К.Ф., Гонтарева И.С.
Математическое прогнозирование и дифференциальная диагностика пародонтита с ортодонтической патологией в детском возрасте.....72

Суржикова С.Е., Шаталова О.В., Федянин В.В.
Программно-аппаратный комплекс диагностики социально значимых заболеваний.....79

Чеканов И.В., Безлепкина Т.П., Аксёнов В.В.
Математическое прогнозирование рассеянного склероза на основе биологических и социальных факторов риска.....87

Артёменко Н.М.
Распознавание состояний легких человека по издаваемому ими акустическому шуму.....94

Гонтарева И.С.
Математическое моделирование диагностики пародонтита и ортодонтической патологии у детей.. 98

Шуткин А.Н., Бойцова Е.А., Бойцов А.В., Кореневская С.Н.
Использование гибридных нечётких моделей для оценки степени утомления.....107

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ.....119

© Юго-Западный государственный университет, 2015

2015. №2(15)
Scientific reviewed journal

PROCEEDINGS

of the SOUTHWEST
STATE
UNIVERSITY
Management, computer facilities,
Computer science. Medical instrument making

Published four a year

CONTENS

RESPECTED COLLEQUES! 6

NFORMATICS, COMPUTER SCIENCES 8

Serebrovskiy V.V., Efremova I.N., Efremov V.V.
About using of semantic components of the text in information retrieval systems.....8

Atakishchev A.O.
Metagrammar model of prefix coded data.....12

Prokhorov I.V., Mysev A.E.
Research on recommender systems algorithms based on probabilistic models.....16

Frolov S.N., Bermudes S. José G.
Natural language processing in distant education.....21

Mashkov E.Yu.
Singular stochastic leontieff type equations with impuls influence.....26

Simakov A.N., Dushyn E.V., Yukhin A.M.
Estimation procedure for quality modular systems dc in telecommunication systems.....35

Mohsen Shamsan
Algorithm more informative message when analysis of acoustic signals object published acoustic noise.....42

Serebrovskiy V.V., Khanis N.A., Zhuravleva E.V., Khanis A.L.
Method and analysis algorithm and prediction of the fire safety in case of application of modular structure of automated protection of locations of data processing centers.....47

Efremova I.N., Efremov V.V.
Method of general search in text which include human-made mistakes.....54

MEDICAL INSTRUMENT MAKING 62

Shutkin A.N., Boutcova E.A., Lazarina L.P., Pisarev M.V.
The use of soft computing technologies for evaluating protective mechanisms of the body.....62

Agarkov N.M., Makkonen K.F., Gontareva I.S.
Mathematical prediction and differential diagnosis of periodontitis with orthodontic pathology in childhood.....72

Surzhikova S.E., Shatalova O.V., Fedyanin V.V.
Hardware and software system for the analysis of current-voltage characteristics of bioactive points based on module L-CARD E20-10.....79

Chekanov I.V., Bezlepkina T.P., Aksenov V.V.
Mathematical prediction of multiple sclerosis on the basis of biological and social risk factors.....87

Artemenko N.M.
Recognition of the state of humun lungs by emissions of acoustic noice.....94

Gontareva I.S.
Mathematical modelling for diagnosis periodontitis and orthodontic pathology in children.....98

Shutkin A.N., Boitcova E.A., Boitcov A.V., Korenevsky S.N.
The use of hybrid fuzzy models to assess the degree of fatigue.....107

INFORMATION FOR AUTHORS.....119

© Southwest State University, 2015

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

В материалах, включенных в новый выпуск научного журнала, освещены актуальные проблемы современного научного знания в области теории управления, вычислительной техники, информатики и медицинского приборостроения.

В разделе «Управление, вычислительная техника, информатика» спектр исследуемых проблем широк, тематика статей разнообразна и включает следующие вопросы: основные принципы функционирования информационно-поисковых систем и способы учета смысла текста, реализованные в них; разработка метаграмматической модели для решения задач декодирования префиксных кодированных данных основных форматов; исследование алгоритмов рекомендательных систем, основанных на вероятностных моделях, хорошо себя зарекомендовавших при создании рекомендательных систем, учитывающих контекстуальную информацию, такую как время, местонахождение, профиль пользователя, погода; проанализированы проблемы формализации и обработки естественного языка в дистанционном образовании, сформулирован подход к анализу естественно-языковых текстов; предложена концептуальная схема лингвистического процессора, обеспечивающего формализацию текстов, и концептуальная модель обработки текстовой информации в системах дистанционного образования; рассматривается стохастическое уравнение леонтьевского типа с сингулярным пучком постоянных матриц коэффициентов и импульсными воздействиями; исследованы способы повышения эффективности функционирования средств связи путем модернизации систем энергоснабжения за счет качественного укомплектования их модульными системами вторичного электропитания и рационального использования энергетического ресурса, обеспечивающего минимальные стоимостные показатели; алгоритм повышения информативности сообщения при анализе акустических сигналов объекта, издающего акустический шум; рассмотрены особенности построения систем противопожарной защиты помещений центров обработки данных; представлен метод и алгоритм анализа пожаробезопасности при применении модульной структуры автоматизированной защиты помещений центров обработки данных; рассмотрена специфика текстового поиска в условиях ошибок антропогенного характера, описан высокоскоростной способ поиска с игнорированием ошибок, а также алгоритмические и автоматные модели способа.

В разделе «Медицинское приборостроение» представлены статьи по следующим вопросам: использование технологии мягких вычислений совместно с теорией измерения латентных переменных на основе статистической модели Г. Раша для решения задач оценки защитных механизмов человека от внешних воздействий; математическое прогнозирование и дифференциальная диагностика пародонтита с ортодонтической патологией в детском возрасте; разработка автоматизированной системы для получения ВАХ БАТ, которая включает устройство сбора данных, подключенное к персональному компьютеру, устройство связи с объектом, соответствующее программное обеспечение; математическое прогнозирование рассеянного склероза на основе биологических и социальных факторов риска; распознавание состояний легких человека по издаваемому ими акустическому шуму; математическое моделирование диагностики сочетанных пародонтита и ортодонтической патологии у детей на основе различных численных критериев и математических методов; использование гибридных нечётких моделей для оценки степени утомления.

С.Г. Емельянов, д-р техн. наук,
профессор, ректор ЮЗГУ,
главный редактор журнала

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА

УДК 81.322

В.В. Серебровский, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: sv1111@mail.ru)

И.Н. Ефремова, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: Efremova-IN@inbox.ru)

В.В. Ефремов, ст. преподаватель, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: V2@bk.ru)

К ВОПРОСУ УЧЕТА СМЫСЛОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТЕКСТА В ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫХ СИСТЕМАХ

В работе рассматриваются основные принципы функционирования информационно-поисковых систем, выявляются реализованные в информационно-поисковых системах способы учета смысла текста.

Ключевые слова: *информационный поиск, информационно-поисковые системы, смысловой поиск.*

***

Введение

Значительную часть информации, созданной человечеством, составляют тексты на различных естественных языках (ЕЯ). Устойчивый рост объемов этой информации в мире, а также неуклонный рост информационных потребностей людей, а следовательно, потока запросов для решения различных задач обработки ЕЯ информации естественным образом связаны с реалиями современного мира. Следует заметить, что от скорости и качества обработки этих запросов зависит своевременное и правильное принятие решений в различных областях человеческой деятельности.

Все это диктует необходимость постоянно совершенствовать системы обработки ЕЯ информации. И если до недавнего времени применялись преимущественно формальные способы обработки ЕЯ текстов, что, вполне возможно, было обусловлено не столь высоким уровнем развития технических средств автоматизации обработки информации, то теперь эти способы исчерпали себя как таковые, и обработка ЕЯ информации зачастую невозможна без, по крайней мере, каких-либо попыток учета смысла обрабатываемого текста.

Действительно, ЕЯ текста и служит для передачи адресату смысла, определенного автором текста. При этом, следует заметить, что смысл зачастую не зависит от языка текста и формы его выражения (исключением может являться, например, тот случай, когда в тексте говорится о формах выражения смысла, т.е. когда форма и есть смысл текста). Отметим, что указанная инвариантность смысла относительно формы выражения является аргументом в пользу искусственных языков представления смысла при использовании в системах автоматической или автоматизированной обработки ЕЯ текстов, а именно одних из наиболее часто используемых из указанных систем — информационно-поисковых систем (ИПС).

1. Обзор ИПС

ИПС предназначены для поиска информации на основании заданных пользователями поисковых запросов. Различают горизонтальный поиск (поиск по заданной теме на всех доступных информационных ресурсах) и вертикальный поиск (углубленный поиск в рамках определенной предметной области).

Классически ИПС осуществляют горизонтальный поиск. Но в современных ИПС есть элементы вертикального поис-

ка, учитывающего, как правило, прагматику (не тематику) информации. Например, в системе Яндекс: картинки, видео, карты и т.п. Следует заметить, что смысловая релевантность результатов в системах вертикального поиска будет выше в связи с предварительной кластеризацией информации.

В настоящее время все ведущие ИПС работают по следующему принципу [1, 2].

Первый круг задач ИПС – создание своей базы об информации в Сети с целью ускорения поиска информации пользователем, при этом возможно проведение кластеризации информации и в некоторых случаях – организации вертикального поиска.

Специальные программы-агенты обходят все ресурсы Сети, проверяют актуальность своей базы, находят новую информацию, индексируют ее. Индексирование предполагает выделение всех вариантов слов с указанием вхождений. Первоначально находится прямой индекс. На этом этапе проводится в том числе простейший синтаксический анализ текста. Пример прямого индекса приведен в таблице 1.

Таблица 1

Пример прямого поискового индекса

Документ	*Слова*
Документ 1	наша, Таня, громко, плачет
Документ 2	уронила, в, речку, мячик
Документ 3	тише, Танечка, не, плачь,
Документ 4	не, утонет, в, речке, мяч

Для ускорения доступа к базам индексов прямые индексы сортируют, образуя инвертированный индекс. На этом этапе проводится также простейший морфологический анализ слов. Пример инвертированного индекса приведен в таблице 2.

При этом инвертированный индекс может также содержать информацию о частоте встречаемости слов, что позволяет делать выводы о семантической близости текстов, а также информацию о позициях вхождения в документ, что дает информацию о близости слов в тексте и позволяет тем самым поддерживать поиск фраз.

Таблица 2

Пример инвертированного поискового индекса

Слово	*Документы*
в	Документ 2, Документ 4
громко	Документ 1
мяч	Документ 2, Документ 4
наша	Документ 1
не	Документ 3, Документ 4
плакать	Документ 1, Документ 3
речка	Документ 2, Документ 4
Таня	Документ 1, Документ 3
тише	Документ 3
уронить	Документ 2
утонуть	Документ 4

Второй круг задач ИПС — обработка запросов пользователей на поиск информации.

Запросы на поиск могут задаваться в произвольной форме или быть структурированными, т.е. содержать определенные разделители, указывающие, например, что для заданного фрагмента должен быть произведен поиск на точное совпадение, определенное слово должно обязательно присутствовать или отсутствовать в результате, результат может содержать одно из указанных слов и т.п. ИПС осуществляет анализ региона – источника запроса, анализ самого поискового запроса, включающий в себя морфологический анализ с учетом возможных орфографических ошибок, типовых опечаток и синонимии слов. При этом ИПС формирует базу недавних запросов с целью, во-первых, еще больше повысить скорость поисковых процедур наиболее популярных запросов, для которых в системе сохраняется результат, во-вторых, повысить удобство пользователей при вводе текстов запросов за счет подсказок си-

стемы, в-третьих, возможности организации контекстного поиска, результат которого будет зависеть от предыдущих запросов этого пользователя, т.е. от контекста его интересов в данный момент.

Далее на основе информации, содержащейся в запросе, выполняется поиск по базам инвертированных индексов, созданных системой (поиск на совпадение с возможным вычислением логических функций над результатами поиска отдельных элементов запроса для структурированных запросов).

Далее результаты поиска ранжируются в соответствии с их релевантностью с точки зрения системы, т.е. наиболее подходящие для данного запроса ресурсы помещаются в результат поиска, т.е. в начало списка. При этом предполагаемая релевантность результатов поиска высчитывается по формулам, включающим множество аргументов, например частота встречаемости искомых слов, их близость в тексте, соответствие предметной области текста контексту поиска и другое. Ранжирование также проводится по формулам, включающим релевантность, качественные характеристики ресурса и прочее. Алгоритмы строятся автоматически и постоянно совершенствуются на основе машинного обучения. Критерий оценки алгоритмов – совпадение или несовпадение понятий релевантности результата у поисковой машины и у человека. Один вариант, когда человек переходит к найденному ресурсу и какое-то время исследует его, другой – человек к нему не переходит или переходит и тут же закрывает.

Различие ИПС. ИПС отличаются друг от друга преимущественно архитектурой баз индексов и алгоритмами ранжирования.

Следует отметить, что для обработки текстов в ИПС может быть использован различный математический аппарат, который также используется применительно к другим задачам обработки текстов [3-9].

2. Учет смысловой составляющей текста в ИПС

С целью повышения релевантности результатов поиска необходимо каким-то образом учитывать смысл информации, для этого решаются следующие задачи:

1. *Кластеризация информации.* Анализ запроса с целью отнесения его к одному из классов и дальнейшего использования вертикального поиска в нем. Как правило, классификация выполняется по прагматическим критериям, связанным с выделением, например, таких классов, как картинки, карты, аудио, видео, новости, продажа товаров и др. Применительно к текстовой информации кластеризация может выполняться, например, путем анализа векторной модели текста. Открытым остается вопрос тематической классификации информации в ИПС.

2. *Распознавание языка.* Поиск и исправление типовых орфографических ошибок и опечаток в запросе основаны на использовании баз типовых запросов и орфографических словарей. Также могут использоваться N-граммные языковые модели. Особую проблему составляют различные слова, записанные в близких языках и имеющие одинаковое написание.

3. *Подсказки при создании запроса* основаны на базе недавних популярных запросов с учетом контекста запроса (предыдущих запросах пользователя, его местонахождением и пр.).

4. *Простой морфологический анализ*, направленный на выявление различных форм слов, относящихся к одному понятию.

5. *Снятие омонимии.* Для снятия многозначности используются наработки в области лингвистики, предназначенные для решения этой задачи. Например, Яндекс использует Национальный корпус русского языка, созданный при его поддержке.

6. *Поиск с учетом синонимии.* Как правило, поиск осуществляется с учетом устойчивых аббревиатур и в некоторых случаях по текстам на разных популярных языках. Последнее подразумевает

перевод слов и словосочетаний запроса. Перспективным является поиск с учетом контекстно-зависимых синонимов.

7. *Отсечение спама и определение текстов, созданных автоматически*. Для определения модифицированных текстов могут использоваться частотные характеристики текстов с анализом степени их совпадения. Для определения текстов, созданных автоматически, также могут использоваться частотные характеристики текста и их анализ, либо других закономерностей исследуемого текста. Например, известно, что естественный текст подчиняется закону Ципфа.

8. *Анализ релевантности результата и ранжирование*. Релевантность результата, напрямую влияющая на его ранг, собственно и есть смысловая близость текста и поискового запроса. В ИПС релевантность вычисляется по формулам, учитывающим преимущественно количественные, в том числе частотные, характеристики текста. Формулы постоянно совершенствуются путем машинного обучения.

9. *Формирование сниппетов* – информации, которая выдается вместе с названием ресурса и адресом на странице результата поиска с целью пояснения ресурса. Эта информация должна содержать заданные в запросе слова и максимально раскрывать суть текста. Как правило, выводится фрагмент текста, содержащий указанные слова и отличающийся от названия ресурса. В настоящее время развивается идея интентного поиска, результат которого (в основном для так называемых моментальных запросов) содержится сразу в сниппете, и пользователю не приходится осуществлять переход к ресурсу.

Заключение

Анализ тенденций развития ИПС указывает на то, что на первый план постепенно выходит смысловая составляющая информации, что движет развитие ИПС по направлению к системам искусственного интеллекта (ИИ). Следует заметить в связи с этим, что в системах ИИ методы представления информации отталкиваются преимущественно от ее семантической составляющей, в отличие от ИПС, и в настоящий момент времени, по мнению авторов, этот вопрос является ключевым камнем преткновения, мешающим дальнейшему витку развития ИПС.

Список литературы

1. Романенко В.Н., Никитина Г.В. Сетевой информационный поиск: практическое пособие. – СПб.: Профессия, 2005. – 288 с.

2. Информационные системы обработки и сжатия текста / В.В. Ефремов, И.Н. Ефремова, В.В. Серебровский, А.А. Черепанов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2014. – Вып. 29/1, № 1 (172). – С. 182-185.

3. Ефремова И.Н., Ефремов В.В. Способ сопоставления символьной информации с множеством образцов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 3 (42)-1. – С. 50-53.

4. Ефремова И.Н., Ефремов В.В. Способ аннулирования коллизий при сопоставлении слов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – № 1 (46). – С. 20-22.

5. Разработка концепции информационной системы построения информационно-образовательного мультимедийного интерактивного пространства / В.И. Шнырков, И.Н. Ефремова, В.В. Ефремов, Н.Н. Бочанова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2012. – № 2-3. – С. 16-19

6. Структура информационной системы построения информационно-образовательного мультимедийного интерактивного пространства / В.И. Шнырков, И.Н. Ефремова, В.В. Ефремов,

Е.И. Аникина // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2012. – № 2-3. – С. 46-49.

7. Ефремова И.Н., Ефремов В.В. К вопросу повышения эффективности автоматической обработки текстов// Современное общество, образование и наука: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции (30 июня 2014 г.): в 9 ч. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2014. – Ч. 8. – С. 22-23.

8. Ефремова И.Н., Ефремов В.В. Способы и устройства обработки символьной информации / Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2014. – 182 с.

Получено 10.03.15

V.V. Serebrovskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: sv1111@mail.ru)

I.N. Efremova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: Efremova-IN@inbox.ru)

V.V. Efremov, Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk) (e-mail: V2@bk.ru)

ABOUT USING OF SEMANTIC COMPONENTS OF THE TEXT IN INFORMATION RETRIEVAL SYSTEMS

The paper deals with the basic work principles of information retrieval systems. Also the paper deals with detection of methods of using the semantic of the text in actual information retrieval systems .

Key words: *information search, information retrieval systems, semantic search.*

УДК 629.786

А.О. Атакищев, младший научный сотрудник, НФЦ «Центр-капитал»
(e-mail: 1993alexandr@gmail.com)

МЕТАГРАММАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕКОДИРУЕМЫХ ПРЕФИКСНЫХ КОДИРОВАННЫХ ДАННЫХ

Статья посвящена разработке метаграмматической модели для решения задач декодирования префиксных кодированных данных основных форматов.

Ключевые слова*: кодирование, префиксные неравномерные коды, формальные грамматики, метаграмматики.*

***

В настоящее время одним из основных направлений при создании перспективных систем обработки больших массивов разнородных данных (СОБМ РД) является реализация на практике подхода на основе интегрированной программной обработки префиксных кодированных данных (ПКД), поступающих от различных подсистем сбора и хранения мониторинговой информации. При этом ПКД, как правило, поступают в СОБМ РД в различных кодовых форматах и структурах, соответствующих международным (ISO, ITU-T) и фирменным системам стандартов многоуровневой «Эталонной модели взаимодействия открытых систем» (ЭМ ВОС) [1-9].

Особую актуальность при этом представляет решение задачи разработки моделей ПКД, являющихся основой алгоритмов и высокопроизводительных программ декодирования разнородных по структуре и параметрам двоичных последовательностей префиксных кодированных данных прикладного и представительного уровней ЭМ ВОС. Префиксные

кодовые стандарты данных уровней определяют сложные многоуровневые структуры сегментированных неравномерных префиксных кодов с адаптивным определением границ и параметров кодовых структур, а также сжатия данных с использованием статистических и алгебраических особенностей конкретных классов массивов данных.

Современный этап разработки моделей для декодирования ПКД характеризуется наличием отдельных моделей для определения параметров, уникальных кодовых структур, декодирования, определения ошибок и т.п. отдельных классов ПКД (ряда подклассов кодов сигнализационных форматов, стандартов кодирования равномерных кодов, растровых и блочных форматов кодирования графических данных) [1-18].

Проведенные исследования в рассматриваемой проблемной области показали, что недостатки существующих моделей в немалой степени определяются неполнотой учета в известных моделях структурно-статистических и алгебраических особенностей декодируемых ПКД.

Анализ предпосылок для преодоления данных недостатков показал, что в основу решения задачи создания моделей для декодирования ПКД для СОБМ РД наиболее целесообразно положить структурно-алгебраический подход к обработке сложноструктурированных кодированных данных (декодированию, трансляции искусственных языков, синтаксическому анализу сложноструктурированных больших массивов данных), развиваемый в последние годы в работах ученых ведущих зарубежных и российских школ [1-18].

Тем не менее вопросы применения адекватных предметной области структурно-лингвистических (в первую очередь метаграмматических) моделей для декодирования ПКД нашли частичное применение при решении задач обработки данных в современных СОБМ РД.

В связи с вышеизложенным в качестве основной решаемой задачи в статье выбрана разработка модели ПКД на основе структурно- алгебраического подхода с применением формального аппарата метаграмматик.

На основе выявленных структурных особенностей рассматриваемого класса ПКД в статье в качестве формальной основы моделирования используется теоретический аппарат метаграмматик.

В данном случае модель представляется в виде следующей стохастической метаграмматики (СМГ):

$$G_{ПКД}=<\{G_{i1}^{(1)}\},\{G_{i2}^{(2)}\},\{G_{i3}^{(3)}\},\{G_{i4}^{(4)}\},\{G_{Ti5}^{(5)}\},W_{ПКД}>.$$

В этой СМГ стохастические грамматики $\{G_{i1}^{(1)}\}$моделируют в рекурсивной форме общие синтаксические структуры конкретных схем кодирования ПКД. В частности, для стандартов типа Т.4 они определяют порядок чередования схем кодирования MH и MR для различных коэффициентов К (для нестандартных схем – чередование схем Н, без сжатия). Аналогично для формата Т.81 – чередование используемых схем кодирования (равномерных и неравномерных, без сжатия, с потерей и без потери информации).

Стохастические грамматики $\{G_{i2}^{(2)}\}$ определяют с помощью регулярных правил подстановок порядок чередования сегментов кодированных ПКД (строк, блоков, матриц), $\{G_{i3}^{(3)}\}$ – допустимые продукционные правила чередования кодовых слов (в том числе и составных) в схеме ПКД.

В частности, для формата Т.4 данные продукции имеют усеченный (по сравнению с известными моделями) вид:

$$A_0 \to I_H A_1 | I_R A_6 | I_{RTS} A_{14};$$

$$A_1 \to I_{об} A_2 | I_{вб} A_3 | I_{вб} A_4;$$

$$A_2 \to I_{вб} A_3 | I_{вб} A_4;\ A_3 \to I_{оч} A_5 | I_{вч} A_1 | I_{вч} A_4;$$

$$A_4 \to I_F A_0;\ A_5 \to I_{вч} A_1 | I_{вч} A_4;$$

$$A_6 \to I_п A_6 | I_в A_6 | I_г A_7 | I_п A_4 | I_в A_4;$$

$$A_7 \to I_{об} A_8 | I_{вб} A_9 | I_{оч} A_{10} | I_{вч} A_{11} | I_{вб} A_4 | I_{вч} A_4;$$

$A_8 \to I_{вб}A_9 | I_{вб}A_4$; $A_9 \to I_{оч}A_{12} | I_{вч}A_6 | I_{вч}A_4$;

$A_{10} \to I_{вч}A_{11} | I_{вч}A_4$; $A_{11} \to I_{об}A_{13} | I_{вб}A_6 | I_{вб}A_4$;

$A_{12} \to I_{вч}A_6 | I_{вч}A_4$; $A_{13} \to I_{вб}A_6 | I_{вб}A_4$.

В характеристической схеме данной стохастической грамматики используются только регулярные продукции и обобщенные терминалы (типа I), которые соответствуют конкретному кодовому слову в стандарте Т.4. Продукции содержат нетерминалы, обозначаемые заглавными буквами А, соответствующими состояниям при переходах от кодовых слов различных длин и цветов в формате Т.4.

$\{G_{Ti4}^{(4)}\}$ – множества стохастических грамматик, моделирующих правила преобразования исходных двоичных символов равномерного или неравномерного кода в выходные последовательности символьных, растровых или блочных данных в соответствии с кодовыми стандартами.

Грамматики данного уровня имеют следующий вид:

$$G_{Ti4}^{(4)} = \langle S_{i4}^{(4)}, V_{Ni4}^{(4)}, \{V_{Ti4}^{(4)}\}, P_{i4}^{(4)} \rangle.$$

В этой стохастической грамматике множество терминалов соответствует исходным кодовым словам и декодированным последовательностям.

Множество продукций $R_{i5}^{(5)}$ имеет следующий вид:

$$A_{ki4}^{(4)} \to a_{ji4}^{(4)} b_{ji4}^{(4)} A_{fi4}^{(4)}, \text{ где } A_{ki4}^{(4)}, A_{fi4}^{(4)} \in V_{Ni4}^{(4)}, a_{ji4}^{(4)} \in V_{Твхi4}^{(4)}, b_{ji4}^{(4)} \in V_{Твыхi4}^{(4)}.$$

Стохастические грамматики $\{G_{i5}^{(5)}\}$ моделируют в рекурсивной форме допускаемые правила генерации исходных двоичных символов для терминалов (в первую очередь префиксных кодовых слов) всех вышележащих уровней в соответствии с кодовыми стандартами.

В стохастической схеме метаграмматики $W_{ПКД}$ правила согласования TS(1) задают порядок декомпозиции терминалов грамматик верхнего уровня на цепочки, порождаемые грамматиками нижних уровней МГ. С помощью TP(4) правил согласования задается порядок данной декомпозиции. TS(3) правила согласования определяют переходы от терминалов к начальным символам грамматик нижележащих уровней.

Путем комбинированного использования в схеме $W_{ПКД}$ правил согласования TS(I), TS(3) и TP(4) в разработанной модели, в отличие от известных, возможна спецификация более сложных кодовых конструкций с использованием в МГ регулярных грамматик. В случае использования для этих целей обычных формальных грамматик необходимы более сложные и громоздкие модели на основе грамматик, непосредственно составляющихся по классификации Хомского [25].

Также в модели при разделении на уровни и исключении повторного использования продукционных правил существенно упрощается ее модификация при необходимости учета структурных особенностей новых префиксных кодовых стандартов, исключается дублирование продукций, что для рассматриваемого случая снижает более чем в 2,3 раза число продукций по сравнению с аналогичной одноуровневой грамматикой.

В целом проведенные оценки числа продукций в модели и ее сложности (по Хомскому) позволили сделать вывод, что применение МГ создает необходимые предпосылки для создания более эффективных (в плане снижения временной сложности) алгоритмов декодирования ПКД рассмотренных выше классов.

Выводы

1. С целью создания формальной основы разработки алгоритмов декодирования ПКД разработана их модель в виде стохастической регулярной метагармматики, отличающаяся использованием стохастических продукций и правил согласования и позволившая в компактной форме задать основные правила формирования структур ПКД основных классов.

2. Применение предложенной стохастической метаграмматической модели позволяет снизить до регулярной (класс 3) сложность используемых грамматик по Хомскому.

3. Проведенный анализ показал, что применение стохастической МГ позволяет создать качественно новый алгоритм декодирования ПКД, учитывающий помимо структурных особенностей кодовых схем также и текущие значения частот встречаемости кодовых слов при их поиске в локально-префиксных кодовых таблицах рассматриваемых кодов. Это создает необходимые предпосылки для создания более быстродействующего алгоритма декодирования ПКД основных классов, используемых в СОБМ РД.

Список литературы

1. Формальные грамматики, метаграмматики и грамматические структуры. Их применение при принятии управленческих решений / О.И. Атакищев, С.С. Аджемов, С.Г. Емельянов [и др]. – М.: Изд-во МТУСИ, 2010. – 345 с.

2. Атакищев О.И. Метаграмматики и особенности их применения для формального описания сигналов и протоколов документальных служб связи и передачи данных. – Ч. 1. Метаграмматики. Основные понятия и определения // Телекоммуникации. – 2001. – № 10.

3. Атакищев О.И. Метаграмматики и особенности их применения для формального описания сигналов и протоколов документальных служб связи и передачи данных. – Ч. 2. Классификация метаграмматик // Телекоммуникации. – 2001. – № 12. – С. 2 – 8.

4. Атакищев О.И., Медведев Г.Н., Варганов А. В. Особенности кодирования цифровых факсимильных сообщений. – Ч. 1. Схемы кодирования цифровых факсимильных сообщений. Особенности схем кодирования двухградационных изображений // Телекоммуникации. – 2001. – № 11. – С. 11–15.

5. Атакищев О.И., Медведев Г.Н., Варганов А.В. Особенности кодирования цифровых факсимильных сообщений. – Ч. 2. Схемы кодирования цветных и полутоновых изображений JPEG и JPEG2000 // Телекоммуникации. – 2001. – № 12. – С. 21–28.

6. Атакищев А.О. Метаграмматическая модель кодированных телематических данных // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – № 3 (48). – С. 49–52.

7. Емельянов С.Г., Атакищев, А.О. Основные особенности форматов кодирования телематических данных // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – № 3 (48). – С. 52–58.

8. Атакищев А.О., Николаев А.В., Белов А.В. Использование квадродеревьев в динамических электронных фотокартах // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 6 (39)-2. – С. 36–40.

9. Продукционные сети как модели генерации и анализа вариантов принимаемых управленческих решений / А.О. Атакищев [и др.] // T•COMM Телекоммуникации и транспорт. – 2008. – № 4. – С. 23–24.

10. Применение контекстно-свободных грамматик для обработки текстов на естественном языке / А.О. Атакищев [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2012. – № 2-1. – С. 97–100.

11. Продукционная машина-генератор для обработки символьных данных дискретных объектов / А.О. Атакищев [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2012. – № 2-1. – С. 111–115.

12. Эталонная модель двойственно-атрибутной транслирующей метаграмматики и структурно-лингвистический способ обработки сложноорганизованных данных / И.В.Атакищева, С.Г. Емельянов, В.Ю.Мудрик [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Серия

Технологическая систематика. – Вып.14. – 2006. – С. 24–28.

13. Городецкий В.И., Дрожжин В.В., Юсупов Р.М. Многоуровневые атрибутные грамматики для моделирования сложных структурно-динамических систем // Изв. АН СССР. Серия: Техническая кибернетика. – 1986. – №1. – С. 165.

14. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. – 270 с.

15. Структурно-лингвистическая модель неравномерных префиксных кодов, используемых для передачи документальной информации / Н.И. Занун, О.И. Атакищев [и др.] // Т•С О М М Телекоммуникации и транспорт. – 2010. – № 11. – С. 15–17.

16. Искусственный интеллект: справочник / под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990.

17. Костогрызов А.И., Безкоровайный М.М., Львов В.М. Инструментально-моделирующий комплекс оценки качества функционирования информационных систем «КОК». – М.: «Вооружение. Политика. Конверсия», 2001. – 304 с.

18. Вариант выбора поиска признаков при общей классификации методов поиска / О.И Атакищев, Е.М. Атакищева, А.О. Атакищев, А.О. Атакищев // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2014. – № 3 (54). – С. 23–30.

19. Атакищев О.И, Атакищева И.В., Атакищев А.О. Особенности применения структурно-лингвистических методов при автоматизированном обучении иностранным языкам // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – № 6 (51)-1. – С. 224–232.

20. Костогрызов А.И., Атакищев О.И. Метаграмматический метод поиска в больших массивах разнородной информации // Современные тенденции в образовании и науке. – Тамбов, 2014. – Ч. 1. – С. 69.

Получено 18.03.15

A.O. Atakishchev, Junior Researcher, SFC «Center-Capital» (e-mail: 1993alexandr@gmail.com)

METAGRAMMAR MODEL OF PREFIX CODED DATA

The article is devoted to development metagrammar model for decoding of main formats of prefix coded data.
***Key words**: encoding, irregular prefix codes, formal grammar, metagrammar*

УДК 004.031.42

И.В. Прохоров, канд. техн. наук, доцент, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ (Москва) (e-mail: ivprokhorov@mephi.ru)

А.Э. Мысев, аспирант, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ (Москва) (e-mail: almys@mail.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, ОСНОВАННЫХ НА ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЯХ

В статье рассматриваются существующие алгоритмы рекомендательных систем, основанные на вероятностной методологии моделирования. На основе эмпирического анализа алгоритмов делается вывод о важности учета дополнительной контекстуальной информации для повышения качества рекомендаций.

***Ключевые слова**: рекомендательная система, коллаборативная фильтрация, вероятностная модель, фактор.*

***

Введение

Рекомендательные системы – тип систем, которые предоставляют пользователям персонифицированные рекомендации по объектам, которые могли бы их заинтересовать, например товары или услуги. В настоящее время такие системы становятся востребованными, так как по причине растущего объема информации в сети «Интернет» пользователям не всегда представляется возможным найти необходимую информацию в кратчайшие сроки. Используя возможности рекомендательных систем, пользователи тратят значительно меньше времени на поиск определенного товара или услуги [1].

Основным механизмом определения предпочтений пользователя обычно являются рейтинги или оценки, которые пользователь в прошлом поставил товару или услуге. Задача рекомендательных систем в широко используемой формулировке [2] состоит в моделировании агрегатной функции F, которая прогнозирует рейтинг $\hat{r}_{u,i}$ – неизвестного рейтинга $r_{u,i}$, где $u \in U$ – пользователь, а $i \in I$ – товар:

$$F: U \times I \rightarrow R, \quad (1)$$

где R – упорядоченный список допустимых значений рейтинга.

Существует три основные категории рекомендательных систем:

– основанные на фильтрации содержимого (*content-based, CB*);

– коллаборативные (*collaborative, CF*);

– гибридные (*hybrid*) [1].

При фильтрации содержимого построение рекомендаций основывается на характеристиках объекта и оценок пользователем этого объекта.

При коллаборативной фильтрации рекомендации строятся на основе близости оценок других пользователей оценкам рассматриваемого пользователя.

При гибридной фильтрации чаще всего комбинируются данные методы.

По классификации рекомендательных систем также различают системы с эвристическим подходом (memory-based) или же с модельным подходом (model-based) [2]. Эвристические подходы напрямую используют исходный набор оценок пользователей для прогнозирования, в модельных подходах на основе исходных данных сначала строится модель, затем по ней строится прогноз.

В случае если при рекомендации учитываются данные о контексте (время года, место, погода), то задача рекомендательных систем расширяется путем ввода дополнительного измерения C [2]:

$$F: U \times I \times C \rightarrow R.$$

Рекомендательные системы, учитывающие контекст, называются CARS (context-aware recommender systems), на них и сфокусировано наше исследование.

Методологии моделирования

По классификации [3] различают 8 основных методологий моделирования проблемной области.

Модели коллаборативной фильтрации относятся к memory-based алгоритмам, которые на предварительном этапе не создают модель для будущих запросов. Они создают матрицы отношений и соотносят каждую сущность друг с другом так же, как и на тренировочной выборке, с помощью методов классификации или кластеризации.

Модели факторизации уменьшают размер исходной матрицы или тензора на частичные матрицы, чтобы ускорить скорость вычислений.

Модели произвольных шагов «оценивают» граф в *n*-шагов, чтобы оценить вероятность перехода исходного узла к другому узлу.

Гибридным моделям уделяют особое внимание, так как они являются довольно гибкими, из-за того что позволяют исследователям комбинировать все представленные методологии.

Семантические модели используют онтологии для моделирования проблемы.

В частности, данные в каждом наследуемом узле наследуются узлами нижних уровней. Эта информация дополняет знание о сущностях и сокращает время вычислений.

Вероятностные модели определяют класс сущностей, которые назначают вероятность каждой из них индивидуально. Существует три основных подхода. Во-первых, вероятностное распределение показывает вероятность каждого поднабора выходных данных исходного набора данных. Во-вторых, они включают методы машинного обучения, которые подразделяются на искусственные нейронные сети и метод опорных векторов. Третья модель – вероятностная графическая модель, которая состоит из марковской сети, скрытой марковской модели, байесовской модели и стохастических грамматик.

Модели классификации определяют категорию, к которой относится наблюдаемая величина, и используют «тренировочный набор» данных, где категории уже известны.

Модели кластеризации похожи на модели классификации, различие между ними состоит в том, что заранее неизвестно количество категорий.

Вероятностная методология моделирования

Все рассматриваемые алгоритмы основаны на вероятностной методологии моделирования.

Сравнение алгоритмов по характеристикам

Сравнение представленных ниже алгоритмов будет проводиться по следующим характеристикам: персонализация, тип рекомендации, контекстные факторы, модели представления данных. Все рассматриваемые алгоритмы представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики алгоритмов

Алгоритм	Персонализация		Тип рекомендации	Контекстные факторы			Модели представления данных			
	Общая	Персональная		Время	Место	Профиль	Матричные	Графовые	Тензорные	Гибрид бридные
LRT[4]	-	+	Места	+	+	-	+	-	-	-
UTE[5]	-	+	Места	+	+	+	-	-	+	-
FLAME[6]	-	+	Рецензии	-	-	+	+	-	-	-
gSCorr[7]	-	+	Места	+	+	-	-	-	-	+
NPM[8]	-	+	Документы	-	-	+	-	-	-	+
PMDA[9]	-	+	Фильмы	+	-	+	-	+	-	-
PPM[10]	-	+	Фильмы	-	-	+	-	-	-	+
LDAM[11]	-	+	Фильмы	-	-	+	-	+	-	-

Первая представленная характеристика – тип персонализации. Он называется общим, если не учитываются прошлые действия пользователя. Например, пользователю будет рекомендоваться самая высокая по рейтингу достопримечательность, рядом с которой он в данный момент находится. В случае персональных рекомендаций система порекомендует ему ту достопримечательность, где, например, в недавнее время были его друзья или коллеги, если в его профиле имеются данные о связи с ними.

Вторая характеристика – тип рекомендации. Почти все рассмотренные алгоритмы рекомендуют пользователю место для посещения или фильмы для просмотра.

Третья характеристика – контекстные факторы, используемые в про-

цессе рекомендации. Первым из них является время. Такие параметры, как время дня, день недели, сезон года, довольно просто собирать для последующего анализа, так как почти любая информационная система способна хранить данные о периодах времени [3]. Рекомендательные системы, учитывающие время, называются TARS (time-aware recommender systems). Время может быть представлено по-разному, например как переменная, принимающая определенные значения (пользователь оценил товар 1 января 2010 года в 00:00:00) или категория, относящаяся к важному в контексте периоду времени (теплый/холодный сезон).

Обычно TARS используют временные данные о явных оценках пользователя, однако можно принимать во внимание, например, данные о добавления товара в каталог системы, время регистрации пользователя в системе и т.д. Можно определить некоторую функцию $t(c)$ как время, связанное с событием *c*. Время является одним из важнейших контекстных факторов, так как исследования [1, 3] подтверждают, что учет фактора времени может повысить качество рекомендаций. Под фактором «место» имеется ввиду местонахождение пользователя. Информация о профилях пользователей также широко используется и повышает точность рекомендаций.

Последняя характеристика – представление данных. В рассмотренных работах представлены следующие модели для представления данных [1] – матричные, графовые, тензорные и гибридные. Матричные, тензорные и графовые модели популярны, но реже используются исследователями в области контекстных рекомендательных систем. Чаще всего в этой области используются гибридные модели.

Анализ алгоритмов

Алгоритм LRT [4] учитывает временные свойства поведения пользователя в социальных сетях для рекомендации места проведения досуга. Алгоритм основан на факторизации матрицы, использует данные о местоположении пользователя. Сначала исходная матрица C декомпозируется на T подматриц в соответствии с T временных состояний. Затем C_t декомпозируется в предпочтение пользователя U_t и характеристики места L. В итоге строится низкоранговое приближение $\tilde{C}_t$ и агрегируется в $\tilde{C}$, что представляет предпочтения пользователя для каждого местоположения. LRT на 14% эффективнее обычной коллаборативной фильтрации.

Алгоритм UTE [5] используется для рекомендации достопримечательностей также на основе текущего местоположения пользователя и фактора времени. Помимо этих факторов при расчетах учитывается профиль пользователя. Исследование показали улучшение результатов прогноза на 37% по сравнению с обычной коллаборативной фильтрацией.

Основа алгоритма FLAME [6] – извлечение рейтингов из текста рецензий и прогноз оценки элемента, который пользователь еще не оценил, на основе оценок пользователей с похожими предпочтениями. Как и в LRT, используется факторизация матрицы. Проведение экспериментов на наборах данных TripAdvisor и Yelp показали улучшение точности в среднем на 8.3%.

Первоочередной задачей gSCorr [7] является решение проблемы холодного старта для рекомендации еще неоцененных достопримечательностей. Представленная геосоциальная корреляционная модель увеличила точность рекомендаций на 10% по сравнению с классической.

Алгоритм NPM [8] строит модель искусственной нейронной сети, которая вычисляет вероятность цитирования статьи, учитывая контекст цитаты. На наборе данных CiteSeer по сравнению с классическими алгоритмами увеличена точность рекомендаций в среднем на 7,4%.

PMDA – алгоритм [9] построен на марковских моделях, так как необходимо

учитывать информацию о порядке покупок пользователя. Представленный алгоритм показал на 12% лучше результат, чем классическая коллаборативная фильтрация.

Алгоритм PPM [10] построен на классической вероятностной модели. Статистические тесты показали увеличение точности на 7%.

Для алгоритма LDAM [11] помимо вероятностной модели используется латентное размещение Дирихле. Экспериментальные результаты на наборах данных MovieLens и Netflix показывают в среднем 14,2% увеличение точности.

Выводы

На данный момент в области рекомендательных систем растет тенденция к увеличению числа учитываемых контекстных параметров при построении модели. При этом увеличивается точность рекомендаций, но также растет и время, требуемое на обработку всех параметров. Всё больше исследователей переходят на разработку гибридных моделей, стараясь минимизировать недостатки «чистых» моделей.

Алгоритмы, учитывающие информацию о профиле пользователя и основанные на тензорной или гибридной модели представления данных, показывают значительно лучшие результаты, чем алгоритмы, построенные на матричной или графовой модели.

Заключение

Были исследованы алгоритмы, основанные на вероятностных моделях. Вероятностные модели хорошо себя показывают при создании рекомендательных систем, учитывающих контекстуальную информацию, такую как время, местонахождение, профиль пользователя, погода, поэтому часто используются многими исследователями в данной области. В дальнейшем планируется разработка алгоритмов, основанных на гибридном подходе, анализ их точности по отношению к скорости работы, что является немаловажным фактором в построении эффективной рекомендательной системы.

Список литературы

1. Francesco Ricci, Lior Rokach, Bracha Shapira, Paul B. Kantor. Recommender Systems Handbook. Springer Science + Business Media, LLC, 2011.

2. Adomavicius G., Tuzhilin A. Toward the next generation of recommender systems // A survey of the state-of-the-art and possible extensions. Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on, 2005.

3. Pedro G. Campos, Fernando Diez, Ivan Cantador. Time-aware recommender systems: a comprehensive survey and analysis of existing evaluation protocols. Springer Science + Business Media, 2013.

4. Huiji Gao, Jiliang Tang, Xia Hu, Huan Liu. Exploring Temporal Effects for Location Recommendation on Location-Based Social Networks. Computer Science and Engineering, Arizona State University, Tempe, AZ, USA, 2013.

5. Quan Yuan, Gao Cong, Zongyang Ma, Aixin Sun, Nadia Magnenat-Thalmann. Proceedings of the 36th international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. – 2013. – P. 363-372.

6. Yao Wu, Martin Ester. FLAME: A Probabilistic Model Combining Aspect Based Opinion Mining and Collaborative Filtering. School of Computing Science, Simon Fraser University, Canada, 2015.

7. Huoji Gao, Jiliang Tang, Huan Liu. Adressing the Cold-Start Problem in Location Recommendation Using Geo-Social Correlations. Data Mining and Knowledge Discovery, 2014.

8. Wenyi Huang, Zhaohui Wu, Chen Liang, Prasenjit Mitra, C. Lee Giles. A Neural Probabilistic Model for Context Based Citation Recommendation. personal.psu.edu, 2015.

9. Amin Javari, Mahdi Jalili. A probabilistic model to resolve diversity-accurace challenge of recommendation systems. Knowledge and Information Systems, 2014.

10. Javier A. Kreiner, Eitan Abraham. Recommender System Based on Purely Probabilistic Model from Pooled Sequence Statistics. informatik.rwth-aachen.de, 2011.

11. WenBo Xie, Qiang Dong, Hui Gao. A Probabilistic Recommendation Method Inspired by Latent Dirichlet Allocation Model // Mathematical Problems in Engineering. – 2014. – Vol. 10. – P. 10.

Получено 10.03.15

I.V. Prokhorov, Candidate of Sciences, Associate Professor, National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute) (e-mail: ivprokhorov@mephi.ru)

A.E. Mysev, Post-Graduate Student, National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute) (e-mail: almys@mail.ru)

RESEARCH ON RECOMMENDER SYSTEMS ALGORITHMS BASED ON PROBABILISTIC MODELS

The article deals with the existing algorithms of recommender systems based on probabilistic modeling methodology. Based on the analysis of algorithms, it is concluded on the importance of taking into account additional contextual information to improve the quality of recommendations.

***Key words**: recommender system, algorithm, collaborative filtering, probability model.*

УДК 004.89

С.Н. Фролов, начальник центра разработки специального программного обеспечения, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: snfrolov@bk.ru)

Бермудес С. Хосе Г., аспирант, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета (Таганрог) (e-mail: jbermudesoto@gmail.com)

ОБРАБОТКА ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА В ДИСТАНЦИОННОМ ОБРАЗОВАНИИ

Проанализированы проблемы формализации и обработки естественного языка в дистанционном образовании, сформулирован подход к анализу естественно-языковых текстов, предложена концептуальная схема лингвистического процессора, обеспечивающего формализацию текстов, и концептуальная модель обработки текстовой информации в системах дистанционного образования.

***Ключевые слова**: дистанционное обучение, естественный язык, системы дистанционного обучения, лингвистический процессор.*

***

Задача обработки естественного языка при помощи ЭВМ с каждым днем становится все актуальней и актуальней. Развитие научно-технического прогресса во всем мире привело к тому, что объем новой информации постоянно растет со стремительно увеличивающейся скоростью. Человек во многих случаях становится не в состоянии самостоятельно переработать всю необходимую для его профессиональной деятельности информацию. И тогда компьютерные системы, использующие новейшие алгоритмы обработки естественного языка (ЕЯ), могут оказать ему реальную помощь.

Стремительное развитие компьютерных и информационных технологий естественным образом отразились и на системе образования. Возможности, которые появились благодаря внедрению передовых сетевых технологий (Internet-технологий), послужили поводом для начала серьезных проектов, связанных с новым типом обучения – дистанционным обучением (ДО).

Современные системы дистанционного обучения (СДО) включают в себя технологии: мультимедиа, интернет-технологии – форумы, интерактивные дискуссии, доски объявлений, электронные библиотеки и другие.

Достижения в области искусственного интеллекта позволили создавать системы дистанционного обучения нового поколения с диалоговым общением на ЕЯ, выполняющие следующие функции:

1. Система общается с обучаемым через анимированного преподавателя, отображаемого на дисплее компьютера, говорящего не ЕЯ. Кроме того, система следит за мимикой обучаемого и реагирует на его поведение.

2. Система имитирует поведение преподавателя, формулирует последовательность вопросов в зависимости от точности ответов обучаемого в естественно-языковой форме на предыдущие вопросы.

3. Система автоматически адаптирует стратегию обучения с учетом индивидуальных особенностей обучаемого, а также результатов входного и текущего контроля его знаний.

4. Система указывает, что именно неправильно или неполно освещено и какие отсутствующие или неверные знания ответственны за ошибку.

5. Система оказывает поэтапную помощь и подсказку обучаемому по его желанию в процессе его обучения [1].

Проведенный авторами анализ показал, что ведущие производители систем СДО, таких как Moodle, AutoTutor, iSTART, Rimac, Robo-Sensei, сталкиваются с проблемами формализации и обработки естественного языка в дистанционном образовании [2-6].

К сожалению, решение проблемы автоматизированного понимания текста не может быть представлено совокупностью отдельных решенных задач, они могут лишь являться модулями единой системы, степень зависимости друг от друга которых характеризуется подчиненностью их работы общему замыслу.

Обучаемый, общаясь с СДО, объясняется с ней на «своем» естественном языке. Интеллектуальная деятельность студента в СДО отображается и хранится в виде текста на ЕЯ, в котором отражаются индивидуальные особенности, такие как:

– многозначность, порождающая неопределенность;

– разнообразие форм выражения мысли;

– противоречивость трактовки и отношения к описываемой ситуации, событию, явлению и т. д.;

– многофакторность, параллельность (наличие скрытого смыслового контекста);

– сложность и многоплановость представления, мыслей, наблюдений и фактов;

– многоязыковость,

– недосказанность, недоопределенность;

– контекстная привязанность;

– изменчивость смысла слова с течением времени.

Все эти особенности являются препятствиями на пути формализации естественного языка и причиной ограничений на решение проблемы «глубинного» анализа текста на основе доступных в настоящее время знаний.

Вышеизложенное привело авторов к мысли поставить вопрос об анализе текста в СДО в более широком аспекте и предложить подход к построению универсальной системы автоматизированного анализа текста.

В связи с тем, что популярность дистанционного образования растет с каждым годом, владельцы СДО сталкиваются с ростом объема обрабатываемой информации, что неминуемо ведет к нелинейному увеличению времени обработки. Поэтому, по мнению авторов, необходим как продуманный общий алгоритм анализа текстов и накопления результатов обработки, так и максимальная оптимизация каждого отдельно взятого алгоритма анализа конкретного текста.

Кроме того, важно не потерять и правильно понять каждый элемент текста. Особенно это важно в случаях, когда невозможно получение однозначного ответа на конкретном этапе анализа. Необходимо допустить фиксацию неопределенных ответов, что позволит сохранить всю информацию и нормально завершать работу отдельно взятого блока системы [7].

Исходя из этого был сформулирован концептуальный подход, определяющий следующие требования к системе обработки текстовой информации (табл.).

Также для реализации СДО с диалоговым общением на ЕЯ необходимо прежде всего решить задачу преобразования языка (русского, испанского) в формализованный [1], подобный языку программирования. Задачи, которые необходимо решить, представлены на рисунке 1.

Требования к системе обработки текстовой информации

Допустимость третьего логического состояния – неопределенности	Позволяет учитывать особенность естественного языка и отражать неоднозность языковых конструкций
Открытость, повышающая объективность анализа результатов	Предполагает возможность коллективных работ, обмена опытом на базе открытости для пользователя структуры системы, форматов данных и всех тех элементов, которые напрямую определяют алгоритмы анализа текста
Параллельность обработки для увеличения скорости при наличии свободных ресурсов	Основой параллельности является унификация всех используемых структур. Кроме этого параллельность в конечном итоге предполагает сведение в единую структуру полученных результатов за счет использования разрабатываемых операций анализа и обобщения результатов
Масштабируемость для расширения возможностей системы	Расширение и замена модулей не должны затрагивать базовой основы системы
Многоуровневость и многоэтапность	Как средство поддержки разбиения обработки текста на отдельные шаги и уровни

Для решения задач, представленных на рисунке 1, авторами предложена концептуальная схема лингвистического процессора (ЛП), обеспечивающего формализацию русскоязычных текстов (рис. 2).

ЛП выполняет роль посредника между обучаемым и базой знаний СДО, в которой хранится интересующая его информация. Задачей ЛП является преобразование естественно-языкового предложения (или даже целого текста) в некоторый набор семантических структур, являющихся формальным представлением «смысла» исходного предложения или текста.

Кроме того, авторами предлагается модель системы анализа текста в СДО (рис. 3), в которой имеются три направления обработки: лингвистическое (лингвистические методы обработки); статистическое (статистические методы обработки); аналитическое (операции над результатами).

Такая схема обработки возможна как со стороны средств СДО [8], так и со стороны обучаемого, который может воспользоваться как базовыми инструментами, так и своими собственными либо их комбинацией. Средой объединения является система хранения, которая предполагает хранение промежуточных и окончательных данных и инструментов, предназначенных для анализа текста. Инструменты могут представлять собой наборы операций, отдельных процедур и трансляторов, специализирующихся на создании алгоритмов текстовой обработки. Новым направлением анализа текста является введение операций анализа и обобщения результатов обработки, которые позволяют обеспечить параллельность обработки и сбора получаемых результатов в один пул информации и являются основой анализа полученных лингвистическо-статистических материалов под выбранным углом зрения.

Рис. 1. Решаемые научно-технические задачи
для преобразования языка в формализованный

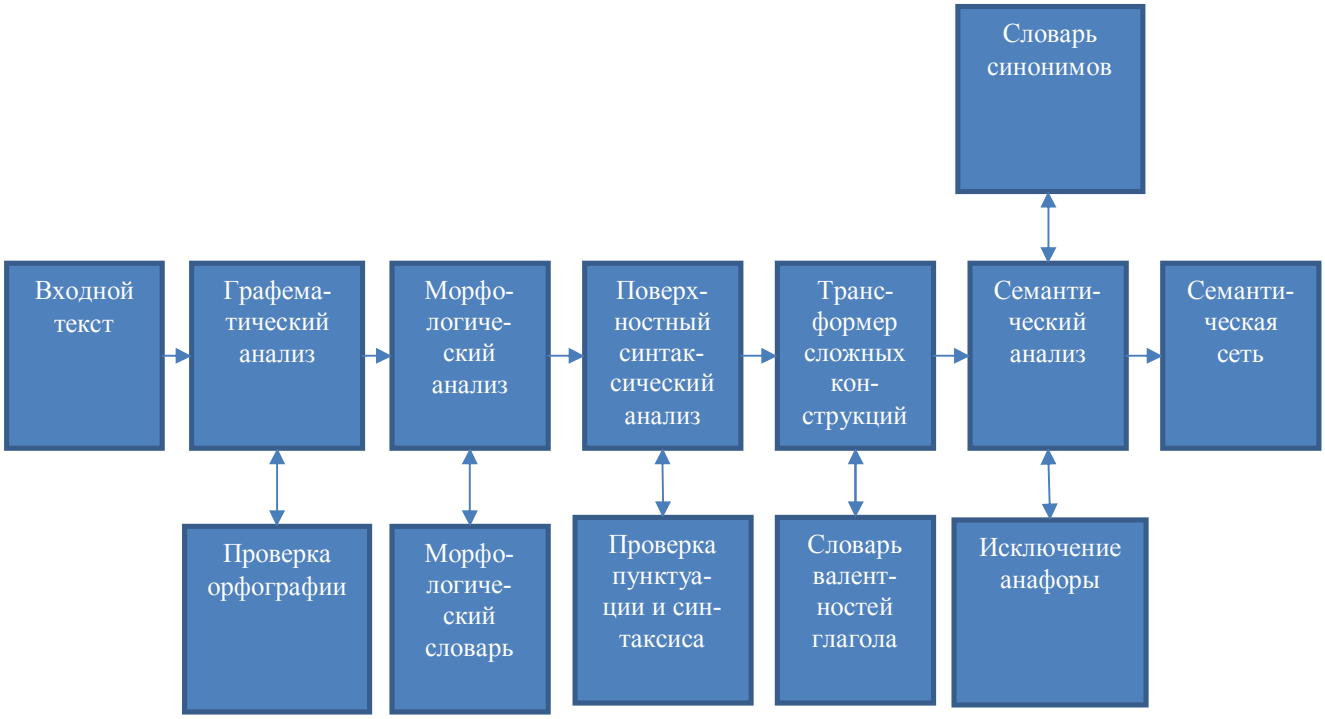


Рис. 2. Концептуальная схема лингвистического процессора

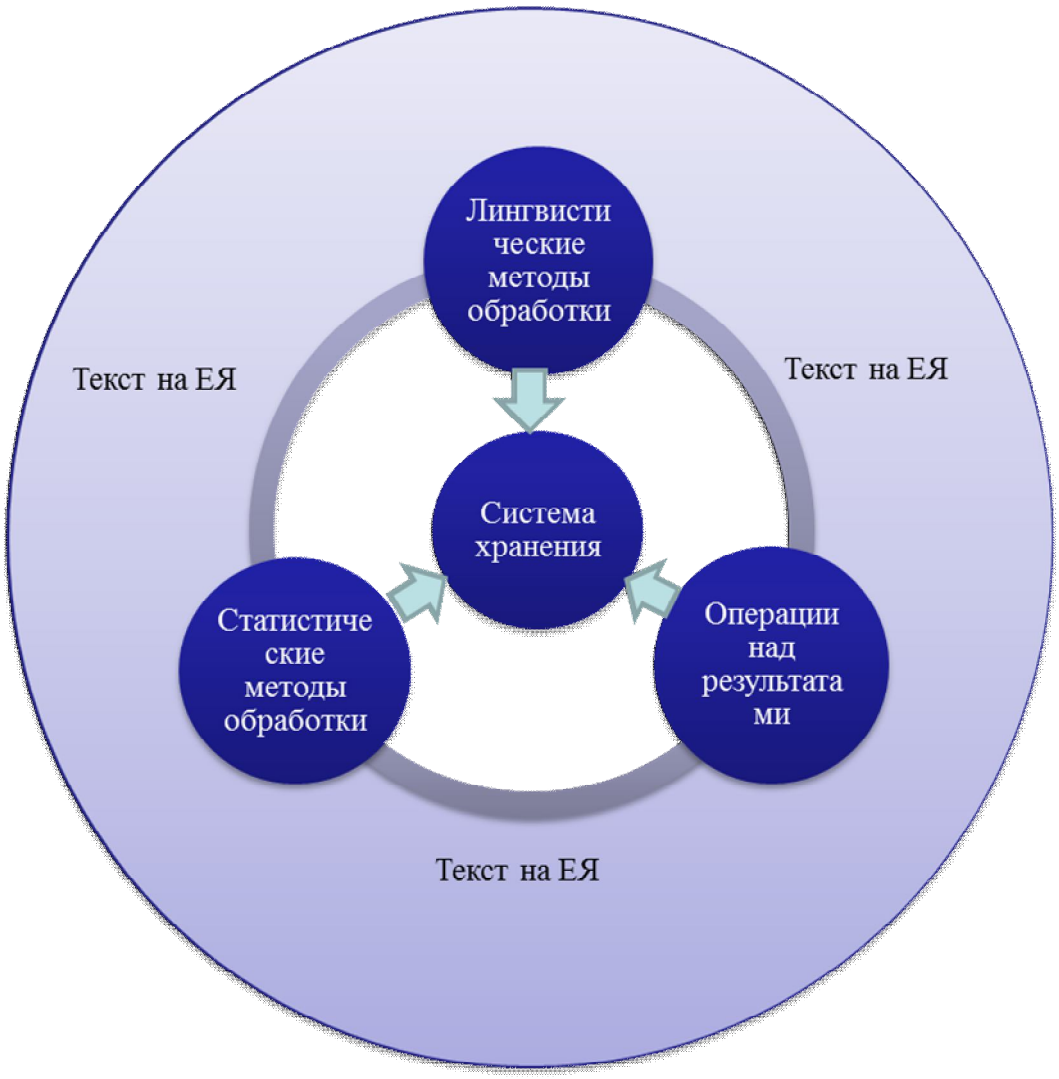


Рис. 3. Модель системы анализа текста в СДО

Конечной целью обработки текстовой информации лекционного материала и ответа обучаемого является оценка правильности ответа обучаемого на русском языке на поставленные интеллектуальной системой вопросы. Правильность и глубина ответа определяются системой путем вычисления степени семантической близости ответов обучаемых к лекционным материалам, являющихся эталоном [1]. В случае частичного раскрытия темы в ответе на сформулированный системой вопрос по конкретному разделу лекционного материала система автоматически генерирует дополнительные вопросы по данному разделу. Интегральная оценка знаний по данному разделу лекции будет складываться из оценки ответа на основной вопрос и оценок ответов на дополнительные вопросы с учетом их весовых коэффициентов.

Предложенный авторами подход, концептуальная схема лингвистического процессора и модель системы анализа текста позволят существенно облегчить формализацию и обработку больших объемов информации за приемлемое время и снизить количество ошибок, что для СДО очень важно, ввиду того что повышается качество и эффективность усвоения знаний обучаемого.

Список литературы

1. Савинов А.П., Петровская Т.С., Фирстов Д. И. Интеллектуализация обучающей системы Moodle позволит про-

длить срок ее эксплуатации в вузах // Высшее образование сегодня – 2014. – № 9. – С. 15-21

2. Woo C.W. An intelligent tutoring system that generates a natural language dialogue using dynamic multi-level planning // Artificial intelligence in medicine. – 2006. – Т. 38, № 1. – С. 25-46.

3. Graesser A.C. AutoTutor: A tutor with dialogue in natural language // Behavior Research Methods, Instruments, & Computers. – 2004. – Т. 36, № 2. – С. 180-192.

4. McNamara D.S. iSTART: Interactive strategy training for active reading and thinking // Behavior Research Methods, Instruments, & Computers. – 2004. – Т. 36, № 2. – С. 222-233.

5. Jordan P. Eliciting student explanations during tutorial dialogue for the purpose of providing formative feedback // Proceedings of the Workshops at the 16th International Conference on Artificial Intelligence in Education AIED 2013. – Memphis, USA, July 9-13, 2013. – P. 8.

6. Nagata N. Robo-Sensei's NLP-Based Error Detection and Feedback Generation // CALICO Journal. – 2009. – Т. 26, № 3. – С. 562-579.

7. Балакирев Н. Е., Гирин Б. Б. Основные концепции языка описания алгоритмов анализа естественно-языкового текста // Информационные технологии. – 2008. – № 9. – С. 42—47.

8. Серебровский В.В., Ткаченко А.В., Ткаченко А.И. Инновационные технологии в образовании: обучение по индивидуальной траектории // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – № 1 (46). – С. 26-31.

Получено 10.02.15

S.N. Frolov, chief of center of development of the special software, Southwest State University (Kursk) (e-mail: snfrolov@bk.ru)

Bermudes S. José G., Post-Graduate Student, Institute of Computer technologies and information safety Southern Federal University (Taganrog) (e-mail: jbermudesoto@gmail.com)

NATURAL LANGUAGE PROCESSING IN DISTANT EDUCATION

Problems of formalization and natural language processing in distant education are analyzed, approach to the analysis of natural language texts is formulated, the conceptual diagram of the linguistic processor providing formalization of texts and conceptual model of processing of text information in systems of distant education is offered.

***Key words**: distant education, natural language, systems of distant education, linguistic processor.*

УДК 517.9+519.216.2

Е. Ю. Машков, аспирант, ФГБОУ ВПО «Курский государственный университет» (e-mail: mashkovevgen@yandex.ru)

СИНГУЛЯРНЫЕ СТОХАСТИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ ЛЕОНТЬЕВСКОГО ТИПА С ИМПУЛЬСНЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

Изучается стохастическое уравнение леонтьевского типа с сингулярным пучком постоянных матриц коэффициентов и импульсными воздействиями в правой части. Основным результатом статьи являются аналитические формулы для решений рассматриваемого уравнения в терминах производных в среднем случайных процессов.

***Ключевые слова**: производная в среднем, текущая скорость, винеровский процесс, уравнение леонтьевского типа.*

***

Введение

Рассматривается специальная система стохастических дифференциальных уравнений в форме Ито вида

$$d\tilde{L}\xi(t) = \tilde{M}\xi(t)dt + f(t)dt + dS\zeta(t) + \Lambda d\tilde{w}(t),$$

где $0 \le t \le T$, $\tilde{M} + \lambda\tilde{L}$ – сингулярный пучок матриц размера $n \times m$;

$\xi(t)$ – искомый случайный процесс;

$\tilde{w}(t)$ – винеровский процесс в R^n;

Λ – невырожденная матрица размером $n \times n$;

$f(t)$ – достаточно гладкая n-мерная вектор-функция, принимающая в нуле нулевое значение со всеми своими производными;

$\zeta(t)$ – n-мерный процесс скачков;

S – $n \times n$-матрица.

Отправной точкой для данной статьи послужила работа [1], в которой данная система рассматривается с регулярным пучком матриц коэффициентов.

Особенность стохастических уравнений леонтьевского типа предполагает рассматривать производные высших порядков от правой части (в том числе и винеровского процесса). Производные винеровского процесса существуют только в смысле обобщенных функций, которые крайне трудны для использования в конкретных уравнениях. Это обстоятельство делает прямое исследование нашего уравнения сложным.

Предлагаемый в настоящей работе метод исследования (как и в [2]) данного уравнения основан на применении аппарата производных в среднем по Нельсону от случайных процессов, для описания которых не использованы обобщенные функции. А именно мы применяем симметрические производные в среднем (текущие скорости) винеровского процесса. Текущие скорости, в соответствии с общей идеологией теории производных в среднем по Нельсону, являются естественными аналогами физической скорости детерминированных процессов. В результате для изучаемого уравнения мы получаем физически осмысленные формулы для решений в терминах симметрических производных в среднем случайных процессов.

Производные в среднем случайных процессов

Рассмотрим стохастический процесс $\xi(t)$ в R^n, $t \in [0, l]$, определенный на некотором вероятностном пространстве (Ω, F, P), такой, что $\xi(t)$ является L_1-случайной величиной для всех t. Известно [3], что каждый такой процесс порождает семейство σ-подалгебр σ-алгебры F "настоящее" N_t^ξ, которое будем считать полным, то есть пополненным всеми множествами вероятности нуль.

Ради удобства мы обозначаем условное математическое ожидание

$E(\cdot \mid N_t^\xi)$ относительно "настоящего" N_t^ξ для $\xi(t)$ через E_t^ξ. Обычное ("безусловное") математическое ожидание обозначается символом E.

Вообще говоря, почти все выборочные траектории процесса $\xi(t)$ не дифференцируемы, так что его производные существуют только в смысле обобщенных функций. Чтобы избежать использования обобщенных функций, согласно Нельсону даем следующее определение:

Определение 1 [3]. *(i) производная в среднем справа $D\xi(t)$ процесса $\xi(t)$ в момент времени t есть L_1-случайная величина вида*

$$D\xi(t) = \lim_{\Delta t \to +0} E_t^\xi \left(\frac{\xi(t+\Delta t) - \xi(t)}{\Delta t}\right),$$

где предел предполагается существующим в $L_1(\Omega, F, P)$ и $\Delta t \to +0$ означает, что Δt стремится к 0 и $\Delta t > 0$. (ii) Производная в среднем слева $D_*\xi(t)$ процесса $\xi(t)$ в момент времени t есть L_1-случайная величина

$$D_*\xi(t) = \lim_{\Delta t \to +0} E_t^\xi \left(\frac{\xi(t) - \xi(t-\Delta t)}{\Delta t}\right),$$

где (как и в (i)) предел предполагается существующим в $L_1(\Omega, F, P)$ *и* $\Delta t \to +0$ *означает, что* Δt *стремится к* 0 *и* $\Delta t > 0$.

Следует отметить, что, вообще говоря, $D\xi(t) \neq D_*\xi(t)$, но если, например, $\xi(t)$ почти наверное имеет гладкие выборочные траектории, эти производные очевидно совпадают.

Из свойств условного математического ожидания [4] следует, что $D\xi(t)$ и $D_*\xi(t)$ могут быть представлены как суперпозиции $\xi(t)$ и борелевских векторных полей (регрессий)

$$Y^0(t,x) = \lim_{\Delta t \to +0} E_t^{\xi}\left(\frac{\xi(t+\Delta t)-\xi(t)}{\Delta t} \mid \xi(t) = x\right),$$

$$Y_*^0(t,x) = \lim_{\Delta t \to +0} E_t^{\xi}\left(\frac{\xi(t)-\xi(t-\Delta t)}{\Delta t} \mid \xi(t) = x\right)$$

на R^n, то есть $D\xi(t) = Y^0(t,\xi(t))$ и $D_*\xi(t) = Y_*^0(t,\xi(t))$.

Определение 2 [3]. *Производная* $D_S = \frac{1}{2}(D + D_*)$ *называется симметрической производной в среднем.*

Рассмотрим векторное поле $v^{\xi}(t,x) = \frac{1}{2}(Y^0(t,x) + Y_*^0(t,x))$

Определение 3 [3].
$v^{\xi}(t) = v^{\xi}(t,\xi(t)) = D_S\xi(t)$ называется текущей скоростью процесса $\xi(t)$.

Определяющую роль в наших конструкциях играет винеровский процесс ([3]), который мы обозначим символом $w(t)$.

Лемма 4 [2, 3]. *Для* $t \in (0,l]$ *имеют место равенства*

$$Dw(t) = 0; D_*w(t) = \frac{w(t)}{t}; D_Sw(t) = \frac{w(t)}{2t}.$$

При целом $k \geq 2$

$$D_S^k w(t) = (-1)^{k-1}\frac{\prod_{i=1}^{k-1}(2i-1)}{2^k}\frac{w(t)}{t^k}.$$

О приведении к каноническому виду сингулярных стохастических уравнений леонтьевского типа

Как сказано во введениии, сингулярное стохастическое уравнение леонтьевского типа с импульсными воздействиями – это стохастическое дифференциальное уравнение в R^n вида

$$d\tilde{L}\xi(t) = \tilde{M}\xi(t)dt + f(t)dt + \\ + dS\zeta(t) + \Lambda d\tilde{w}(t), \qquad (1)$$

где все объекты, входящие в это уравнение, описаны во введении.

Кроме этого, здесь процесс скачков $\zeta(t) = \zeta(t,\omega)$ задается следующим образом:

$$\zeta(t,\omega) = \sum_{k=1}^{N}\tilde{\zeta}_k(\omega)\chi(t-t_k),$$
$$0 = t_0 < t_1 < \cdots < t_N < t_{N+1} = T,$$

где $\chi(t)$ – функция Хевисайда, равная нулю для отрицательных значений аргумента и единице – для положительных;

$\tilde{\zeta}_k(\omega)$ – случайные величины со значениями в R^n.

Из (1) понятно, что (для простоты) начальное условие для решения (1) предполагается следующего вида:

$$\xi(0,\omega) = 0. \qquad (2)$$

Скажем сразу, что выписанное ниже решение этому условию не удовлетворяет, более того, при $t = 0$ оно не определено. Оно представляет собой аппроксимацию решения процессами, которые удовлетворяют этому начальному условию, но становятся решениями лишь с некоторого (заранее заданного сколь угодно малого) момента времени $t_0 > 0$ (см. ниже).

Формулы для решений задачи (1), (2) будем искать среди случайных процессов $\xi(t,\omega)$, которые удовлетворяют (в том смысле как описывается ниже) стохастическим уравнениям

$$\tilde{L}\xi_k(t) = \tilde{M}\int_{t_k}^{t}\xi_k(s)ds + \int_{t_k}^{t} f(s)ds + \Lambda\tilde{w}(t),$$
$$t_k \le t \le t_{k+1},$$

при всех $k = 0,1,\ldots,N$, в точках t_k P-п. н. удовлетворяют равенствам

$$\tilde{L}\xi(t_k+0,\omega) - \tilde{L}\xi(t_k-0,\omega) = S\tilde{\zeta}_k(\omega),$$
$$k = 1,2,\ldots,N,$$

и в начальный момент времени $t_0 = 0$ P-п. н. удовлетворяют начальному условию (2).

Итак, процесс $\xi(t)$ для решения задачи (1), (2) определяется последовательно для $k = 0,1,\ldots,N$ через случайные процессы $\xi_k(t)$, которые удовлетворяют уравнениям:

$$\tilde{L}\xi_k(t) - \tilde{L}\xi_k(t_k) =$$
$$= \tilde{M}\int_{t_k}^{t}\xi_k(s)ds + \int_{t_k}^{t} f(s)ds + \Lambda\tilde{w}(t),$$

п. в. $t_k \le t \le t_{k+1}$, $\omega \in \Omega$, где

$$\xi_0(0) = 0,\ \tilde{L}\xi_k(t_k) = \tilde{L}\xi_{k-1}(t_k,\omega) + S\tilde{\zeta}_k(\omega),$$
$$k = 1,\ldots,N.$$

Как нетрудно видеть, уравнение (1) в общей форме неудобно для изучения, поэтому приведем его к некоторому каноническому виду, используя при этом метод, описанный в работе [2] для уравнений леонтьевского типа без процесса скачков в правой части. Для сингулярного пучка матриц $\tilde{M} + \lambda\tilde{L}$ имеется преобразование Кронекера-Вейерштрасса (описывается парой невырожденных матриц (операторов) P_L и P_R размеров $n \times n$ и $m \times m$ соответственно), при котором матрица $P_L\tilde{M}P_R + \lambda P_L\tilde{L}P_R$ – квазидиагональна (см. [5]) и уравнение (1) преобразуется следующим образом:

$$P_L\tilde{L}P_R\eta(t) = \int_0^t P_L\tilde{M}P_R\eta(s)ds +$$
$$+\int_0^t P_L f(s)ds + P_L S\zeta(t) + C\tilde{w}(t), \qquad (3)$$

где $C = P_L\Lambda$, $\eta(t) = P_R^{-1}\xi(t)$.

При соответствующей нумерации векторов базиса в $L = P_L\tilde{L}P_R$ вдоль главной диагонали стоят в указанном порядке блоки следующих типов:

N – жордановы клетки с нулями вдоль главной диагонали,

E – единичная матрица,

A и G – прямоугольные матрицы указанного ниже типа.

В $M = P_L\tilde{M}P_R$ строках, соответствующих блокам L, стоят в указанном порядке такие блоки:

E – единичная матрица,

K – некоторая квадратная матрица,

B и H – прямоугольные матрицы указанного ниже вида.

Приведем матрицы A и B, G и H в общем явном виде:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \ldots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ldots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \ldots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \ldots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ldots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \ldots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ldots & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$G = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \ldots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ldots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \ldots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \ldots & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \ldots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ldots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \ldots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \ldots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Обозначим через C^* оператор, сопряженный с C, а $(\cdot,\cdot)$ - стандартное скалярное произведение в R^n.

Введем в R^n новое скалярное произведение $\langle\cdot,\cdot\rangle$ формулой

$$\langle X,Y\rangle = ((CC^*)^{-1}X,Y).$$

С применением методов, изложенных в работе [2], несложно доказываются утверждения:

Теорема 5 *(i). Для любых векторов X и Y из R^n выполняется тождество $\langle CX,CY\rangle = (X,Y)$. (ii) Процесс $w(t) = C\tilde{w}(t)$ является винеровским в пространстве R^n со скалярным произведением $\langle\cdot,\cdot\rangle$.*

Следствие 6. *Пусть e_1, $e_2,\ldots,$ e_n – естественный ортонормированный базис в R^n с $(\cdot,\cdot)$. Векторы Ce_1, $Ce_2,\ldots,$ Ce_n образуют ортонормированный базис в евклидовом пространстве R^n со скалярным произведением $\langle\cdot,\cdot\rangle$.*

Следствие 7. *В пространстве R^n с $\langle\cdot,\cdot\rangle$ в разложении по ортонормированному базису Ce_1, $Ce_2,\ldots,$ Ce_n стохастическое уравнение леонтьевского типа имеет вид*

$$L\eta(t) = \int_0^t M\eta(s)ds + \\ + \int_0^t P_L f(s)ds + P_L S\zeta(t) + w(t).$$

Напомним, что в выражения для текущей скорости винеровского процесса в данном случае входит $Grad(C^{-1}x, C^{-1}x)$, где $Grad$ – градиент относительно скалярного произведения $\langle\cdot,\cdot\rangle$.

Лемма 8.

$$d\langle x,x\rangle = d(C^{-1}x, C^{-1}x) = 2(C^*)^{-1}C^{-1}x,$$

где d – внешний дифференциал.

Лемма 9.

$$Grad\langle x,x\rangle = Grad(C^{-1}x, C^{-1}x) = 2x$$

(Отметим, опечатки в [2]: там в Следствиях 1 и 2 ошибочно стоит набор векторов $Ae_1, Ae_2,\ldots, Ae_n$ вместо $P_L e_1, P_L e_2,\ldots, P_L e_n$.)

Следовательно, как и в [2], при отображении в R^n со скалярным произведением $\langle\cdot,\cdot\rangle$ формулы для текущих скоростей винеровского процесса сохраняют свой вид.

Решения сингулярных стохастических уравнений леонтьевского типа с импульсными воздействиями

Итак, если пучек $\tilde{M} + \lambda\tilde{L}$ сингулярен, то после применения преобразования Кронекера-Вейерштрасса стохастическое уравнение леонтьевского типа в пространстве R^n со скалярным произведением $\langle\cdot,\cdot\rangle$ приобретает вид

$$L\eta(t) = \int_0^t M\eta(s)ds + \int_0^t P_L f(s)ds + \\ + P_L S\zeta(t) + w(t), \tag{4}$$

$$\eta(0) = 0. \tag{5}$$

Тогда, учитывая сказаное выше, формулы для решений $\eta(t)$ задачи (4), (5) определяются последовательно для $k = 0,1,\ldots,N$ через случайные процессы $\eta_k(t)$, которые удовлетворяют уравнениям

$$L\eta_k(t) - L\eta_k(t_k) = \int_{t_k}^t M\eta_k(s)ds + \\ + \int_{t_k}^t P_L f(s)ds + w(t), \tag{6}$$

п. в. $t_k \le t \le t_{k+1}$, $\omega \in \Omega$,

где

$$\eta_0(0) = 0,\ L\eta_k(t_k) = \\ L\eta_{k-1}(t_k,\omega) + Q\tilde{\zeta}_k(\omega), \\ k = 1,\ldots,N, \tag{7}$$

и $Q = P_L S$.

Как было отмечено выше, для построения процесса, описывающего модель, заданную уравнениями (6), нужны производные свободных членов (включая

винеровский процесс). Производные винеровского процесса существуют только в смысле обобщенных функций. Поэтому чтобы избежать использования обобщенных функций, мы для построения процесса, описывающего модель, заданную (6), будем использовать производные в среднем для случайных процессов.

Замечание 10. *Переписав (6) в виде*

$$L\eta_k(t) - L\eta_k(t_k) - M\int_{t_k}^{t}\eta_k(s)ds -$$
$$-\int_{t_k}^{t}P_L f(s)ds = w(t),$$

мы видим, что "настоящее" для процесса $L\eta_k(t) - L\eta_k(t_k) - M\int_{t_k}^{t}\eta_k(s)ds - \int_{t_k}^{t}P_L f(s)ds$ *совпадает с "настоящим" для* $w(t)$. *Поэтому последнюю* σ*-алгебру мы и будем использовать при нахождении производных в среднем, т. е. применять к (6) производные* D^w, D_*^w *или* D_S^w.

Учитывая структуру матриц L и M, нетрудно видеть, что задачи (4), (5) и, следовательно, (6), (7) распадаются на несколько независимых систем уравнений четырех типов (каждой паре соответствующих блоков в L и M соответствует уравнение определенного типа). Обозначим через $\varsigma(t)$, $\vartheta(t)$, $\eta(t)$, $\theta(t)$ компоненты вектора $\eta(t)$, соответствующие парам блоков N и E, E и K, A и B, G и H соответственно. Также через $u(t), v(t), g(t), z(t)$ обозначим соответствующие компоненты вектора $P_L f(t)$. Соответствующие компоненты винеровского процесса будут тоже винеровскими процессами, поэтому будем обозначать их, как и сам винеровский процесс, через $w(t)$. Исследуем каждый тип уравнений.

Паре матриц N и E размера $(p+1)\times(p+1)$ соответствует система типа

$$N\varsigma_k(t) - N\varsigma_k(t_k) =$$
$$= \int_{t_k}^{t}\varsigma_k(s)ds + \int_{t_k}^{t}u(s)ds + w(t)\ .$$

В координатной форме это уравнение имеет вид

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \varsigma_k^1(t) \\ \varsigma_k^2(t) \\ \vdots \\ \varsigma_k^p(t) \\ \varsigma_k^{p+1}(t) \end{pmatrix} -$$
$$-\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \varsigma_k^1(t_k) \\ \varsigma_k^2(t_k) \\ \vdots \\ \varsigma_k^p(t_k) \\ \varsigma_k^{p+1}(t_k) \end{pmatrix} =$$
$$= \begin{pmatrix} \int_{t_k}^{t}(\varsigma_k^1(s) + u^1(s))ds \\ \int_{t_k}^{t}(\varsigma_k^2(s) + u^2(s))ds \\ \vdots \\ \int_{t_k}^{t}(\varsigma_k^p(s) + u^p(s))ds \\ \int_{t_k}^{t}(\varsigma_k^{p+1}(s) + u^{p+1}(s))ds \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} w^1(t) \\ w^2(t) \\ \vdots \\ w^p(t) \\ w^{p+1}(t) \end{pmatrix} \quad (8)$$

Из последнего уравнения системы (8) получаем, что

$$\int_{t_k}^{t}(\varsigma_k^{p+1}(s) + u^{p+1}(s))ds = -w^{p+1}(t).$$

Так как именно текущая скорость (симметрическая производная в среднем) соответствует физической скорости, из этого уравнения мы находим $\varsigma_k^{p+1}(t)$ применением к обеим частям производной D_S^w. Легко видеть, что применение производных в среднем D^w и D_*^w (и, следовательно, D_S^w) к интегралу в левой части дает одинаковый результат $\varsigma_k^{p+1}(t)$.

Таким образом, мы получаем, что

$$\varsigma_k^{p+1}(t) = -u^{p+1}(t) - D_S w^{p+1}(t) =$$
$$= -u^{p+1}(t) - \frac{w^{p+1}(t)}{2t}. \quad (9)$$

Из предпоследнего уравнения системы (8) мы получаем, что

$$\varsigma_k^{p+1}(t) = \int_{t_k}^{t}(\varsigma_k^p(s) + u^p(s))ds + w^p(t),$$

откуда, проведя рассуждения, аналогичные сделанным выше, выводим

$$\varsigma_k^p(t) = -u^p(t) + D_S^w \varsigma_k^{p+1}(t) - D_S^w w^p(t).$$

Подставив в последнее равенство выражение для $\varsigma_k^{p+1}(t)$ из (9) и использовав Лемму 4, получим

$$\varsigma_k^p(t) = -\frac{du^{p+1}}{dt} - u^p(t) + \frac{w^{p+1}(t)}{2t^2} - \frac{w^p(t)}{2t}.$$

В точности аналогично, для $1 \le i \le p$ мы получаем следующую рекурентную формулу:

$$\varsigma_k^i(t) = D_S^w \varsigma_k^{i+1}(t) - D_S^w w^i(t) - u^i. \quad (10)$$

С помощью Леммы 4 по формуле (10) нетрудно получить явное выражение для любого $\varsigma_k^i(t)$. Стало быть, компоненты процесса $\varsigma^i(t)$ находятся из следующих соотношений:

$$\varsigma^{p+1}(t) = -u^{p+1}(t) - D_S w^{p+1}(t) = \\ = -u^{p+1}(t) - \frac{w^{p+1}(t)}{2t}; \quad (11)$$

$$\varsigma^i(t) = D_S^w \varsigma^{i+1}(t) - D_S^w w^i(t) - u^i, \\ i = 1, 2, ..., p, \quad (12)$$

где в точках t_k эти компоненты должны удовлетворять ограничениям (7).

Для пары матриц E и K размера $(q+1)\times(q+1)$ получаем систему в R^{q+1} типа

$$\vartheta_k(t) = K\int_{t_k}^t \vartheta_k(s)ds + \int_{t_k}^t v(s)ds + w(t).$$

Для этого уравнения известна аналитическая формула для решений:

$$\vartheta_k(t) = \int_{t_k}^t e^{K(t-\tau)} v(\tau)d\tau + \int_{t_k}^t e^{K(t-\tau)} dw(\tau).$$

Суммируя все $\vartheta_k(t)$, получаем выражение для $\vartheta(t)$:

$$\vartheta(t) = \sum_{k=1}^N e^{K(t-t_k)} Q\tilde{\zeta}_k(\omega)\chi(t-t_k) + \\ + \int_0^t e^{K(t-\tau)} v(\tau)d\tau + \int_0^t e^{K(t-\tau)} dw(\tau), \quad (13)$$

где из произведения $Q\tilde{\zeta}_k(\omega)$ берутся только элементы из R^{q+1}.

Рассмотрев пару матриц A и B размера $l\times(l+1)$, получим систему вида

$$A\eta_k(t) - A\eta_k(t_k) = \\ = \int_{t_k}^t B\eta_k(s)ds + \int_{t_k}^t g(s)ds + w(t).$$

В координатной форме это уравнение имеет следующий вид:

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \eta^1(t) \\ \eta^2(t) \\ \vdots \\ \eta^l(t) \\ \eta^{l+1}(t) \end{pmatrix} - \\ - \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \eta_k^1(t_k) \\ \eta_k^2(t_k) \\ \vdots \\ \eta_k^l(t_k) \\ \eta_k^{l+1}(t_k) \end{pmatrix} = \\ = \int_{t_k}^t \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \eta_k^1(s) \\ \eta_k^2(s) \\ \vdots \\ \eta_k^l(s) \\ \eta_k^{l+1}(s) \end{pmatrix} ds + \\ + \int_{t_k}^t \begin{pmatrix} g^1(s) \\ g^2(s) \\ \vdots \\ g^{l-1}(s) \\ g^l(s) \end{pmatrix} ds + \begin{pmatrix} w^1(t) \\ w^2(t) \\ \vdots \\ w^{l-1}(t) \\ w^l(t) \end{pmatrix}, \quad (14)$$

т. е.

$$\begin{cases} \eta_k^2(t) - \eta_k^2(t_k) = \int_{t_k}^t (\eta_k^1(s) + g^1(s))ds + w^1; \\ \eta_k^3(t) - \eta_k^3(t_k) = \int_{t_k}^t (\eta_k^2(s) + g^2(s))ds + w^2; \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \eta_k^{l+1}(t) - \eta_k^{l+1}(t_k) = \int_{t_k}^t (\eta_k^l(s) + g^l(s))ds + w^l. \end{cases}$$

Это означает, что можно взять в качестве η_k^{l+1} произвольный случайный процесс, для которого можно вычислить симметрическую производную порядка l, а потом рекурентно получить все остальные компоненты процесса η_k. Дело обстоит таким образом потому, что в системе число неизвестных на единицу больше, чем число уравнений, т. е. система недоопределена.

Аналогично случаю первой независимой системы имеют место следующие формулы:

$$\eta_k^l(t) = D_S^w \eta_k^{l+1} - D_S^w w^l - g^l(t) =$$
$$= D_S^w \eta_k^{l+1} - \frac{w^l(t)}{2t} - g^l(t);$$

$$\eta_k^l(t) = \int_{t_k}^t (\eta_k^{l-1}(s) + g^{l-1}(s))ds + w^{l-1};$$

$$\eta_k^{l-1}(t) = D_S^w \eta_k^l - D_S^w w^{l-1} - g^{l-1}(t) =$$
$$= D_S^2 \eta_k^{l+1} + \frac{w^l(t)}{4t^2} - \frac{w^{l-1}}{2t} - g^{l-1}.$$

Точно так для $1 \le i \le l$ получаем

$$\eta_k^i(t) = D_S^w \eta_k^{i+1} - D_S^w w^i(t) - g^i(t). \quad (15)$$

С помощью Леммы 4 по формулам (15) несложно получить явное выражение для любого $\eta_k^i(t)$. Таким образом, для вычисления $\eta(t)$ имеет место формула

$$\eta^i(t) = D_S^w \eta^{i+1} - D_S^w w^i(t) - g^i(t), \quad (16)$$

причем, все вычисленные компоненты $\eta^i(t)$ должны удовлетворять ограничениям (7).

И, наконец, для матриц G и H размера $(r+1)\times r$ имеем систему типа

$$G\theta_k(t) - G\theta_k(t_k) =$$
$$= \int_{t_k}^t H\theta_k(s)ds + \int_{t_k}^t z(s)ds + w(s).$$

В координатной форме получаем систему следующего вида:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_k^1(t) \\ \theta_k^2(t) \\ \vdots \\ \theta_k^{r-1}(t) \\ \theta_k^r(t) \end{pmatrix} -$$
$$- \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_k^1(t_k) \\ \theta_k^2(t_k) \\ \vdots \\ \theta_k^{r-1}(t_k) \\ \theta_k^r(t_k) \end{pmatrix} =$$
$$= \int_{t_k}^t \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_k^1(s) \\ \theta_k^2(s) \\ \vdots \\ \theta_k^{r-1}(s) \\ \theta_k^r(s) \end{pmatrix} ds + \quad (17)$$
$$+ \int_{t_k}^t \begin{pmatrix} z^1(s) \\ z^2(s) \\ \vdots \\ z^r(s) \\ z^{r+1}(s) \end{pmatrix} ds + \begin{pmatrix} w^1(t) \\ w^2(t) \\ \vdots \\ w^r(t) \\ w^{r+1}(t) \end{pmatrix}$$

или

$$\begin{cases} 0 = \int_{t_k}^t (\theta_k^1(s) + z^1(s))ds + w^1, \\ \theta_k^1(t) - \theta_k^1(t_k) = \int_{t_k}^t (\theta_k^2(s) + z^2(s))ds + w^2, \\ \theta_k^{r-1}(t) - \theta_k^{r-1}(t_k) = \int_{t_k}^t (\theta_k^r(s) + z^r(s))ds + w^r, \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \theta_k^r(t) - \theta_k^r(t_k) = \int_{t_k}^t z^{r+1}(s)ds + w^{r+1}. \end{cases}$$

Начиная с первого уравнения, последовательно получаем:

$$\theta_k^1(t) = -z^1(t) - D_S^w w^1 = -z^1 - \frac{w^1(t)}{2t}, \quad (18)$$

$$\theta_k^2(t) = -z^2(t) + D_S^w \theta_k^1 - D_S^w w^2(t) =$$
$$= -z^2(t) - \frac{dz^1(t)}{dt} + \frac{w^1(t)}{4t^2} - \frac{w^2(t)}{2t},$$
$$\theta_k^r(t) = -z^r(t) - \frac{dz^{r-1}(t)}{dt} - \ldots - \frac{d^{r-1}z^1(t)}{dt^{r-1}} -$$
$$-D_S w^r(t) - D_S^2 w^{r-1}(t) - \ldots - D_S^r w^1(t),$$

а также условие согласования:

$$\int_{t_k}^{t} z^{r+1}(s)ds + w^{r+1}(t) = -z^r(t) - \frac{dz^{r-1}(t)}{dt} -$$
$$-\ldots - \frac{d^{r-1}z^1(t)}{dt^{r-1}} - D_S w^r(t) - D_S^2 w^{r-1}(t) -$$
$$-\ldots - D_S^r w^1(t)\,. \qquad (19)$$

Если компоненты w^i не удовлетворяют этому условию, то система не имеет решений. Здесь число уравнений на единицу больше, чем число неизвестных, т. е. данная подсистема переопределена.

Как и ранее, для $2 \le i \le r$ имеет место рекурентная формула:

$$\theta_k^i(t) = -z^i(t) + D_S^w \theta_k^{i-1} - D_S^w w^i(t). \quad (20)$$

Следовательно, имеют место соотношения для определения компонент $\theta^i(t)$:

$$\theta^1 = -z^1 - \frac{w^1}{2t}; \qquad (21)$$

$$\theta^i(t) = -z^i(t) + D_S^w \theta^{i-1} - D_S^w w^i(t), \quad (22)$$

причем, прежде чем воспользоваться этой формулой, сначала проверяем условия согласования (19). Кроме того, вычисленные компоненты $\theta^i(t)$ должны удовлетворять ограничениям (7).

Вернемся к вопросу о нулевых начальных условиях (при $k = 0$) для решений систем (8), (14) и (17). Из определения симметрических производных в среднем видно, что они корректно определены только на открытых промежутках времени, поскольку в их конструкции использованы приращения по времени как вправо, так и влево. Принимая во внимание Лемму 4, а также формулы (9) и (10), (15), (18) и (20), нетрудно видеть, что полученные выше решения $\varsigma^i(t)$, $\eta^i(t)$ и $\theta^i(t)$ описываются как суммы, в которых каждое слагаемое содержит сомножитель вида $\frac{w^j(t)}{t^k}$, $k \ge 1$. Так что решения стремятся к бесконечности при $t \to 0$, т. е. значений решений при $t = 0$ не существуют.

Один из вариантов разрешения указанной ситуации состоит в следующем. Зафиксируем сколь угодно малый момент времени $t_0 \in (0, l)$ и зададим функцию $t_0(t)$ формулой

$$t_0(t) = \begin{cases} t_0, \text{ если } 0 \le t \le t_0; \\ t, \text{ если } t_0 \le t. \end{cases}$$

Элементы $\frac{w^j(t)}{t^k}$ при вычислении $\varsigma^i(t)$, $\eta^i(t)$ и $\theta^i(t)$ по формулам (11) и (12), (16), (21) и (22) заменим на $\frac{w^j(t)}{(t_0(t))^k}$. Полученные процессы в момент времени $t = 0$ будут принимать нулевые значения, однако они станут решениями (8), (14) и (17) только при $t > t_0$. Отметим, что для двух разных моментов времени $t_0^{(1)}$ и $t_0^{(2)}$ при $t > \max(t_0^{(1)}, t_0^{(2)})$ значения соответствующих процессов п. н. совпадают.

Таким образом, суммируя вышесказанное, получаем следующее.

Теорема 11. *При условиях, указанных выше, уравнение (1) с нулевыми начальными условиями трансформируется к каноническому уравнению (4) с нулевыми начальными условиями, формулы для вычисления решений которого имеют вид (11) и (12), (13), (16), (21) и (22).*

Автор статьи выражает благодарность своему научному руководителю, профессору Ю. Е. Гликлиху за помощь в работе.

Список литературы

1. Vlasenko L.A., Lyshko S.L., Rutkas A.G. On a stochastic impulsive sustem / // Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. – 2012. – №2. – P. 50-55.

2. Машков Е. Ю. Сингулярные стохастические уравнения леонтьевского типа и производные в среднем случайных процессов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика и Физика. – 2014. – Вып. 34, №5(176). – С. 49-60.

3. Гликлих Ю.Е. Глобальный и стохастический анализ в задачах математической физики. – М.: Комкнига, 2005. – 416 с.

4. Партасарати К. Р. Введение в теорию вероятностей и теорию меры. – М.: Мир, 1988. – 343 с.

5. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. – М.: Физматлит, 1967. – 575 с.

Получено 25.02.15

E. Yu. Mashkov, Post-Graduate Student, Kursk State University
(e-mail: mashkovevgen@yandex.ru)

SINGULAR STOCHASTIC LEONTIEFF TYPE EQUATIONS WITH IMPULS INFLUENCE

We investigate stochastic Leontieff type equation with singular pencil of constant matrices of coefficients and impuls influence in the right-hand side. The main result is the analytic formulae for the solutions of equations under consideration in terms of mean derivatives of stochastic processes.

***Key words**: average derivative, current speed, Wiener process, Leontieff type equation.*

УДК 621:39:621.311:658.562

А.Н. Симаков, сотрудник Академии ФСО России (Орел)

Е.В. Душин, сотрудник Академии ФСО России (Орел)

А.М. Юхин, сотрудник Академии ФСО России (Орел)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МОДУЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

В настоящее время предъявляются высокие требования к телекоммуникационным системам и средствам с точки зрения поддержания их в постоянной готовности по предоставлению услуг информационного обмена первым лицам государства, министерствам и ведомствам. Выполнение требований осуществляется путем эффективного использования систем технического обеспечения. Надежность, живучесть, достоверность, гибкость, адаптивность телекоммуникационных систем зависят от многих факторов, важнейшим из которых является бесперебойное обеспечение их электропитанием. В связи с этим система электропитания является одним из приоритетных элементов телекоммуникационной системы.

В статье уделено внимание вопросу оптимального распределения средств и ресурса электропитания, что составляет решение основной задачи и определяет актуальность выбранной темы.

***Ключевые слова**: методика, оценка, система энергоснабжения, модули вторичного электропитания.*

***

Система энергоснабжения средств связи оказывает определяющее воздействие на качество и эффективность их работы. Статистические данные по технической эксплуатации и техническому обслуживанию средств связи в России подтверждают факт отказов и сбоев в их работе за счет низкого качества функционирования систем энергоснабжения.

Таким образом, одним из реальных путей повышения эффективности функционирования средств связи является модернизация систем энергоснабжения за счет качественного укомплектования их модульными системами вторичного элек-

тропитания и рационального использования энергетического ресурса, обеспечивающего минимальные стоимостные показатели.

С целью повышения качества выбора устройств вторичного электропитания средств связи на основе оптимизации распределения энергетического ресурса в системе энергоснабжения разработана методика оценки качества модульных систем вторичного электропитания.

В качестве объекта исследования выступают: устройства вторичного электропитания системы электроснабжения, предмета: процесс распределения энергетического ресурса в данной системе.

Декомпозиция цели позволяет выделить круг задач:

– исследование существующих подходов к реализации систем энергоснабжения средств связи;

– анализ существующих требований, нормативно-технических актов и критериев принятия решения по использованию энергетического ресурса в телекоммуникационных системах;

– разработка модели укомплектования системы энергоснабжения модулями вторичного электропитания средств связи;

– векторная и скалярная оптимизация оценки качества вторичных источников электропитания средств связи;

– выбор наименования и количества модулей системы энергоснабжения, обосновывая экономическую рациональность их использования;

– разработка научно-технических предложений по повышению качества выбора модулей системы энергоснабжения;

– разработка рекомендаций по эксплуатации и техническому обслуживанию систем энергоснабжения.

Исследования по разработке методики оценки качества модульных систем вторичного электропитания проводились относительно системы энергоснабжения, фрагмент которой представлен на рисунке 1.

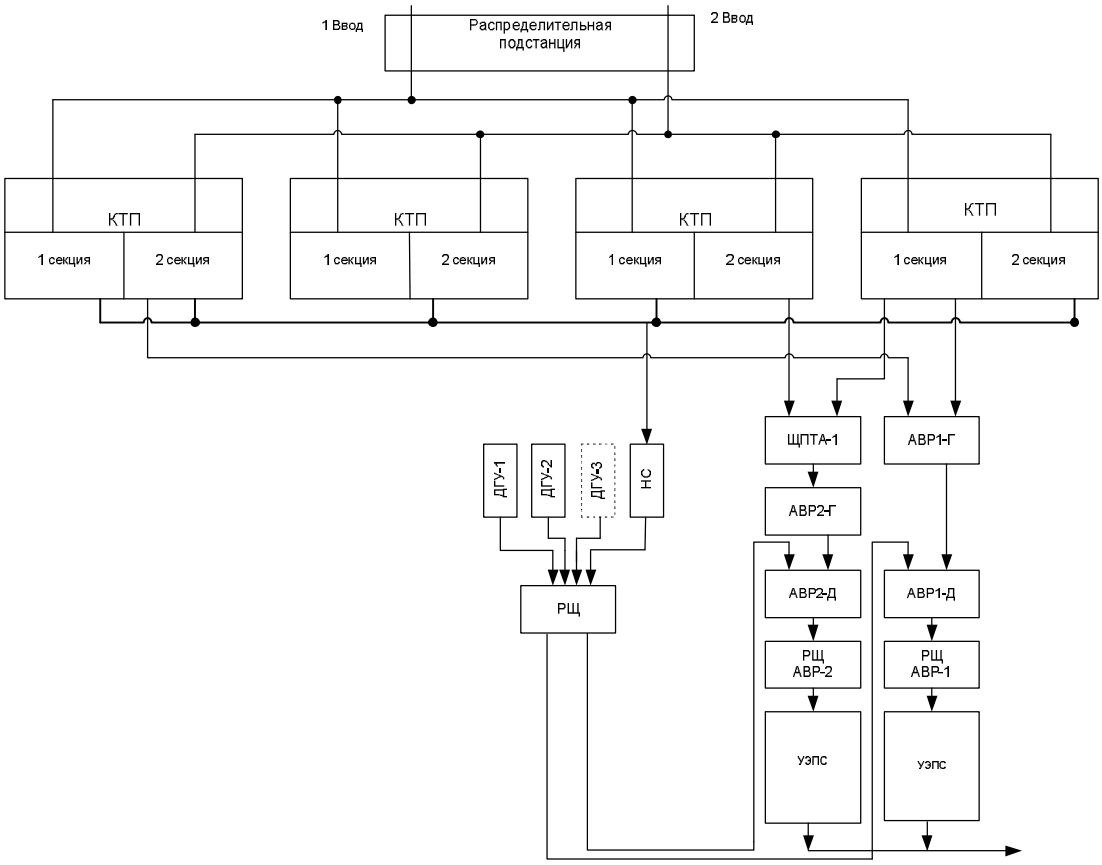


Рис. 1. Фрагмент системы энергоснабжения

Суть методики сводится к следующему.

На первом этапе результат исследований системы энергоснабжения России, руководствуясь Приказом № 32 Министерства связи и Приказом Министерства информационных технологий и связи № 150 «Об утверждении требований к построению телефонной сети связи общего пользования в части обеспечения надежности электроснабжения средств связи, выполняющих функции систем коммутации», позволил определить максимальное и минимальное значение токов, потребляемых средствами связи. Так как в час наибольшей нагрузки (ЧНН) потребляемое значение тока составляет 80 А, то по формуле вычисляем максимальное значение, предназначенное для заряда аккумуляторных батарей и резерва на систему:

$$I_{max} = I \times 2, \qquad (1)$$

160 А = 80 А (ЧНН) +32 А (ток заряда АКБ (по 160 А/ч)) + 30 % (резерв на систему), а минимальное значение тока выбираем равным 64 А, без учета запаса на военное время, 80 А – 20 % (запас на военное время) = 64 А min (рабочий) ток системы.

Технические характеристики, включая стоимость стоек УЭПС–2, отражены в таблице 1.

Для определения результирующего показателя качества (РПК) каждого УЭПСа воспользуемся разработанным программным продуктом [2] (рис. 2). Так как максимальное значение тока 160 А, относительно объекта исследования, то выбор будем производить между УЭПС-2 60/200-8.8 и УЭПС-2 24/200-4.4, представленных в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики УЭПС-2

Тип устройства	Напряжение на выходе модуля $U_{вых}$, В	Ток стойки I_{max}, А	Ток модуля I_{min}, А	Кол–во модулей	Выходной ток модуля $I_{вых}$, А	Цена
УЭПС-2 60/100-8.8	60	100	2,5	8	12,5	177 499 руб.
УЭПС-2 24/100-4.4	24	100	2,5	4	25	105 533 руб.
УЭПС-2 60/200-8.8	60	200	2,5	8	25	291 598 руб.
УЭПС-2 24/200-4.4	24	200	4,4	4	50	184 568 руб.

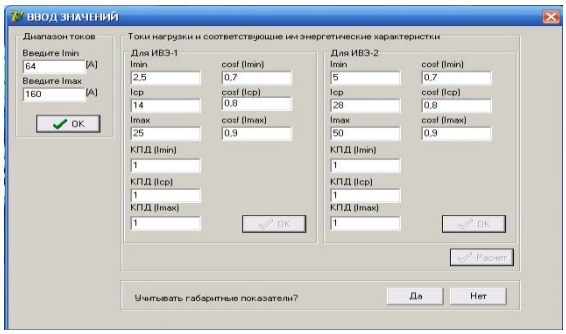


Рис. 2. Исходные данные для расчета результирующего показателя качества

На втором этапе для формирования критерия принятия решения по укомплектованию системы энергоснабжения модулями вторичного электропитания (СВЭП) воспользуемся методом экспертной оценки.

Для средств связи выделено несколько вариантов СВЭП. Все предложенные варианты удовлетворяют требованиям, определенным заказчиком. Необходимо оценить рассматриваемые варианты СВЭП и на основе данной оценки выбрать наиболее подходящий вариант.

Характеристики СВЭП представлены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики рассматриваемых вариантов СВЭП СС

Вариант СВЭП	$P_{бр}$	$\eta_{свэп}$	$M_{свэп}$, [кг]	$V_{свэп}$, [см^3]
СВЭП-1	0,967	0,38	38,8	32 133 [38x30,2x28]
СВЭП-2	0,978	0,32	45,64	39 172 [46,5 x 26 x 32,4]
СВЭП-3	0,974	0,345	42	36 288 [42 x 24 x 36]

Проведем экспертную оценку критериев качества, используя методику, представленную в статье.

В экспертной оценке участвовали пять человек. Каждый из них заполнил анкету.

В процессе экспертной оценки между экспертами возникли разногласия мнений.

Учитывая различие интересов заказчиков средств связи и разноспектральность взглядов экспертов данный метод позволил сформировать ряд противоречивых критериев принятия решения по комплектованию системы энергоснабжения модулями вторичного электропитания. Потребность удовлетворения взглядов различных сторон привела к необходимости решения задачи методом векторной оптимизации, составляющей *третий этап* рассматриваемой методики. Основными трудностями на пути ее разрешения являются необходимость сокращения размерности векторного критерия оптимальности (ВКО), нормализации и последующей скаляризации (свертки) его компонент.

Редукция системы критериев оптимальности

Уменьшение размерности системы показателей (критериев оптимальности) значительно упрощает решение задачи векторной оптимизации. Одним из наиболее распространенных методов редукции является метод, основанный на оценке степени линейной независимости отдельных компонент векторного критерия:

$$\rho_{nn}' = \frac{K(I_n, I_{n'})}{\sigma(I_n)\sigma(I_{n'})} = \frac{\sum_{l=1}^{M}\sum_{l'=1}^{M}\left[I_{nl} - \overline{I}_n\right]\left[I_{n'l'} - \overline{I}_{n'}\right]P_{ll'}}{\sqrt{\sum_{l=1}^{M}\left[I_{nl} - \overline{I}_n\right]^2 P_{nl}\sum_{l'=1}^{M}\left[I_{n'l'} - \overline{I}_{n'}\right]^2 P_{n'l'}}}, \quad (2)$$

где $K(I_n, I_{n'}) = M[I_n, I_{n'}]$ – матричная взаимная корреляционная функция n-го и n'-го критериев;

n, n' – номера критериев оптимальности; $l = 1, ..., M$ – номера дискретных значений критериев;

$\overline{I}_n = \sum_{l=1}^{\infty} I_n P_{nl}$ – среднее значение критерия;

$P_{nl}, P_{n'l'}$ – вероятности принятия $n(n')$-м критерием значения l (l');

$P_{ll'}$ – совместная вероятность принятия n-м критерием l-го значения и n'-м критерием l'-го значения.

Редукция системы критериев осуществляется путем удаления из исходной системы тех критериев, которым в матрице коэффициентов корреляции соответствуют такие недиагональные элементы, которые превышают величину 0,95. Следует отметить, что критерии оптимальности в исходной системе должны быть предварительно ранжированы по степени их важности.

Нормализация компонент векторного критерия

Процесс нормализации включает этапы перехода к единой размерности, сведения к одной точке отсчета и переход к равноценным шкалам. Достаточно полно все перечисленные этапы могут быть выполнены при использовании следующего линейного преобразования:

$$I_n^{(н)}\left(\bar{x};k\right)=c_n I_n\left(\bar{x};k\right)+d_n, \qquad (3)$$

где $c_n=\frac{I}{\left(I'_n(\bar{x};k)-I_n^0(\bar{x};k)\right)}$ – масштабный коэффициент;

$d_n=\frac{I_n^0(\bar{x};k)}{\left(I'_n(\bar{x};k)-I_n^0(\bar{x};k)\right)}$ – коэффициент сдвига, корректирующий начало отсчета;

$I_n^{(i)}, I'_n, I_n^0$ – нормированные наибольшее и наименьшее значения критериев.

Использование преобразования (3) позволяет привести все критерии к нулевой точке отсчета, их изменение ограничивается отрезком [0, 1], а также делает все критерии безразмерными.

Скаляризация (свертка) векторного критерия оптимальности

Задача оптимизации по векторному критерию состоит в отыскании решений, удовлетворяющих экстремуму одновременно всех компонент векторного критерия оптимальности. Существует два основных пути решения данной задачи: поиск компромиссных решений, оптимальных по Парето, и поиск решений, оптимальных в смысле обобщенного скалярного критерия, полученного путем свертки.

Особенностью первой группы методов является последовательный характер решения задачи оптимизации, что приводит к возможности потери компромиссно-оптимального решения уже на первых шагах оптимизации. Основным недостатком метода взвешенной суммы является субъективный характер выбора весовых коэффициентов, определяющих важность различных компонент векторного критерия оптимальности и, как следствие, субъективность получаемых решений.

Свободным от большинства указанных недостатков является второй путь, представленный в виде метода идеальной точки, в котором формирование обобщенного критерия оптимальности осуществляется согласно выражению

$$I^{(i)}(\bar{x})-\left[\sum_{n=1}^{N}(I_n^{(i)}(\bar{x})-I_n^{(i)})^q\right]^{\frac{1}{q}}, \qquad (4)$$

где q = 1, 2, ... – степень целевой функции;

$\bar{x}$ – вектор оптимизируемых по ВКО параметров.

Следует отметить, что в качестве идеальных значений критериев могут выступать либо экстремальные значения критериев, либо требования к их значениям со стороны пользователей. Для случая стохастических систем в выражении (4) выборочные значения критериев должны быть заменены на их средние значения.

Сведение векторной задачи оптимизация к скалярной, выполняемой по обобщенному критерию, делает целесообразным рассмотрение общего решения задачи скалярной динамической оптимизации:

$$\overline{I^{(i)}}(\bar{X})=\mathrm{M}\left\{\frac{\left[\sum_{n=1}^{N}(I_n^{(i)}(\bar{x})-I_x^{(i)})^q\right]^{\frac{1}{q}}}{z(\bar{x})}\right\}, \qquad (5)$$

где $\overline{I^{(i)}}(\bar{X})$ – среднее значение обобщенного критерия, условное по наблюдениям $z(\bar{x})$.

Для линейных стохастических процессов, описываемых уравнениями состояния и наблюдения вида (6), а также при квадратичном критерии оптимальности типа (7):

$$\bar{x}(k+1) = A(k)\bar{x}(k) + B(k)\bar{u}(k) + \bar{v}(k),$$

$$\bar{z}(k) = H(k)\bar{x}(k) + \bar{w}(k), \qquad (6)$$

где $A(k)$ – матрица состояния;

$B(k)$ – матрица эффективности управления $\bar{u}(k)$;

$\bar{v}(k)$ – вектор белых возбуждающих последовательностей;

$H(k)$ – матрица наблюдения, элементы которой определяют способ преобразования измерений в значения процесса $\bar{x}(k)$;

$\bar{w}(k)$ – вектор непрерывно-значных гауссовских последовательностей [3].

$$I^{(i)} = \min M\left\{\begin{array}{l}\bar{x}^T(K)\rho\bar{x}(K) + \sum_{k=1}^{K-1}\bar{x}^T(k)Q_1\bar{x}(k) + \\ \sum_{k=1}^{K-1}\bar{u}^T R_1^{-1}(k)\bar{u}(k)\end{array}\right\}, \qquad (7)$$

где ρ и Q_1 – неотрицательно определенные матрицы;

R_1 – положительно определенная матрица.

Так как целевая функция имеет нелинейный вид, то для определения оптимального решения по вычислению результирующего показателя качества, описывающего *четвертый этап* методики, воспользуемся методом нелинейной оптимизации множителей Лагранжа.

В общем случае для функции n независимых переменных задачу математического программирования записывают в виде выражения (8) при условиях (9), (10):

$$f(x_1, x_2, \ldots x_n) \to \max\ (f(x_1, x_2, \ldots x_n) \to \min), \qquad (8)$$

$$\begin{cases} g_i(x_1, x_2, \ldots, x_n) = b_i, & i = 1, \ldots, m_1, \\ g_i(x_1, x_2, \ldots, x_n) = b_i, & i = m_1 + 1, \ldots, m_2, \\ g_i(x_1, x_2, \ldots, x_n) = bi, & i = m_2 + 1, \ldots, m. \end{cases} \qquad (9)$$

$$x_1 \ge 0, x_2 \ge 0, \ldots, x_n \ge 0. \qquad (10)$$

Рассмотрим эту задачу для n независимых переменных в следующей формулировке: найти локальный экстремум функции (8), где n независимых переменных, при условии, что независимые переменные удовлетворяют условиям (9), (10).

При выполнении этих условий строят функцию Лагранжа, которая имеет вид

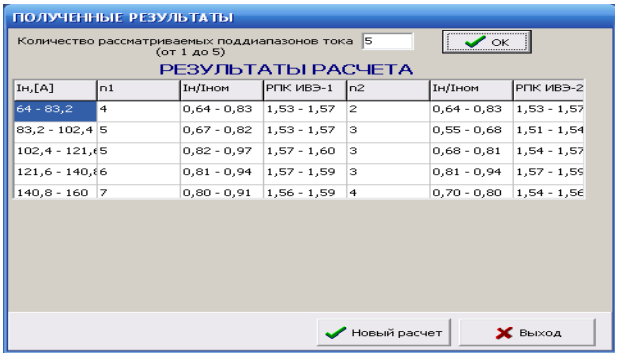
$$\begin{aligned} &L(x_1, \ldots, x_n, \lambda_1, \ldots, \lambda_m) = \\ &= f(x_1, \ldots, x_n) + \lambda_1 g_1(x_1, \ldots, x_n) + \\ &+ \ldots + \lambda_m g_m(x_1, \ldots, x_n). \end{aligned} \qquad (11)$$

Затем функцию Лагранжа исследуют на абсолютный экстремум. Для этих целей определяют подозрительную точку путем решения следующих уравнений:

$$\begin{aligned} &\frac{dL}{dx_1} = 0, \ldots, \frac{dL}{dx_n} = 0, \\ &\frac{dL}{d\lambda_1} = 0, \ldots, \frac{dL}{d\lambda_m} = 0. \end{aligned} \qquad (12)$$

Укороченную точку анализируют и выясняют, является ли она точкой условного экстремума при наличии ограничений (9) и (10) или не является таковой.

Итог данной итерации представлен в виде оптимального результирующего показателя качества (РПК) двух выбранных УЭПС-2 60/200-8.8 и УЭПС-2 24/200-4.4, учитывающих количество модулей n, позволяющих получить определенные значения токов (рис. 3).



Iн,[А]	n1	Iн/Iном	РПК ИВЭ-1	n2	Iн/Iном	РПК ИВЭ-2
64 - 83,2	4	0,64 - 0,83	1,53 - 1,57	2	0,64 - 0,83	1,53 - 1,57
83,2 - 102,4	5	0,67 - 0,82	1,53 - 1,57	3	0,55 - 0,68	1,51 - 1,54
102,4 - 121,6	5	0,82 - 0,97	1,57 - 1,60	3	0,68 - 0,81	1,54 - 1,57
121,6 - 140,8	6	0,81 - 0,94	1,57 - 1,59	3	0,81 - 0,94	1,57 - 1,59
140,8 - 160	7	0,80 - 0,91	1,56 - 1,59	4	0,70 - 0,80	1,54 - 1,56

Рис. 3. Полученные результаты расчета РПК для ИВЭ 1 и ИВЭ 2

На *пятом этапе*, согласно Приказу № 32 Министерства связи, Приказу Министерства информационных технологий и связи № 150 «Об утверждении требований к построению телефонной сети связи общего пользования» и требованию по количеству модулей системы вторичного электропитания $n = n + 1$, рассчитаем затраты по выбору СВЭП, представленные на рисунке 4.

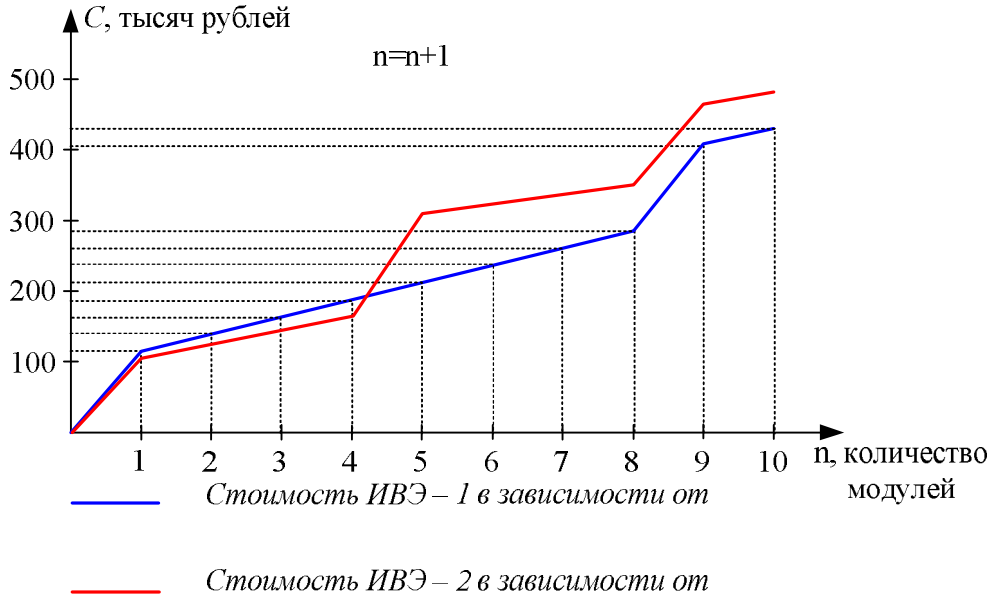


Рис. 4. Стоимость источников вторичного электропитания в зависимости от количества модулей

Следовательно, учитывая результаты расчетов относительно средств связи, даны рекомендации по выбору УЭПС-2 60/200 – 8.8

Методы исследования основаны на системном подходе и использовании математического аппарата теорий систем и управления; векторной и скалярной оптимизации; математической статистики, а также математического моделирования на ЭВМ.

Список литературы

1. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. № 1408 Расчет оптимального состава модульной системы вторичного электропитания РЭА (СВЭП) / Симаков А.Н.; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26.05.2010.

2. Щекотихин В.М., Терновой И.Л. Оптимизация ресурсов телекоммуникационных систем / под общ. ред. В.М. Терентьева. – Орел: Изд-во ВИПС, 1999. – 137 с.

3. Иванов А.Б. Контроль соответствия в телекоммуникациях и связи. Измерения, анализ, тестирование, мониторинг. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2000. – 375 с.

4. Контроль качества в телекоммуникациях и связи. – Ч. 2. Обслуживание, качество услуг, бизнес, управление / А.В. Засецкий, А.Б. Иванов, С.Д. Постников [и др.]; под ред. А.Б. Иванова. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001. – 335 с.

Получено 16.02.15

A.N. Simakov, Fellow of the Academy of Russian Federal Security Service (Orel)

E.V. Dushyn, Fellow of the Academy of Russian Federal Security Service (Orel)

A.M. Yukhin, Fellow of the Academy of Russian Federal Security Service (Orel)

ESTIMATION PROCEDURE FOR QUALITY MODULAR SYSTEMS DC IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Nowadays high standards are set for telecommunication systems in order to keep them always available for information exchange between top state, ministry and department officials. These requirements are met through efficient use of maintenance support systems. Reliability, liveness, accuracy, flexibility and adaptability of a telecommunication system depend on many factors, and the most crucial of them is continuous power supply. Thus, the power supply system is one of the priority components of a telecommunication system.

The present article focuses on optimum distribution of equipment and resources for power supply, and as this helps in achieving the main goal, so there is no need to further stress the importance of the problem in question.

***Key words**: methods, evaluation, power supply system, the secondary power modules.*

УДК 681.3

Мохсен Шамсан Ахмед Исмаил, аспирант, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: Shamsan84@mail.ru)

АЛГОРИТМ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ СООБЩЕНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ОБЪЕКТА, ИЗДАЮЩЕГО АКУСТИЧЕСКИЙ ШУМ

В данной работе рассматривается возможность повышения информативности сообщения при анализе акустических сигналов. По наибольшей спектральной энергии выделяется информативный частотный диапазон, в котором устанавливают n наиболее информативных частотных полос по наибольшей инфомативности.

Наиболее информативные частотные полосы актуальны при диагностике сложных объектов по их акустическому шуму, при анализе шумов биологических, технических и потенциально опасных объектов.

***Ключевые слова**: образы спектров, частотные полосы, энтропия, диагностика, состояния, кодирование, сложные объекты.*

***

В настоящее время для исследования акустических сигналов применяется спектральный анализ. В этом случае приходится анализировать все вариации спектра, что требует более сложных преобразований, большей памяти вычислительных устройств и высокого быстродействия.

В данной работе приводится анализ акустических сигналов объекта, издающего акустический шум, в наиболее информативном частотном диапазоне, установленном экспериментально. Это осуществляется при анализе акустических сигналов в первоначально предполагаемом частотном диапазоне. В последующем по наибольшей спектральной энергии из всего анализируемого частотного диапазона выбирается наиболее информативный участок частотного диапазона.

Ширина и число частотных полос определяется в зависимости от практической реализации метода для выбранного информативного участка. Так, при анализе акустического шума пчелиных семей использовался наиболее информативный частотный диапазон от 60 до 600 Гц и ширине частотной полосы 25-30 Гц, т.е. понадобилось 20-25 полос [1]. Большое количество полос увеличивает время анализа, усложняет аппаратную реализацию средств распознавания. Рассмотрена возможность сократить число анализируемых узких полос частот путем использования количественных критериев, что позволило существенно упростить аппа-

ратную (или программную) реализацию средств распознавания и сократить время анализа [2] (см. рис. – начальная настройка узкополосных частотных фильтров на наиболее информативные частотные полосы).

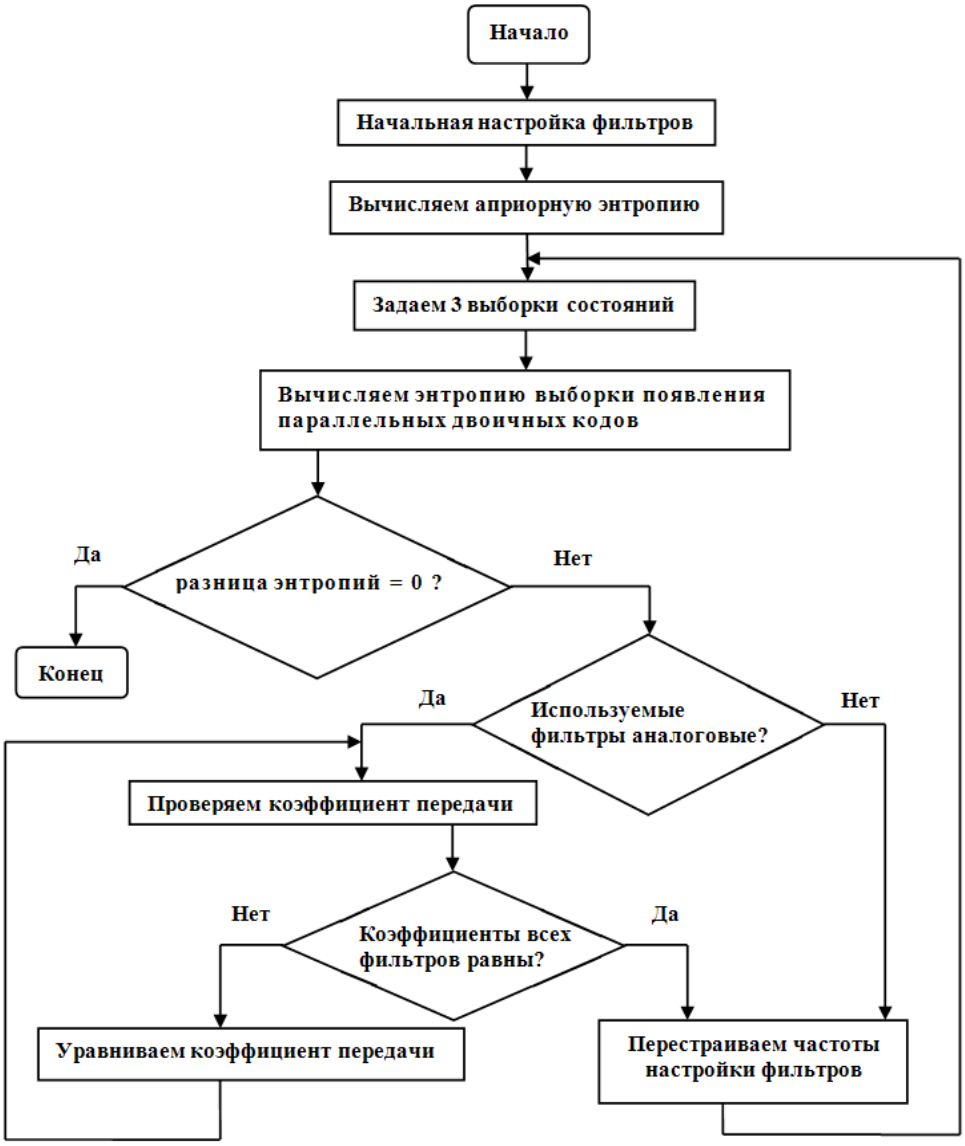


Рис. Алгоритм поиска наиболее информативных частотных полос

Для более точного нахождения мест размещения информативных частотных полос применены узкополосные частотные фильтры $\Delta f = 30$ Гц, выходные сигналы с которых выпрямляются с использованием детекторов с накопителями и анализируются с помощью блока компараторов путём их сочетательного сравнения, на выходах которого формируются параллельные двоичные коды [3].

Исходно известны вероятности выпадения кодов $p_i = \frac{1}{n!}$ – на выходах блока компараторов, где n – количество узкополосных частотных фильтров.

Априорная неопределённость (энтропия) составит

$$H_n(B) = -\sum_{i=1}^{m} p_i \log_2 p_i , \qquad (1)$$

где $m=n!$.

При $n=4$ $H(B)=4{,}58$ бит (см. рис. – вычисляем априорную энтропию).

Анализировался акустический сигнал пчелиных семей с установленными состояниями на основании опыта пчеловода. В течение времени анализа акустического сигнала от 2 до 10 минут фиксировали вид наблюдаемых кодов и их частоты выпадений. Виды кодов отражают образы спектров [3, 4].

По полученным экспериментальным данным построили таблицу 1.

Таблица 1

Суммарное наблюдение кодов для 11 состояний

1		2		3		4	
Виды кодов	Количество наблюдений	Виды кодов	Количество наблюдений	Виды кодов	Количество наблюдений	Виды кодов	Количество наблюдений
76	290	63	1	14	244	01	196
77	123	23	1	04	85	31	15
74	30	67	1	56	30	30	4
71	10	47	0	54	181	10	27
73	1	07	1	46	0	21	3
70	0	03	2	06	18	00	4
	$\sum = 454$		$\sum = 6$		$\sum = 540$		$\sum = 245$

При n = 4 наблюдается 4! = 24 кода, соответствующих 24-м образам спектров. Эти образы спектров упорядочили по четырём классам, в каждом из которых шесть образов спектров имеют одну общую высокую амплитуду. Каждый класс (1-4) образов спектров соответствует установке узкополосных частотных фильтров в наиболее информативном участке частотного диапазона. Первый класс – первый столбец таблицы 1 имеет высокую первую амплитуду образов спектров, что соответствует $f_{1(рез)}$ =230 ± 15 Гц, K_1 = 1,69; второй класс – второй столбец таблицы 1 имеет высокую вторую амплитуду образов спектров, что соответствует $f_{2(рез)}$ =310 ± 15 Гц, K_2 =1,31; третий класс – третий столбец таблицы 1 имеет высокую третью амплитуду образов спектров, что соответствует $f_{3(рез)}$ =380 ± 15 Гц, K_3 =1,78; четвёртый класс – четвёртый столбец таблицы 1 имеет высокую четвёртую амплитуду образов спектров, что соответствует $f_{4(рез)}$ =420 ± 15 Гц, K_4 = 1,61, где K_i – максимальные коэффициенты передач узкополосных частотных фильтров.

Приведены виды восьмеричных наблюдаемых кодов, их суммарные частоты выпадений из выборки в 11 состояний пчелиных семей. В последней строке приведены общие суммы частот наблюдаемых кодов для каждого класса.

Используя данные из таблицы 1, была вычислена апостериорная энтропия кодов первой выборки состояний по формуле

$$H(B_j / A_e) = -\sum_{j=1}^{n!} \frac{k_{je}}{S_e} \log_2 \frac{k_{je}}{S_e}, \quad (2)$$

где B_j – выпадающие коды выборки состояний пчелиных семей;

A_e – выборки состояний пчелиных семей;

k_{j_e} – суммарные частоты выпадающих j-*х* кодов *е*-й выборки;

S_e – суммарное количество выпавших кодов из пространства *n! е*-й выборки состояний пчелиных семей.

При L=1245 (табл. 1), $H(B_j\ /A_1)$ = *3,1* бит, (см. рис. – вычисляем энтропию появления параллельных двоичных кодов выборки состояний пчелиных семей) [3].

Затем вычисляют разницу между априорной и апостериорной энтропией:

$$H(B) - H(B_j\ /A_e). \qquad (3)$$

Если разница равна нулю, то делают вывод о точной установке узкополосных частотных фильтров на наиболее информативных частотных полосах частотного диапазона акустического шума пчелиных семей. В случае, если разница, между априорной и апостериорной отлична от нуля, необходимо провести перенастройку частот установки узкополосных частотных фильтров, но для этого первоначально необходимо установить, какие коэффициенты передач имеют узкополосные частотные фильтры.

При проверке коэффициентов передач узкополосных частотных фильтров установлено, что соотношения их числовых значений соответствуют соотношениям суммарных частот выпадений кодов:

$$\begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1,69 & 1,31 & 1,78 & 1,61 \\ 454 & 6 & 540 & 245 \end{matrix}, \qquad (4)$$

где первая строка – номера узкополосных частотных фильтров, вторая строка соответствует их коэффициентам передач, третья строка – суммарные частоты выпадений кодов.

Первоначально необходимо уравнять коэффициенты передач узкополосных частотных фильтров и снова провести анализ акустического шума пчелиных семей с различными состояниями.

В эксперименте № 2 провели перенастройку коэффициентов передач K_i узкополосных частотных фильтров, установив их равными K_1 = 1,32; K_2 = 1,32; K_3 = 1,32; K_4 = 1,32, а резонансные частоты установки узкополосных частотных фильтров оставили как в первом эксперименте. Проанализирован акустический сигнал пчелиных семей для семи состояний.

В таблице 2 приведены суммарные частоты появления кодов второй выборки из семи состояний пчелиных семей.

Снова была вычислена апостериорная энтропия второй выборки состояний $H(B_j\ /A_2)$ по формуле (2), которая составила 3,5 бит.

Во 2-м эксперименте вычисленная апостериорная энтропия приблизилась к искомой (4,58 бит). Соотношение суммарных частот выпадений кодов в таблице 2 стало более равномерным.

Таблица 2

Приведено суммарное наблюдение кодов для 7 состояний

1		2		3		4	
Виды кодов	Количество наблюдений	Виды кодов	Количество наблюдений	Виды кодов	Количество наблюдений	Виды кодов	Количество наблюдений
76	93	63	1	14	29	01	31
77	42	23	1	04	23	31	6
74	11	67	3	56	2	30	2
71	146	47	4	54	64	10	22
73	12	07	8	46	4	21	192
70	4	03	78	06	69	00	16
	$\sum = 308$		$\sum = 86$		$\sum = 203$		$\sum = 269$

В эксперименте № 3 оставили настройку коэффициентов передач K_i узкополосных частотных фильтров, как во втором эксперименте. Произвели перенастройку частот фильтров. Особое внимание обратили на настройку второго фильтра, частоту настройки которого первоначально приблизили к частоте настройки первого фильтра. После дальнейших подстроек фильтры 1-4 были настроены на частоты: $f_{1(рез)}$ =230 ± 15 Гц; $f_{2(рез)}$ =285 ± 15 Гц; $f_{3(рез)}$ =351 ± 15 Гц; $f_{4(рез)}$ =410 ± 15 Гц.

Анализировался акустический сигнал пчелиных семей для 20 состояний.

По полученным экспериментальным данным построили таблицу 3.

Была вычислена апостериорная энтропия кодов третьей выборки состояний по формуле для третьей выборки состояний (2): $H_3(B_j/A_3)$ = 4, 53 бит.

Таблица 3

Суммарное наблюдение кодов для 20 состояний

1		2		3		4	
Виды кодов	Количество наблюдений	Виды кодов	Количество наблюдений	Виды кодов	Количество наблюдений	Виды кодов	Количество наблюдений
76	38	63	21	14	29	01	32
77	42	23	39	04	39	31	43
74	48	67	61	56	55	30	46
71	36	47	41	54	48	10	50
73	40	07	31	46	31	21	40
70	27	03	36	06	28	00	21
	$\sum = 231$		$\sum = 229$		$\sum = 230$		$\sum = 232$

Для трёх экспериментов определили разницу априорной $H(B)$ и апостериорной энтропии $H(B/A)$ по формуле (3), в результате получили:

1. $H(B) - H(B_j/A_1) = 4{,}58 - 3{,}1 = 1{,}48$.
2. $H(B) - H(B_j/A_2) = 4{,}58 - 3{,}5 = 1{,}08$.
3. $H(B) - H(B_j/A_3) = 4{,}58 - 4{,}53 \to 0$.

В третьем эксперименте разница между априорной и апостериорной энтропией кодов третьей выборки состояний стремится к нулю. Делается вывод о более точной установке узкополосных частотных фильтров в наиболее информативных местах частотных полос анализируемого наиболее информативного частотного диапазона акустического сигнала пчелиных семей.

Таким образом, при анализе акустических сигналов повышение информативности сообщения достигается путём точной установки узкополосных частотных фильтров на наиболее информативных частотных полосах анализируемого частотного диапазона.

Список литературы

1. Еськов Е.К. Акустическая сигнализация общественных насекомых. – М.: Наука, 1979. – 209 с.

2. Пат. 2287138 Российская Федерация. Способ определения информативных частотных полос акустического сигнала пчелиных семей при распознавании их состояний / Рыбочкин А.Ф.; заявитель и патентообладатель Курский государственный технический университет. – №2004126298/28; заявл. 30.08.2004; опубл. 10.11.2006, Бюл. №31.

3. Рыбочкин А.Ф., Захаров И.С. Системный анализ акустических сигналов с использованием кодовых сообщений. – Курск, 2009. – 400 с.

4. Пат. 2259041 Российская Федерация. Способ и устройство диагностики

состояний пчелиных семей по их акустическому шуму / Рыбочкин А.Ф., Дрейзин В.Э., Захаров И.С., Дрёмов Б.Б., Кутузов А.А.; заявитель и патентообладатель Курский государственный технический университет. – №2003112780/12; заявл. 29.04.2003; опубл. 27.08.2005, Бюл. №24.

Получено 11.03.15

Mohsen Shamsan, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: Shamsan84@mail.ru)

ALGORITHM MORE INFORMATIVE MESSAGE WHEN ANALYSIS OF ACOUSTIC SIGNALS OBJECT PUBLISHED ACOUSTIC NOISE

In this paper we consider the possibility of increasing the information content of messages in the analysis of acoustic signals. In most of the spectral energy is released informative frequency band in which the n most informative set of frequency bands for the most infomativnosti.

The most informative frequency bands are relevant in the diagnosis of complex objects by their acoustic noise, the noise in the analysis of biological, technical and potentially dangerous objects.

***Key words**: samples of the spectra, frequency bands, entropy, diagnosis, status, coding, complex objects.*

УДК 614.841.46

В.В. Серебровский, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: sv1111@mail.ru)

Н.А. Ханис, аспирант, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: hn@tehshield.ru)

Е.В. Журавлева, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: evzhur11@mail.ru)

А.Л. Ханис, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: uinfo@swsu.ru)

МЕТОД И АЛГОРИТМ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МОДУЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ ПОМЕЩЕНИЙ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В статье рассматриваются особенности построения систем противопожарной защиты помещений центров обработки данных. Представлен метод и алгоритм анализа пожаробезопасности при применении модульной структуры автоматизированной защиты помещений центров обработки данных.

***Ключевые слова**: пожарная безопасность, система, датчик, анализ, концентрация.*

***

В существующих системах для обнаружения пожара используются дымовые пожарные извещатели. При определённой концентрации дыма в камере дымового датчика происходит его сработка. Для накопления концентрации необходимо время в зависимости от интенсивности дымовыделения.

Типовые размеры помещения ЦОД составляют в среднем 25 кв.м. Для обеспечения устойчивой работы серверного оборудования в помещении устанавливаются достаточно мощные системы кондиционирования. При работе системы кондиционирования и вентиляции происходит движения потоков воздуха в помещении, что, в свою очередь, увеличивает время обнаружения пожара точечным дымовым и тепловым датчиком. Для достижения критической температуры сработки теплового извещателя понадобится еще большее время, так как в помещении используется система кондиционирования.

Одним из первых экспериментальных исследований, целью которого было опре-

делить газы, выделяющиеся на начальной стадии горения (тления), было проведено в ВНИИПО МВД РФ в 1998 году. Состав выделяющихся при горении газов определялся при помощи хроматографии. Эксперименты показали следующее.

Оксид углерода (монооксид углерода, угарный газ, CO) – обязательный газовый компонент, образующийся в результате пиролиза (тления) материалов, используемых в строительстве (древесины, текстиля,синтетических материалов). На начальной стадии пожара, в процессе тления, концентрация оксида углерода быстро растёт, но потом резко снижается при переходе процесса в стадию пламенного горения.

Водород (H_2) – второй характерный компонент, выделяющийся при пиролизе материалов. Его концентрация растёт синхронно с окисью углерода в определенной пропорции.

В дальнейшем, при развитии пожара, происходит рост содержания диоксида углерода (углекислого газа CO_2) и ароматических углеводородов. При появлении пламенного горения концентрация углекислого газа резко возрастает, а оксида углерода и водорода с ароматическими углеводородами резко падает.

Эксперименты показали, что порог обнаружения системы раннего предупреждения пожара в атмосферном воздухе при нормальных условиях должен находиться для большинства газов, в том числе водорода и оксида углерода, на уровне 0,002% или ниже.

Основным каналом транспорта продуктов деструкции и сгорания являются конвективные потоки, однако CO и H_2 дополнительно перемещаются от тепловой колонки и припотолочных слоёв за счёт диффузионных процессов, вследствие этого CO и H_2 обладают большей проникающей способностью. Молекулы газа быстрее достигают точек установки извещателей, поскольку тепловая колонка легче перемещает молекулы CO и H_2, чем частицы сажи. Дым распространяется с задержкой относительно угарного газа и при уменьшении энергии теплового потока быстро осаждается.

Проведённые исследования послужили основанием для разработки системы прогнозирования и обнаружения пожара на ранних стадиях. Это должно в разы уменьшить время оповещения дежурного персонала для своевременного принятия мер, что позволит сократить до минимума ущерб для серверного оборудования.

Основой системы будут являться автономные контроллеры управления. Каждый должен будет анализировать состояние зон контроля.

Зоной контроля может выступать:

1) объем запотолончого пространства;
2) объем за фальшполом;
3) объем помещения;
4) объем серверной стойки (шкафа);
5) силовые трассы;
6) места высоковольтных соединений;
7) охранные извещатели.

Объем запотолочного пространства, фальшпола и объем серверной стойки необходимо контролировать общим контроллером и дымовыми извещателями. Контроль за остальными зонами будем выполнять контроллером для серверной стойки.

Результаты исследований показывают, что значительное количество CO и H_2 выделяется и при пиролизе электроизоляционных и радиотехнических материалов, что позволяет использовать газовые анализаторы для обнаружения возгорания кабелей и электронной аппаратуры. Следовательно, для анализа пожарного состояния в серверной стойке будем использовать датчики CO, H_2 и CO_2 (рис. 1).

Для получения достоверных данных выход потока воздуха необходимо сконцентрировать через установленную на верхней части вентиляторного модуля трубу, для того чтобы весь воздушный поток выходил через определённое сечение трубы. Если этого не сделать, то ана-

лиз содержания газов не будут достоверными, так как часть потока воздуха будет неучтённым для измерений. Установив трубу определённого сечения, массовая величина воздушного потока, проходящего через датчики, будет одинаковой в равные промежутки времени. Это нужно для измерений на основе постоянных данных. В этой же трубе расположим датчик температуры окружающей среды, который позволит контролировать температуру воздуха внутри стойки. Система будет выполнять контрольные измерения за определенные промежутки времени и отображать результат на графике. При повышения порогового значения температуры система начнет оповещать обслуживающий персонал о факте повышения температуры в виде звукового сигнала и графического отображения.

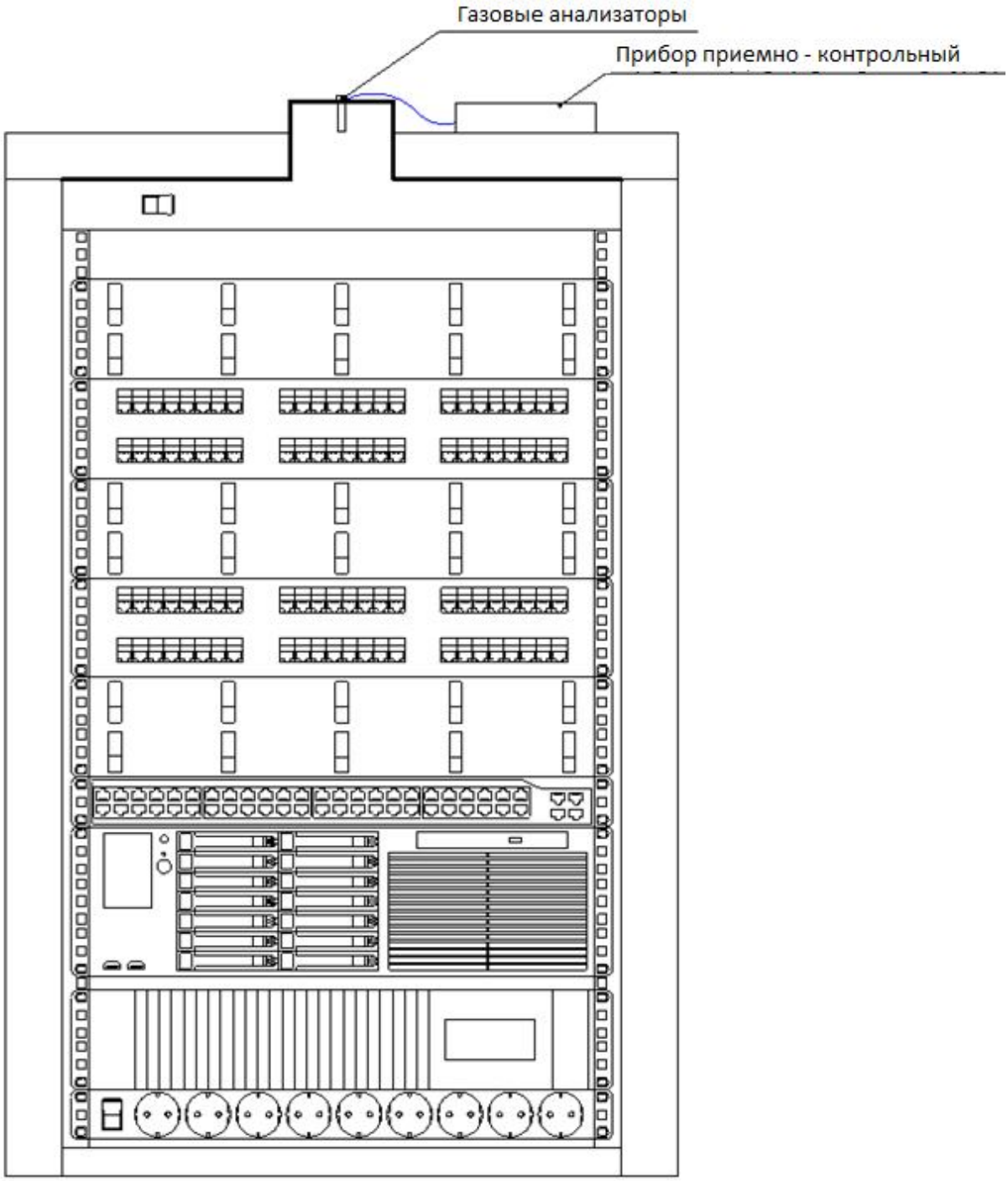


Рис. 1. Общая схема расположения оборудования в стойке

После монтажа стойки и оборудования необходимо перевести контроллер в режим обучения, который в течение нескольких часов во всех режимах работы оборудования будет производить статистический сбор. Минимальная концентрация кислорода в период режима обучения будет считаться за норму. После окончания режима обучения контроллер переводится в рабочий режим.

При появлении первых признаков пожара в стойке произойдет прямо пропорциональное увеличение газов CO и H_2. При первых признаках увеличения концентрации кислорода от состояния A1-норма контроллер запустит несколько контрольных точек отсчета в промежуток времени t1,….,t(n) для анализа изменения концентрации газов с одновременным оповещением персонала в виде графического отображения. Если за эти промежутки времени динамика концентрации газов стремится к состоянию A1-норма, система продолжит работать в штатном режиме (рис. 2).

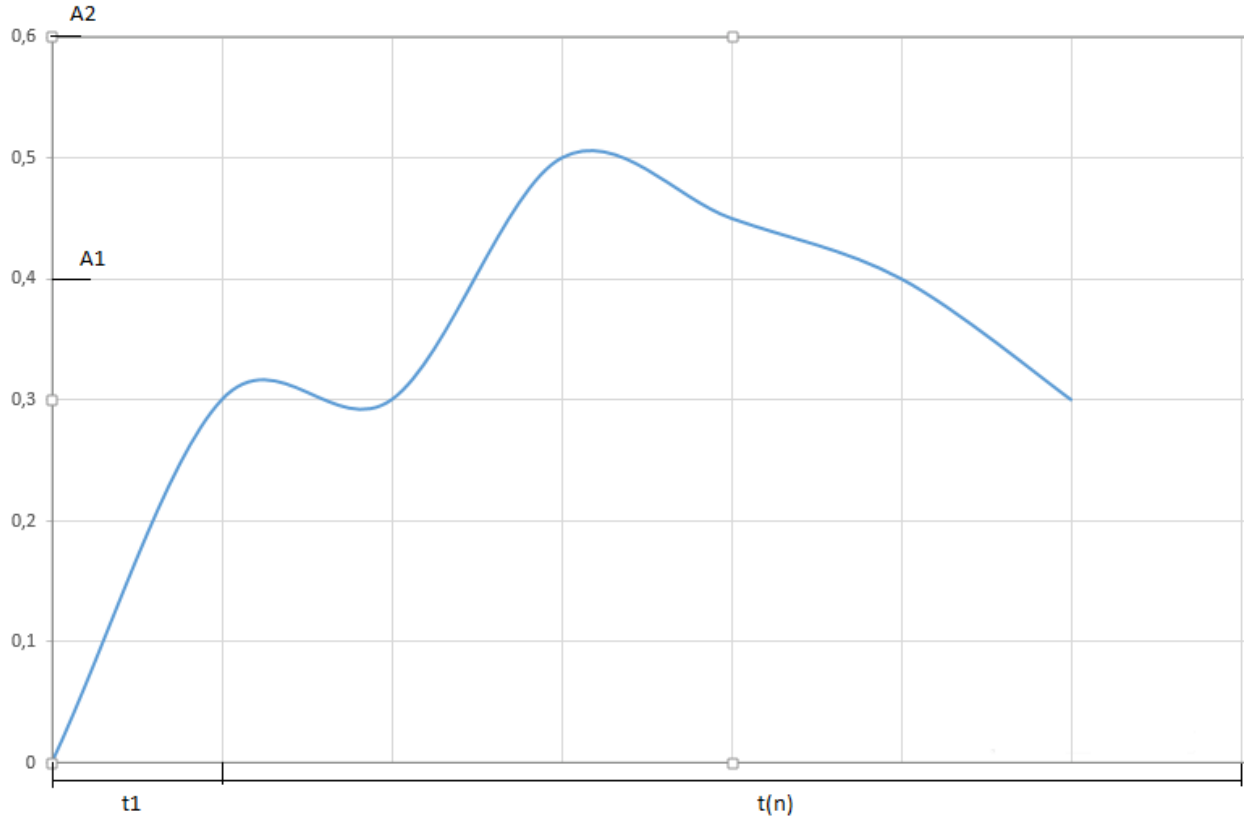


Рис. 2. Графическое отображение изменения концентрации газов с одновременным оповещением персонала: A1 – состояние «норма»; A2 – «критическое» состояние; t1…..tn – промежутки времени

Если динамика увеличения концентрации газов дойдет до состояния A2 – критическое состояние (рис. 3), система включит пожарную сигнализацию в стойке и одновременно выдаст оператору звуковой и графический сигнал «Внимание, опасность пожара», который будет служить флагом аварийного состояния в стойке и требовать немедленного вмешательства персонала для проверки состояния оборудования и наличия пожара. Если динамика увеличения концентрации газовь CO и H_2 дойдет до состояния A2, температурный датчик будет показывать температуру выше состояния нормы, а концентрация углекислого газа CO_2 начнет увеличиваться, система выдаст оператору сигнал «Пожар», который будет служить флагом критического состояния в стойке, и одновременно запустит

отсчет времени на реагирование персонала. Для проверки состояния оборудования персоналу необходим прямой доступ в серверное помещение со снятием охранной сигнализации, что даст команду контроллеру отменить работу автоматики. После обследования стойки и обнаружения признаков пожара персоналу необходимо покинуть помещение и выполнить запуск отключения питания и тушение пожара в стойке или в нескольких стойках с флагом «Авария» путем нажатия ручного извещателя. В случае отсутствия реагирования персонала в течение заданного промежутка времени система принимает решение об автоматическом отключении электроснабжения в стойке и локализации пожара.

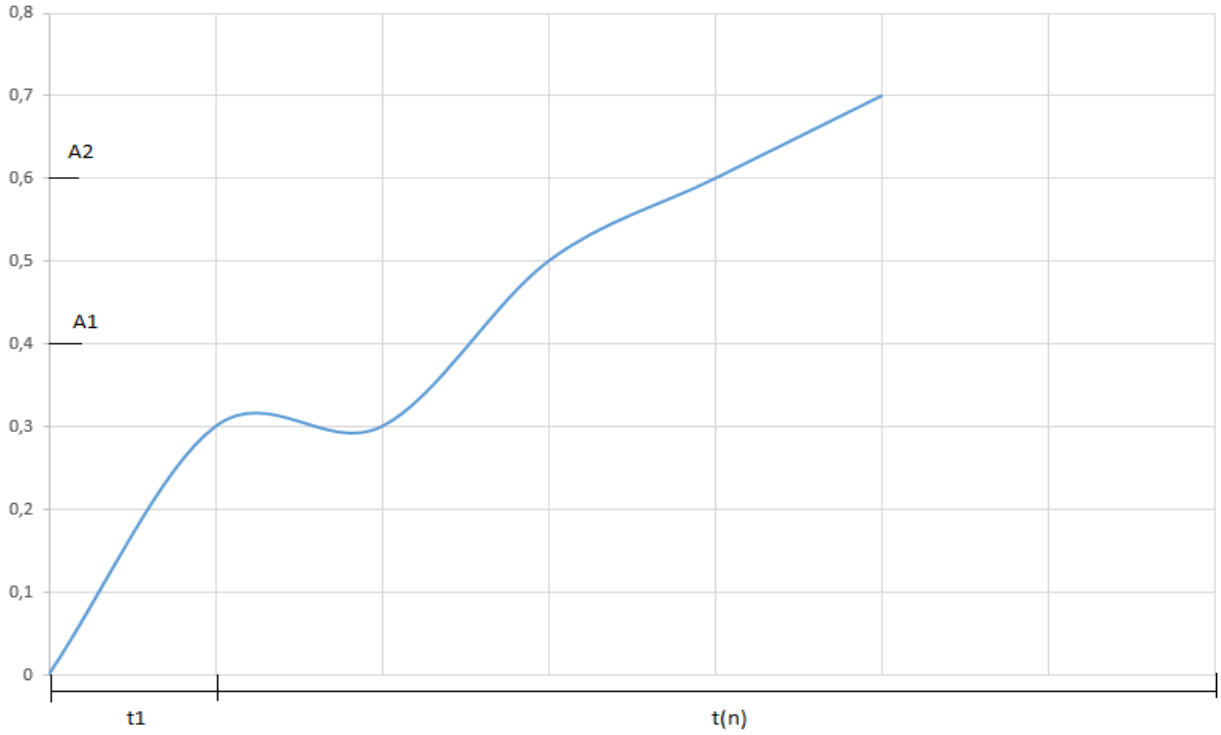


Рис. 3. Динамика увеличения концентрации газов: A1 – состояние «норма»; A2 – «критическое» состояние; t1…..tn – промежутки времени

Контрольные отсчеты времени будут даваться системой до тех пор, пока концентрация не придет в норму или не запустится автоматическая система пожаротушения.

Одной из возможных причин возникновения пожара является нагрев силовых соединений, розеток из-за плохого контакта. Для контроля температуры соединений предлагаем использовать чувствительные датчики температуры на силовых шинах блока розеток (рис. 4). При возникновении факта повышения температуры на силовых шинах система запускает выполнение контрольных измерений за определённые промежутки времени и по результатам строит график температуры с одновременным звуковым и графическим оповещением персонала. Если повышение температуры пройдет критическую отметку, то блок силовых розеток автоматически отключится и электроснабжение оборудования перейдет на резервное питание.

Расположить датчики температуры в блоке розеток можно различными способами. Первый способ (см. рис. 4) предполагает расположение по одному датчику на каждой шине блока розеток, в случае нагрева контактов в какой-то из розеток, произойдет нагрев всей шины, что послужит сигналом персоналу о повышенном нагреве в блоке розеток. Однако определить, в какой конкретно розетке

присутствует плохой контакт, получится только после вмешательства персонала.

Если разбить розеточные гнезда поблочно (рис. 5), по две розетки на блок, и в каждом блоке на шинах установить датчики температуры, то в случае нагрева любого розеточного гнезда персонал будет знать, в каком блоке происходит нагрев, что позволит более быстро найти существующую проблему плохого контакта. В дальнейшем эту систему можно будет использовать не только в блоках розеток, но и на отдельных розетках в существующих системах электропитания.

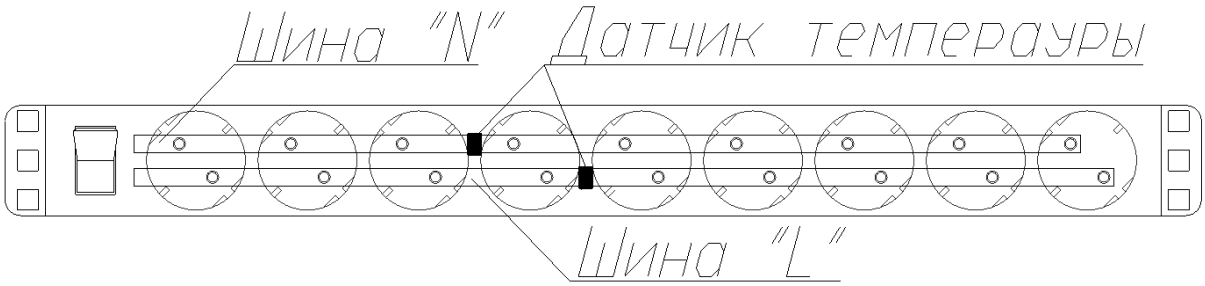


Рис. 4. Расположение датчиков температуры в блоке розеток:
шина «N» – шина «ноль»; шина «L» – шина «фаза»

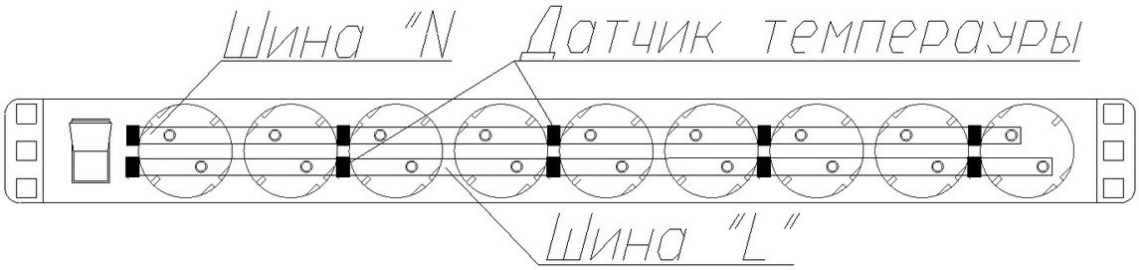


Рис. 5. Расположение датчиков температуры в блоке розеток поблочно:
шина «N» – шина «ноль»; шина «L» – шина «фаза»

По последним изменениям норм в кабельной продукции для построения силовых линий используются кабели, не поддерживающие горение при групповой прокладке. При повышенном использовании оборудования происходит повышение температуры силовых кабельных линий, что может являться одним из первых признаков нестабильности работы системы. Для выявления факта повышения температуры в кабеле предлагаем использовать чувствительные датчики температуры, которые будут передавать информацию в контроллер о состоянии силового вводного кабеля в стойке. Система должна будет выполнять контрольные измерения за определенные промежутки времени и отображать результат на графике. При повышения порогового значения температуры система начнет оповещать обслуживающий персонал о факте нагрева кабеля в виде звукового сигнала и графического отображения. Датчики необходимо установить в непосредственной близости к соединению в силовом вводе в стойку.

Данная система будет осуществлять контроль пожарного состояния, выдачу тревожных сигналов и выбор алгоритма на основе показаний исходя из трех контрольных состояний:

1. Регулярное состояние. Осуществляется постоянный контроль и измерение показаний датчиков с графическим отображением результата на экране обслуживающего персонала. Например:

Пусть, показания датчика температуры в стойке – Δt, датчика температуры розетки один в блоке розеток $\Delta p1$, датчика температуры розетки два – $\Delta p2$, датчи-

ка углекислого газа – ΔCO_2, тогда исходя из показаний создадим правила выбора решений:

Если Δt – средняя И Δp1 – низкая И Δp2 – низкая, то отправляем информационное сообщение на пост охраны о повышении температуры в стойке.

Если Δt – средняя И Δp1 – средняя И Δp2 – низкая, то отправляем информационное сообщение на пост охраны о повышении температуры в стойке и розетке один в блоке розеток, и т. д.

2. Предупредительное состояние. В случае превышения показаний определенной группы датчиков выше нормального состояния отправляем персоналу графическое и звуковое сообщение о необходимости проверить работу оборудования в стойке. Например:

Пусть, показания датчика температуры в стойке – Δt, датчика температуры розетки один в блоке розеток – Δp1, датчика температуры розетки два – Δp2, датчика углекислого газа – ΔCO_2, тогда, исходя из показаний создадим правила выбора решений:

Если Δt – высокая И Δp1 – низкая И Δp2 – средняя, то отправляем информационное сообщение на пост охраны о резком повышении температуры в стойке и необходимости принятия скорейших мер.

Если Δt – средняя И Δp1 – средняя И Δp2 – высокая ИЛИ Если Δt – средняя И Δp1 – высокая И Δp2 – низкая, то отправляем информационное сообщение на пост охраны о резком повышении температуры в блоке розеток и необходимости принятия скорейших мер.

3. Состояние пожара. В случае превышения показаний определенной группы датчиков выше нормального состояния отправляем персоналу графическое и звуковое сообщение о необходимости проверить работу оборудования в стойке, а также в зависимости от показаний включаем систему пожарной сигнализации и систему пожаротушения.

Например: пусть, показания датчика углекислого газа в стойке – ΔCO, датчика водорода – ΔH_2, датчика температуры в стойке – Δt, датчика углекислого газа – ΔCO_2, тогда исходя из показаний создадим правила выбора решений:

Если ΔCO – высокий И ΔH_2– высокий И Δt – высокая, И ΔCO_2 – низкий ИЛИ Если ΔCO – высокий И ΔH_2 – высокий И Δt – высокая, И ΔCO_2 – высокий, то отправляем информационное и звуковое сообщение на пост охраны о пожаре, включаем пожарную сигнализацию и запускаем отсчет времени на запуск системы пожаротушения.

Если ΔCO – высокий И ΔH_2– высокий И Δt – низкий, И ΔCO_2 – низкий, то отправляем информационное и звуковое сообщение на пост охраны о высокой опасности пожара и включаем пожарную сигнализацию.

Предполагается, что каждая стойка будет оснащаться индивидуально модулем пожаротушения, датчиком кислорода, модулем контроля и анализа температуры вводного силового кабеля, контактов на силовых шинах блока розеток. Это позволит в случае сработки системы пожарной безопасности, локализовать пожар в конкретной стойке, где произошло возгорание, а не запускать тушение всего объема помещения.

Данная система будет интегрироваться уже в существующую систему пожаробезопасности помещения ЦОД.

Данные меры позволят быстрее предотвратить и локализовать пожар в стойке ЦОД, следовательно, сохранить существующее оборудование, а также драгоценную информацию, которая может стоить гораздо больше, чем все установленное «железо».

Список литературы

1. Аксенов А.В., Козлов В.Р. Уникальные анализаторы кислорода в дымовых газах // Энергетик. – 2007. – №4.

2. Волков С.А. Противопожарная защита ЦОД. Опыт системного интегратора // Системы безопасности. – 2011. – №1.

3. Производственная и пожарная автоматика. – Ч. 2. Автоматические установки пожаротушения / В.П. Бабуров, В.В. Бабурин, В.И. Фомин, В.И. Смир-

нов; Академия ГПС МЧС. России. – М., 2007. – 298 с.

4. Смелков Г.И. Пожарная безопасность электропроводок. – М.: Изд-во ООО «Кабель», 2009. – 328 с.

5. Эдгар Аллан По. Анализ и синтез систем автоматического управления с распределенными параметрами. – М., 2005. – 296 с.

Получено 16.03.15

V.V. Serebrovskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: sv1111@mail.ru)

N.A. Khanis, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: hn@tehshield.ru)

E.V. Zhuravleva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: evzhur11@mail.ru)

A.L. Khanis, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: uinfo@swsu.ru)

METHOD AND ANALYSIS ALGORITHM AND PREDICTION OF THE FIRE SAFETY IN CASE OF APPLICATION OF MODULAR STRUCTURE OF AUTOMATED PROTECTION OF LOCATIONS OF DATA PROCESSING CENTERS

In article features of creation of fire protection systems of locations of data processing centers are considered. The method and an analysis algorithm of a fire safety in case of application of modular structure of automated protection of locations of data processing centers is provided.

***Key words**: fire safety, system, sensor, analysis, concentration.*

УДК 81.322

И.Н. Ефремова, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: Efremova-IN@inbox.ru)

В.В. Ефремов, ст. преподаватель, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail:V2@bk.ru)

СПОСОБ НЕТОЧНОГО ПОИСКА В ТЕКСТЕ, СОДЕРЖАЩЕМ ОШИБКИ АНТРОПОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

В работе рассматриваются вопросы специфики текстового поиска в условиях ошибок антропогенного характера, описывается разработанный авторами высокоскоростной способ поиска с игнорированием ошибок, а также алгоритмические и автоматные модели способа.

***Ключевые слова:** неточный поиск, поиск в тексте с ошибками.*

***

Введение

Символьная информация характеризуется зашумленностью $\xi=\{\beta,\gamma\}$, где β – ошибки техногенного характера, вызванные помехами при передаче и хранении данных (основой для их устранения, теоретически глубоко разработанной, является помехоустойчивое кодирование и соответствующая специализированная аппаратура), γ – ошибки антропогенного лексикографического характера (лексические ошибки и опечатки). Ошибки γ приводят к тому, что поисковый результат оказывается не исчерпывающим, а высокая вероятность их возникновения обусловливает необходимость их распознавания.

В настоящее время существуют два метода их распознавания. Первый метод – отнесение объекта к определенному классу путем сравнения с эталонными значениями (в данном случае со словами словаря). Этот метод требует больших затрат памяти для хранения словаря и вычислительную сложность, но в связи с

неполнотой словаря носит вероятностный характер. Кроме того, не всегда требуется аннулирование ошибок (отнесение объекта к классу), во многих случаях достаточно их игнорировать.

Второй метод как раз заключается в игнорировании лексикографических ошибок. Метод может быть использован в рамках неточного поиска текстовой информации.

1. Постановка задачи

Пусть имеются слова S1 и S2 в алфавите $B=\{b_i\}$, i=1,k; где k – мощность алфавита, и требуется доказать их эквивалентность:

$$S2 \triangleq \gamma' : S1, \qquad (1)$$

где $\gamma'=\{\wedge,\gamma_j\}$; i=1, m;

m – мощность множества допустимых ошибок γ;

$\triangleq$ – знак графического равенства;

«:» – знак применения элемента множества на слово.

При этом множество ограничим наиболее вероятными ошибками: γ1 – подстановка (например, короб-кароб); γ2 – исключение (например, короб-корб); γ3 – включение (например, короб-кооробо); γ4 – инверсия соседних элементов (например, короб-коорб); γ5 – инверсия через знак (например, короб-кобор); γ6- инверсия по два знака (например, игнорирование-игнориронивае).

2. Способ поиска с игнорированием ошибок антропогенного характера

Разработаем способ поиска с игнорированием лексикографических ошибок, заключающийся в следующем.

<u>I этап</u> (рекомендуемый) заключается в сопоставлении длины L1 слова S1 с длиной L2 образца S2 и априорного заключения о возможности выполнения условия эквивалентности (1), если L1=L2 или (L1=L2+1 и $\gamma'\subset\gamma 2$) или (L1=L2-1 и $\gamma'\subset\gamma 3$).

<u>II этап</u> заключается в сопоставлении символов, начиная с первого, слова S1 с образцом S2 и формировании на каждом шаге сопоставления признаков X (алгорифм A0 (2)), распознавания наличия ошибки γ_t (алгоритм At) и заключении о выполнении условия эквивалентности (1) (алгоритм A7 (9)).

Графы алгоритмов A1-A6, размеченные как автомат Мура, приведены на рисунке (*a-f* соответственно). Списки переходов автоматов, реализующих алгоритмы A1-A6, приведены в таблицах 1 – 6 соответственно, на основе которых построены автоматные продукционные ортогональные модели алгоритмов A1-A6 (3-8 соответственно).

При этом введены следующие условные обозначения:

i – номер текущего символа слова,

ik – указатель конца образца,

Sk – служебный символ конца слова,

X0-X4 – признаки равенства символов слова и образца,

Xks, Xko – признаки конца слова и образца соответственно,

Ptj, Ytj – состояния и выходы автоматов Мура,

Mt – признак разрешения t-й ошибки,

Y1,Y2 – признаки соответствия или несоответствия соответственно слова условию (1),

QL – признаки:

$$Q1=X0,\ Q2=\neg X0,\ Q3=Xks\&XkO,\ Q4=\neg X0\vee Xks\oplus XkO,\ Q5=X1\&\neg X0,\ Q6=\neg X1\&\neg X0,$$
$$Q7=X2\&\neg X0,\ Q8=\neg X2,\ Q9=Xks\&\neg XkO,\ Q10=XkO,\ Q11=\neg XkO,\ Q12=\neg X1\vee XkO,\ Q13=X1,$$
$$Q14=X2,\ Q15=\neg Xks\&XkO,\ Q16=\neg Xks,\ Q17=Xks,\ Q18=\neg X2\vee Xks,\ Q19=X3\&\neg X0,$$
$$Q20=\neg X3\&\neg X0,\ Q21=\neg X4,\ Q22=X4\&\neg X0,\ Q23=\neg X3. \qquad (1)$$

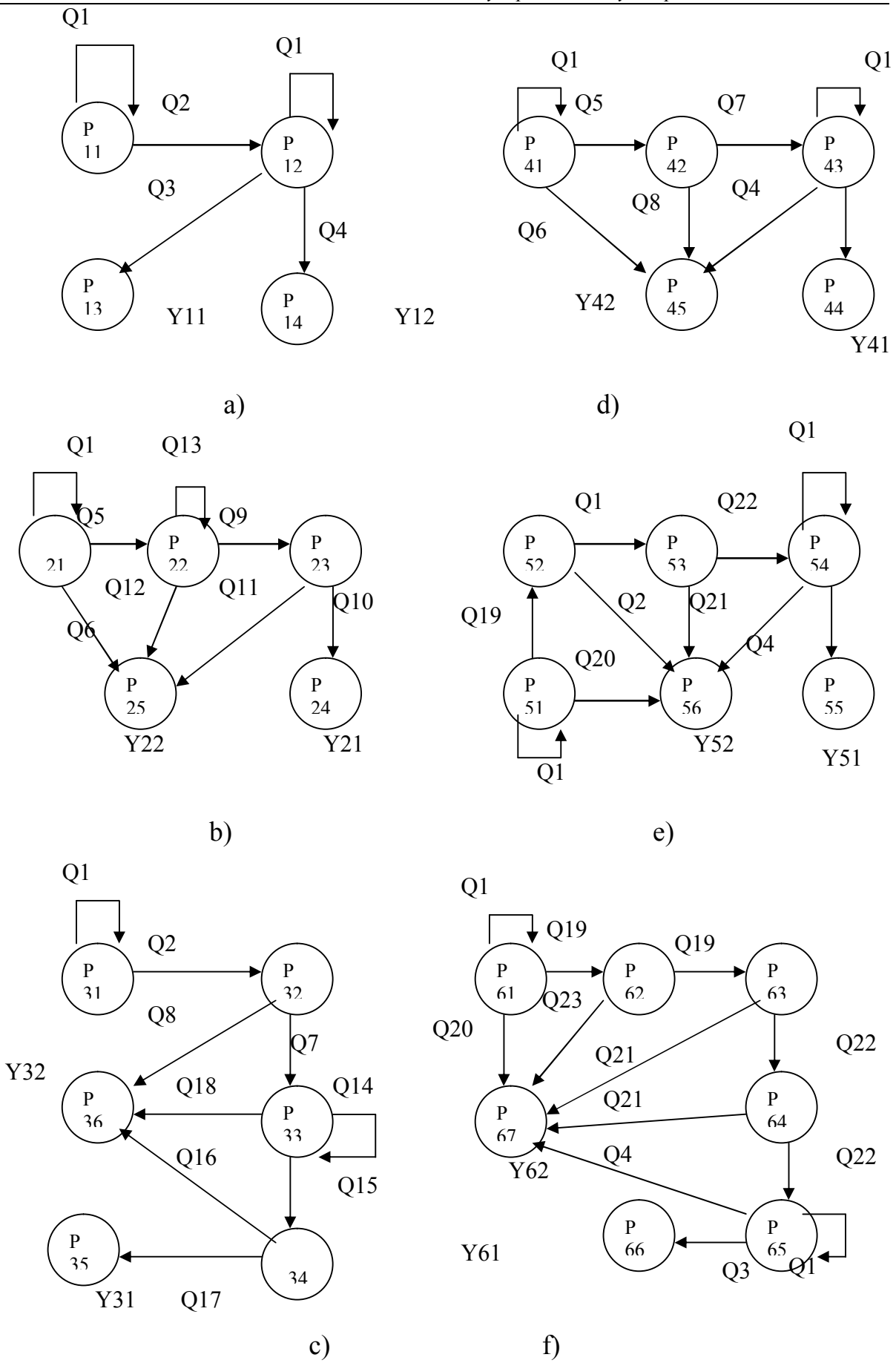


Рис. 1. Графы алгоритмов А1-А6, размеченные как автомат Мура

Таблица 1

Таблица переходов автомата обнаружения ошибки γ1

P_{ij}^{t}	Qk	Y_{ij}	P_{ij}^{t+1}
P11	Q1	^	P11
P11	Q2	^	P12
P12	Q1	^	P12
P12	Q3	Y11	P13
P12	Q4	Y12	P14

Таблица 2

Таблица переходов автомата обнаружения ошибки γ2

P_{ij}^{t}	Qk	Y_{ij}	P_{ij}^{t+1}
P21	Q1	^	P21
P21	Q5	^	P22
P21	Q6	Y22	P25
P22	Q13	^	P22
P22	Q9	^	P23
P22	Q12	Y22	P25
P23	Q11	Y22	P25
P23	Q10	Y21	P24

Таблица 3

Таблица переходов автомата обнаружения ошибки γ3

P_{ij}^{t}	Qk	Y_{ij}	P_{ij}^{t+1}
P31	Q1	^	P31
P31	Q2	^	P32
P32	Q7	^	P33
P32	Q8	Y32	P36
P33	Q14	^	P33
P33	Q15	^	P34
P33	Q18	Y32	P36
P34	Q16	Y32	P36
P34	Q17	Y31	P35

Таблица 4

Таблица переходов автомата обнаружения ошибки γ4

P_{ij}^{t}	Qk	Y_{ij}	P_{ij}^{t+1}
P41	Q1	^	P41
P41	Q5	^	P42

Окончание табл. 4

P_{ij}^{t}	Qk	Y_{ij}	P_{ij}^{t+1}
P41	Q6	Y42	P45
P42	Q7	^	P43
P42	Q8	Y42	P45
P43	Q1	^	P43
P43	Q4	Y42	P45
P43	Q3	Y41	P44

Таблица 5

Таблица переходов автомата обнаружения ошибки γ5

P_{ij}^{t}	Qk	Y_{ij}	P_{ij}^{t+1}
P51	Q1	^	P51
P51	Q19	^	P52
P51	Q20	Y52	P56
P52	Q1	^	P53
P52	Q2	Y52	P56
P53	Q21	Y52	P56
P53	Q22	^	P54
P54	Q1	^	P54
P54	Q4	Y52	P56
P54	Q3	Y51	P55

Таблица 6

Таблица переходов автомата обнаружения ошибки γ6

P_{ij}^{t}	Qk	Y_{ij}	P_{ij}^{t+1}
P61	Q1	^	P61
P61	Q12	^	P62
P61	Q20	Y62	P67
P62	Q23	Y62	P67
P62	Q19	^	P63
P63	Q22	^	P64
P63	Q2	Y62	P67
P64	Q21	Y62	P67
P64	Q22	^	P65
P65	Q1	^	P65
P65	Q4	Y62	P67
P65	Q3	Y61	P66

$$A0=\begin{cases} S2_i \rightarrow X0 \\ S2_{i-1} \rightarrow X1 \\ S2_{i+1} \rightarrow X2 \\ S2_{i-2} \rightarrow X3 \\ S2_{i+2} \rightarrow X4 \\ SK \rightarrow XKS \\ i\text{♎}ik \rightarrow Xko \end{cases} \quad (2)$$

$$A1=\begin{cases} P11\ Q1 \rightarrow \wedge\ P11 \\ P11\ Q2 \rightarrow \wedge\ P12 \\ P12\ \ Q1 \rightarrow \wedge\ P12 \\ P12\ \ Q3 \rightarrow *\ Y11\ P13 \\ P12\ \ Q4 \rightarrow *\ Y12\ P14 \end{cases} \quad (3)$$

$$A2=\begin{cases} P21\ \ Q1 \rightarrow \wedge\ P21 \\ P21\ \ Q5 \rightarrow \wedge\ P22 \\ P21\ \ Q6 \rightarrow *\ Y22\ P25 \\ P22\ \ Q13 \rightarrow \wedge\ P22 \\ P22\ \ Q12 \rightarrow *\ Y22\ P25 \\ P22\ \ Q9 \rightarrow \ \wedge\ P23 \\ P23\ \ Q11 \rightarrow *\ Y22\ P25 \\ P23\ \ Q10 \rightarrow *\ Y21\ P24 \end{cases} \quad (4)$$

$$A3=\begin{cases} P31\ Q1 \rightarrow \ \wedge\ P31 \\ P31\ Q2 \rightarrow \ \wedge\ P32 \\ P32\ \ Q8 \rightarrow *\ Y32\ \ P36 \\ P32\ Q7 \rightarrow \ \wedge\ P33 \\ P33\ Q14 \rightarrow \ \wedge\ P33 \\ P33\ Q15 \rightarrow \ \wedge\ P34 \\ P33\ \ Q18 \rightarrow *\ Y32\ \ P36 \\ P34\ \ Q16 \rightarrow *\ Y32\ \ P36 \\ P34\ \ Q17 \rightarrow *\ Y31\ \ P35 \end{cases} \quad (5)$$

$$A4=\begin{cases} P41\ \ Q1 \rightarrow \wedge\ P41 \\ P41\ \ Q5 \rightarrow \wedge\ P42 \\ P41\ \ Q6 \rightarrow *\ Y42\ \ P45 \\ P42\ \ Q7 \rightarrow \wedge\ P43 \\ P42\ \ Q8 \rightarrow *\ Y42\ \ P45 \\ P43\ \ Q1 \rightarrow \wedge\ P43 \\ \mathit{P43\ \ Q4} \rightarrow *\ Y42\ \ P45 \\ P43\ \ Q3 \rightarrow *\ Y41\ \ P44 \end{cases} \quad (6)$$

$$A5=\begin{cases} P51\ Q1 \rightarrow \wedge\ P51 \\ P51\ Q19 \rightarrow \wedge\ P52 \\ P51\ \ Q20 \rightarrow *\ Y52\ \ P56 \\ P52\ Q1 \rightarrow \wedge\ P53 \\ P52\ \ Q2 \rightarrow *\ Y52\ \ P56 \\ \mathit{P53\ Q22} \rightarrow \wedge\ \mathit{P54} \\ P53\ \ Q21 \rightarrow *\ Y52\ \ P56 \\ P54\ Q1 \rightarrow \wedge\ P54 \\ P54\ \ Q4 \rightarrow *\ Y52\ \ P56 \\ P54\ \ Q3 \rightarrow *\ Y51\ \ P55 \end{cases} \quad (7)$$

$$A6=\begin{cases} P61\ Q1 \rightarrow \wedge\ P61 \\ P61\ Q12 \rightarrow \wedge\ P62 \\ \mathit{P61\ \ Q20} \rightarrow *\ \mathit{Y62\ \ P67} \\ P62\ \ Q23 \rightarrow *\ Y62\ \ P67 \\ P62\ Q19 \rightarrow \wedge\ P63 \\ P63\ Q22 \rightarrow \wedge\ P64 \\ P63\ \ Q2 \rightarrow *\ Y62\ \ P67 \\ P64\ \ Q21 \rightarrow *\ Y62\ \ P67 \\ P64\ Q22 \rightarrow \wedge\ P65 \\ P65\ Q1 \rightarrow \wedge\ P65 \\ P65\ \ Q4 \rightarrow *\ Y62\ \ P67 \\ P65\ \ Q3 \rightarrow *\ Y61\ \ P66 \end{cases} \quad (8)$$

$$A7=\begin{cases} Yj1\ Mj \rightarrow Y1 \\ Yj2\ Mj \rightarrow Y2 \end{cases} \quad (9)$$

Перечисленные алгоритмы образуют следующую структуру:

$$\{i \to 1 \Rightarrow \begin{cases} M1: A0\ \ M2 \\ M2: A1\ A2\ A3\ A4\ A5\ A6\ \ :M3 \\ M3: i \to i+1\ \ M1 \end{cases} \Rightarrow A7 \quad (10)$$

Таблица 7

Пример работы алгоритма подстановки

i	$S1_i$	$S2_{i-2}$,$S2_{i-1}$,$S2_i$,$S2_{i+1}$,$S2_{i+2}$	X3, X1, X0, X2, X4	Xks,Xko	P1j,Y11,Y21
1	К	К О Р	1 0 0	0 0	P11 0 0
2	А	К О Р О	0 0 0 0	0 0	P12 0 0
3	Р	К О Р О Б	0 0 1 0 0	0 0	P12 0 0
4	О	О Р О Б	1 0 1 0	0 0	P12 0 0
5	Б	Р О Б	0 0 1	0 0	P12 0 0
6		О Б	0 0	1 1	P13 1 0

Пример работы алгоритмов приведен в таблице 7.

При этом S1=кароб, S2=короб для компактности представления из алгоритмов обнаружения ошибок проиллюстрирован только A1 (подстановка).

Заключение

Предлагаемый способ может быть использован в системах обработки символьной информации, описанных, например, в [1], в системах, использующих поиск текстовой информации типа [2-6]. Способ характеризуется одновременно высокой скоростью и малой информационной емкостью. Это обусловлено тем, что в результате сопоставления формируются битовые признаки и не требуется их хранения для всего слова, а только один такт сопоставления символов. Ориентированность разработанных алгоритмов на параллельное вычисление открывает возможности высокоскоростной аппаратной поддержки процесса поиска с игнорированием ошибок.

Список литературы

1. Информационные системы обработки и сжатия текста / В.В. Ефремов, И.Н. Ефремова, В.В. Серебровский, А.А. Черепанов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2014. – Вып.29/1, №1(172). – С. 182-185.

2. Ефремова И.Н., Серебровский В.В., Ефремов В.В. К вопросу построения информационно-образовательного мультимедийного интерактивного пространства // Преподавание информационных технологий в Российской Федерации: материалы Одиннадцатой открытой Всероссийской конф. (16-17 мая 2013 г.). – Воронеж, 2013. – 332 с.

3. Разработка концепции информационной системы построения информационно-образовательного мультимедийного интерактивного пространства / В.И. Шнырков, И.Н. Ефремова, В.В. Ефремов, Н.Н. Бочанова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2012. – №2-3. – С. 16-19

4. Структура информационной системы построения информационно-образовательного мультимедийного интерактивного пространства / В.И. Шнырков, И.Н. Ефремова, В.В. Ефремов, Е.И. Аникина // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника,

информатика. Медицинское приборостроение. – 2012. – №2-3. – С. 46-49.

5. Серебровский В.В., Ефремова И.Н., Ефремов В.В. К вопросу представления семантики естественно-языковых текстов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2014. –№2. – С. 37-41.

6. Ефремова И.Н., Ефремов В.В., Серебровский В.В. Концепция построения информационно-образовательного мультимедийного интерактивного пространства вуза// Преподавание информационных технологий в Российской Федерации: материалы Двенадцатой открытой Всероссийской конференции (15-16 мая 2014 г). – Казань, 2014. –С. 213-214

Получено 16.02.15

I.N. Efremova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: Efremova-IN@inbox.ru)

V.V. Efremov, Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk) (e-mail: V2@bk.ru)

METHOD OF GENERAL SEARCH IN TEXT WHICH INCLUDE HUMAN-MADE MISTAKES

The paper deals with the specifics of a text search in texts which include human-made mistakes. The paper deals with the method, which has been developed by the authors. This is a high-speed method of information search, ignoring mistakes. Also described algorithmic and automata models of this method.

Key words: *general search; search in the text which include mistakes.*

МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 615.47

А.Н. Шуткин, канд. физ.-мат. наук, Воронежский институт государственной противопожарной службы (e-mail: anshutkin@mail.ru)

Е.А. Бойцова, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: elena-boitcova@mail.ru)

Л.П. Лазурина, д-р биол. наук, профессор, Курский государственный медицинский университет

М.В. Писарев, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: rio_kursk@mail.ru)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МЯГКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАЩИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ ОРГАНИЗМА

Рассматриваются вопросы использования технологии мягких вычислений совместно с теорией измерения латентных переменных на основе статистической модели Г. Раша для решения задач оценки защитных механизмов человека от внешних воздействий.

***Ключевые слова**: уровень защитных свойств организма, латентные переменные, информативный признак.*

***

Введение

Известно, что вредному воздействию внешних и внутренних факторов препятствуют защитные механизмы человеческого организма, снижая риск возникновения и развития соответствующих заболеваний. Учесть влияние защитных механизмов в классификационных решающих правилах можно, синтезировав решающие правила определения уровня внутренней биологической защиты организма (в дальнейшем уровня защиты) по заболеванию ω_ℓ. Существует достаточно большое количество способов оценки защитных механизмов организма человека, например по состоянию иммунной системы, по величине функционального резерва, по адаптационному потенциалу и т.д.

Как показали результаты исследований, приведенных на кафедре БМИ ЮЗГУ, хорошей информативностью с точки зрения определения защитных свойств организма обладают адаптационный потенциал (АП), определяемый через индекс функциональных изменений (ИФИ) [1], и энергетическая сбалансированность (ЭС) меридианных структур организма, которая может быть определена по электрическим характеристикам биологически активных точек (БАТ), «связанных» с общесистемной реакцией организма (E23, E36, RP6, V40, V60 и VB20) [2, 6, 9, 14].

Однако ряд исследователей мало доверяют информативной ценности БАТ. Кроме того, наблюдается дефицит в соответствующих технических средствах.

В данной работе вместо электрических характеристик БАТ для оценки уровня защитных свойств организма исследуются информативные возможности ряда лабораторных показателей и показателя адаптационного соответствия (ПАС) [11, 14].

С математической точки зрения задача оценки уровня защитных свойств организма (*UZ*) относится к классу плохоформализуемых задач, поскольку отсутствует чётко сформулированное понятие защитных механизмов организма (ЗМО) на содержательном уровне. Различные группы специалистов дают собственные определения ЗМО, удобные для решения различных прикладных задач. В таких условиях легко объясняется отсутствие достаточно точных моделей классификации и оценки уровня ЗМО.

В математике существуют различные подходы к решению плохоформализуемых задач, среди которых важное ме-

сто занимает технология мягких вычислений, реализации которой посвящено значительное число работ, включая работы кафедры биомедицинской инженерии ЮЗГУ [3, 4, 5, 6, 7, 8, 17, 18, 19, 20]. К технологиям мягких вычислений вплотную примыкает теория измерения латентных переменных (IRT), которая основывается на том, что результат принимаемых решений не поддаётся прямым измерениям, в то время как исходные данные для его определения можно измерить и рассчитать [10, 15, 16, 21, 22].

Такая ситуация характерна и для задачи оценки уровня ЗМО, когда о его уровне можно судить на экспертном уровне, и признаки, его характеризующие, могут быть получены путём измерения физиологических характеристик организма.

С учётом того, что в России теория IRT не получила достаточного распространения, остановимся на её практической реализации более подробно.

В общем виде в теории IRT устанавливается связь между двумя множествами значений латентных переменных. Первое множество – значения латентных переменных, характеризующих уровень качества объектов θ_i, где i–номер объекта (i=1,2,…,n). Второе множество – значения латентных переменных, определяющих значимость j-го индикатора β_j (j=1,2, …, m) [21, 22].

Георг Раш предложил разместить на одной шкале уровень качества объектов θ_i и уровень значимости индикаторов β_j и измерять их в одних и тех же единицах, называемых логитами. За аргумент функции «успеха» или достижения данного уровня качества объекта принята разность $\theta_i - \beta_j$. Если данная разность положительна и велика, то высока и вероятность достижения «успеха», то есть высокого значения латентного показателя i-го объекта при j-м индикаторе. Если же данная разность отрицательна и велика по модулю, то будет низкой и вероятность достижения «успеха».

В интерпретации, рассматриваемой в данной работе, под успехом будем понимать возможность достаточно точной оценки уровня ЗМО (латентная переменная) по величинам признаков, характеризующих этот уровень (индикаторные переменные).

Метод исследования

В предлагаемой работе синтез решающих правил осуществляется в соответствии с общей методикой, описанной в работах [3, 4, 6, 7, 8]. Для решения задач разведочного анализа и выбора системы информативных признаков используется теория измерения латентных переменных на основе модели Г. Раша, в которой основной математической зависимостью является логистическая модель следующего вида [10, 21]:

$$P_{ij} = \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}}. \qquad (1)$$

В терминах решаемой задачи в выражении (1) параметр P_{ij} определяется как вероятность того, что у обследуемого с номером i при использовании информативных признаков x_j измеряется уровень защиты θ_i, определяемый в логитах при значении j-й индикаторной переменной; β_j – эффективность использования признака x_j для оценки величины уровня ЗМО.

Все латентные переменные измеряются в логитах, которые формируются при переходе от количественных шкал (традиционно принятые в медицине шкалы измерений информативных признаков) x_i к безразмерным интервальным шкалам K_i.

Для перевода количественных шкал x_i (i=1, 2, 3, …, n) в качественные шкалы K_i (i=1, 2, 3, …, n) используется формула вида

$$K_i = \begin{cases} \operatorname{int}\left(\dfrac{x_i - x_{i,\min}}{R_i}\right) & \text{при } x_i < x_{i,\max}; \\ n-1, & \text{при } x_i = x_{i,\max}, \end{cases} \qquad (2)$$

где x_i – текущее натуральное значение i-го индикатора;

$x_{i,\min}$ – наименьшее значение i-го индикатора;

$x_{i,\max}$ – наибольшее значение i-го индикатора;

R_i – длина интервала качественной шкалы;

n – основание качественной шкалы (n=2,3,…), выбираемое в соответствии с рекомендациями [10];

int(M) – целая часть числа M.

При этом длина интервала качественной шкалы определяется по формуле

$$R_i = \frac{x_{i,\max} - x_{i,\min}}{n}.$$

Для исследования роли индикаторных переменных в формировании латентной переменной разработан пакет прикладных программ RUMM 2020 (*Rasch Unidimensional Measurement Models*) [10, 16]. Используя значения индикаторных переменных, переведенных в логиты, пакет RUMM 2020 строит теоретические (характеристические) кривые модели Г. Раша, по которым судят о соответствии индикаторных переменных этой модели, и в ходе итерационных процедур формируют пространство информативных признаков.

Относительно теоретической кривой по обучающей выборке формируются три примерно равные группы − с низким, средним и высоким уровнем исследуемых состояний человека, для которых определяются координаты их средних значений. Считается, что если индикатор (информативный признак) хорошо соответствует общему набору индикаторов, то точки, соответствующие «слабым», «средним» и «сильным» уровням, близко располагаются относительно характеристической кривой.

Мера близости координат средних значений к теоретической кривой Г. Раша определяется по критерию Хи-квадрат.

В ходе реализации пакета RUMM 2020 рассчитываются:

– степень соответствия индикаторных переменных модели измерения (латентной переменной «утомление» - *ChiSq Prob* ($\chi^2_{\text{критич.}}\,\Pr ob$);

– местоположение индикаторной переменной, измеряемой в логитах – *Location*;

– погрешность измерения местоположения индикаторной переменной, измеряемой в логитах, *SE*;

– величина, характеризующая суммарное отклонение значений данного индикатора от ожидаемых значений, на основе модели – *FitResid.*

Считается, что индикаторная переменная, для которой $\chi^2_{\text{критич.}}\,\Pr ob \geq 0,05$ (при доверительной вероятности 0,95), удовлетворяет модели Г. Раша и может быть использована для описания исследуемой переменной. В работах [10, 22] можно найти подробное описание процедуры формирования списков индикаторных переменных, адекватных модели Г. Раша и пригодных для оценки исследуемой латентной переменной.

Используя теорию измерения латентных переменных с моделью Г. Раша, можно не только получить число, обозначающее информативность того или иного признака, но и дать развёрнутое описание ряда качественных свойств: способность дифференцировать шкалы принимаемых решений (уверенность в прогнозе, диагнозе); способность признака дифференцировать исследуемую латентную переменную в противоположность ожидаемой ситуации; определять признаки со сверхвысокой и сверхнизкой дискриминирующей способностью, признаки с «неупорядоченной» классификацией и т. д.

Такая гибкость анализа системы информативных признаков на основе модели Г. Раша позволяет рекомендовать её как один из основных механизмов проведения разведочного анализа при решении общих задач синтеза нечётких моделей прогностических и диагностических решающих правил.

Синтез решающих правил для оценки уровня защитных свойств организма

Как было отмечено во введении, в качестве индикаторных переменных выбраны показатели адаптационного потенциала (АП), адаптационного соответствия (ПАС) и группа лабораторных показателей [11,12,14].

Традиционно адаптационный потенциал оценивается по индексу функциональных изменений (ИФИ) Р. Баевского [1]. Однако в работе [12] было показано, что для решаемых в работе задач может быть использована более простая его модификация с расчётной формулой вида

$$АП=1,238+0,094ЧП, \quad (3)$$

где АП – адаптационный потенциал, баллы;

ЧП – частота пульса ударов в минуту.

Измерения проводят на лучевой артерии в течение одной минуты после 15 минут покоя.

Показатель АП имеет ту же классификационную способность по уровню адаптации, что и индекс функциональных изменений, со следующими порогами:

1) АП≤7,2 – удовлетворительный уровень адаптации;

2) 7,2< АП ≤ 8,24 – напряжение механизмов адаптации;

3) 8,24< АП ≤ 9,85 – неудовлетворительная адаптация;

4) АП> 9,85 – срыв механизмов адаптации.

В соответствии с рекомендациями работы [11] показатель адаптационного соответствия определяется по формуле

$$ПАС = 0,011(P - P^*) + 0,014(S - S^*) + +0,008(D - D^*) + 0,009(W - W^*), \quad (4)$$

где P, S, D, W – диагностически значимые частоты пульса (уд/мин) в среднем за сутки, систолическое и диастолическое давление среднее за сутки (мм рт. ст.), масса тела (кг) соответственно;

P^*, S^*, D^*, W^* – идеальные значения составляющих показателей, определяемые по следующему набору правил.

Для P^*: 20-29 лет 79 ± 10; 30-40 лет 78 ± 7; 50-59 лет 76 ± 9 ; 60-69 лет 77 ± 9; 70-79 лет 72 ± 9 ; 80-99 лет 73 ± 10 .

Для S^* возраст, равный или меньший 50 лет – 120 мм рт. ст., больше 50 лет – 140 мм рт. ст.

Для D^* возраст, равный или меньший 50 лет – 80 мм рт. ст., больше 50 лет – 90 мм рт. ст.

Для W^*: мужчины –

$$W^* = 50 + 0,32(p - 150) + (B - 21)/4;$$

женщины –

$$W^* = 50 + 0,75(p - 150) + (B - 21)/4;$$

p – рост на момент обследования, см;

B – количество полных лет на момент обследования.

Решение о величине функционального резерва принимается в соответствии со следующим алгоритмом.

1. Если $ПАС \le 0$, то функционирование организма не нарушено.

2. Если $0 < ПАС \le 0,3$, то функционирование организма компенсировано за счет собственных резервов или за счет медицинской помощи.

3. Если $ПАС > 0,3$, то функционирование организма нарушено, собственные ресурсы исчерпаны, медицинская помощь не полностью компенсирует нарушения.

Из множества лабораторных показателей группа экспертов отобрала следующий список [9]:

a_1 – иммунорегуляторный коэффициент CD4+/CD8+ (индекс);

a_2 – CD4+25+ Т-лимфоциты, экспрессирующие рецепторы к IL2 (процент от CD4+ Т-клеток);

a_3 – активированные NK-клетки (экспрессирующие HLA-DR-молекулы) (процент от NK-клеток);

a_4 – Фенопик NK-клеток CD3-16+56- (высокая) (процент).

Для этого набора показателей с использованием технологии Делфи были построены функции уровней защиты $f(a_1), f(a_2), f(a_3), f(a_4)$, отражающие мнение экспертов о том, при каких значениях базовых переменных a_1, a_2, a_3, a_4 организм будет защищаться от внешних воздействий и с какой степенью. Графики этих функций приведены на рисунке 1.

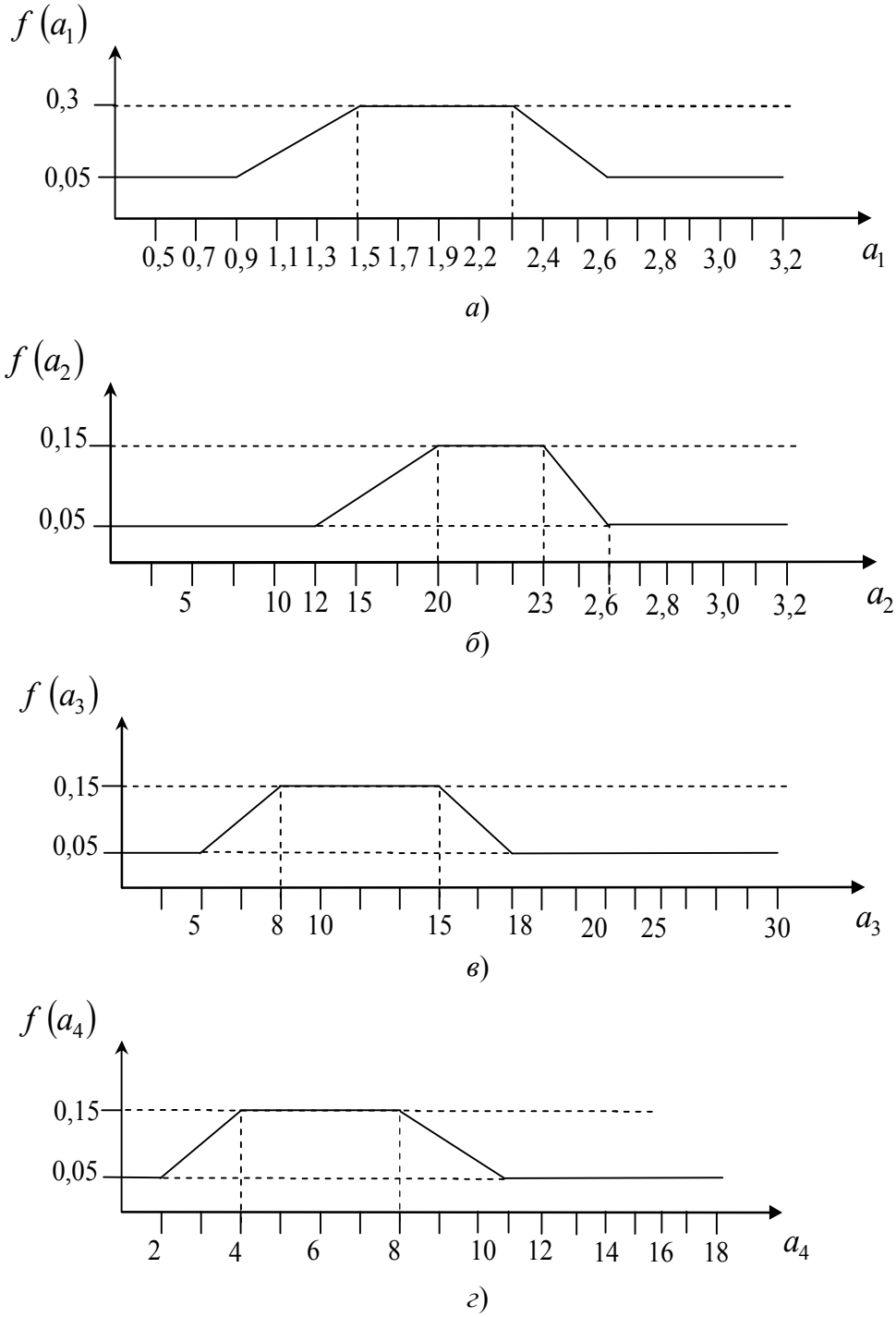


Рис. 1. Графики функций уровня защиты с базовой переменной:
а – a_1; б – a_2; в – a_3; г – a_4

С физиологической точки зрения поддержки в рамках коридора нормы каждого из лабораторных показателей увеличивает уровень защиты организма, что позволяет использовать модифицированную формулу Е. Шортлифа для оценки уровня защиты организма UZ_A по группе лабораторных показателей:

$$UZ_A(j+1) = UZ_A(j) + f(a_{j+1})[1 - UZ_A(j)], \quad (5)$$

где $UZ_A(1) = f(a_1)$.

Для синтеза математической модели оценки уровня защиты организма (UZ_F) была составлена таблица исходных данных, фрагмент которой представлен ниже.

В этой таблице N – номер обследуемого, IP – индикаторные переменные.

Результат обработки данных таблицы пакетом RUMM 2020 представлен на рисунке 2.

Расчетное критическое значение уровня значимости, характеризующее соответствие данного набора индикаторов модели Раша, при числе степеней свободы *df*=21, $\chi^2_{\text{критич.}}$ $Prob$=0, это меньше 0,05 (при доверительной вероятности, равной 0,95). Мощность (оценка) системы индикаторов (*Power of Test-of-Fit*) оценивается как очень плохая (*Too Low*).

В процессе работы диалоговой системы RUMM 2020 была получена таблица индикаторных переменных (рис. 3)

Значения показателей индикаторных переменных для переменной UZ_F

N / *IP*	1	2	3	4	5	6	…	98	99	100
ПАС	0,52	0,48	0,5	0,45	0,47	0,41	…	-0,11	-0,1	-0,08
UZ_A	0,05	0,07	0,09	0,08	0,1	0,12	…	0,48	0,47	0,5
АП	10,5	10,1	9,96	9,84	9,85	9,91	…	4,6	4,4	4,3

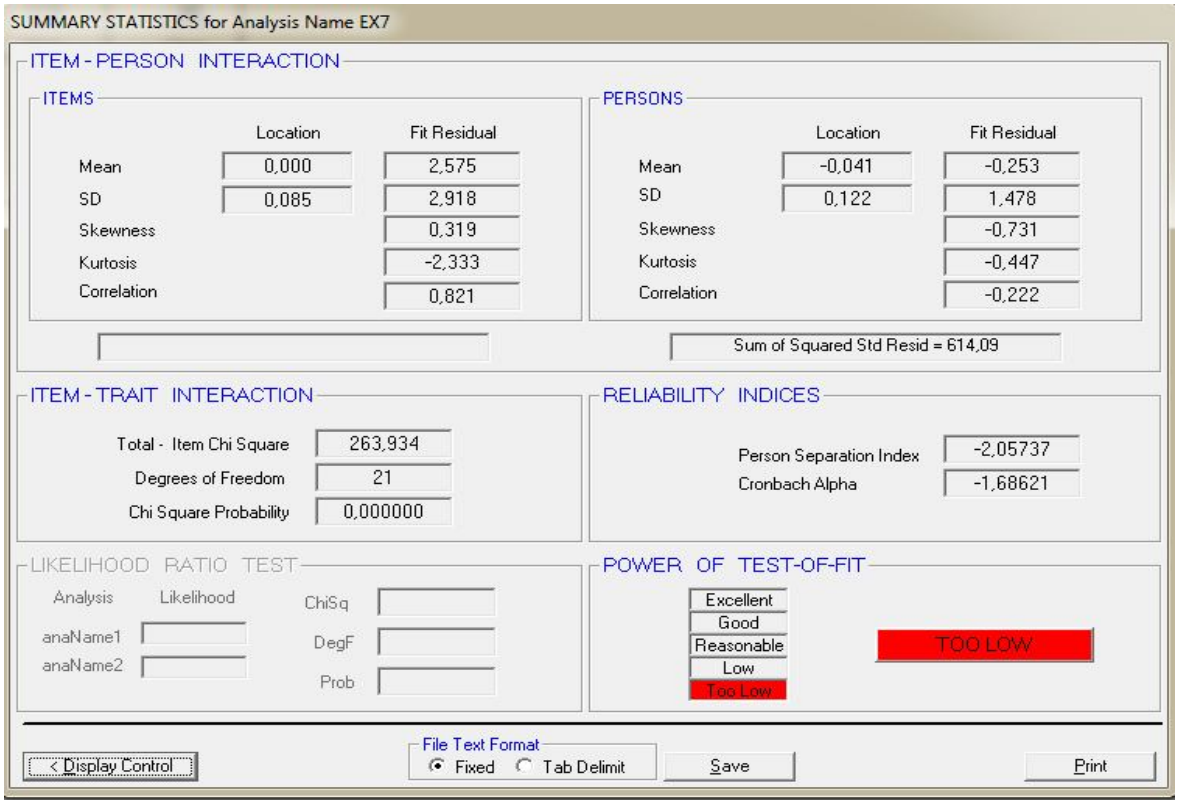


Рис. 2. Скриншот степени соответствия

	Seq	Item	Type	Location	SE	FitResid	DF	ChiSq	DF	Prob
1	1	I0001	Poly	0,055	0,041	1,495	63,00	69,401	7	0,000000
2	2	I0002	Poly	0,043	0,033	5,879	63,00	135,792	7	0,000000
3	3	I0003	Poly	-0,098	0,039	0,350	63,00	58,741	7	0,000000

Рис. 3. Скриншот таблицы индикаторных переменных

Из таблицы следует, что все индикаторные переменные имеют показатель $\chi^2_{\text{критич.}}$ $\Pr ob$=0. Это означает, что данный набор индикаторов не удовлетворяет модели Г. Раша.

Используя значения индикаторных переменных, пакет RUMM 2020 строит теоретические кривые модели Г. Раша, по которым судят о соответствии индикаторных переменных модели Г. Раша. Если индикатор (информативный признак) хорошо соответствует общему набору индикаторов, то точки, соответствующие «слабым», «средним» и «сильным» подгруппам, близко располагаются относительно характеристической кривой.

Набор характеристических кривых для индикаторов ПАС, UZ_A, АП приведен на рисунках 4-6, из которых следует, что ни один из информативных признаков не соответствует общему набору индикаторов.

Таким образом, результаты разведочного анализа показывают, что реальные данные не соответствуют модели Г. Раша, в то время как на профессиональном уровне эксперты придерживаются мнения о том, что каждый из выбранных показателей характеризует уровень защиты организма, более того, изменение этих показателей свидетельствует о величине уровня защиты.

В этих условиях в соответствии с рекомендациями работ [3, 4, 5, 7, 8] было принято решение по составляющим *АП* и *ПАС* построить частные функции принадлежности к классу «высокий уровень защиты организма» с агрегацией всех полученных составляющих с помощью модифицированной формулы Е. Шортлифа.

На рисунках 7 и 8 приведены соответствующие графики функций принадлежности.

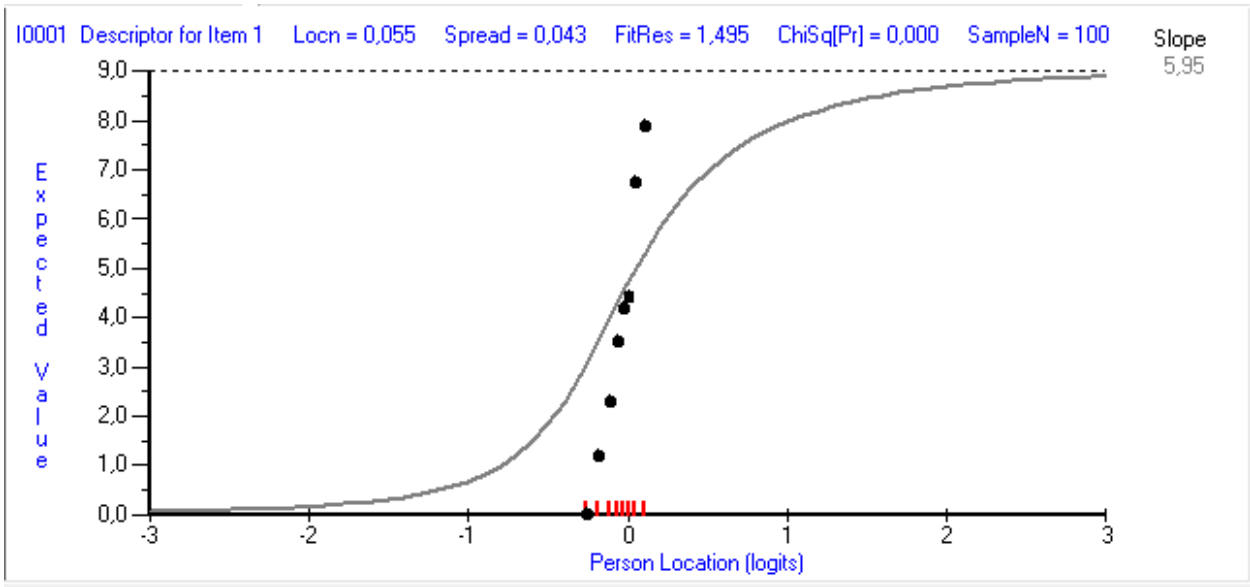


Рис. 4. Характеристическая кривая для индикатора ПАС

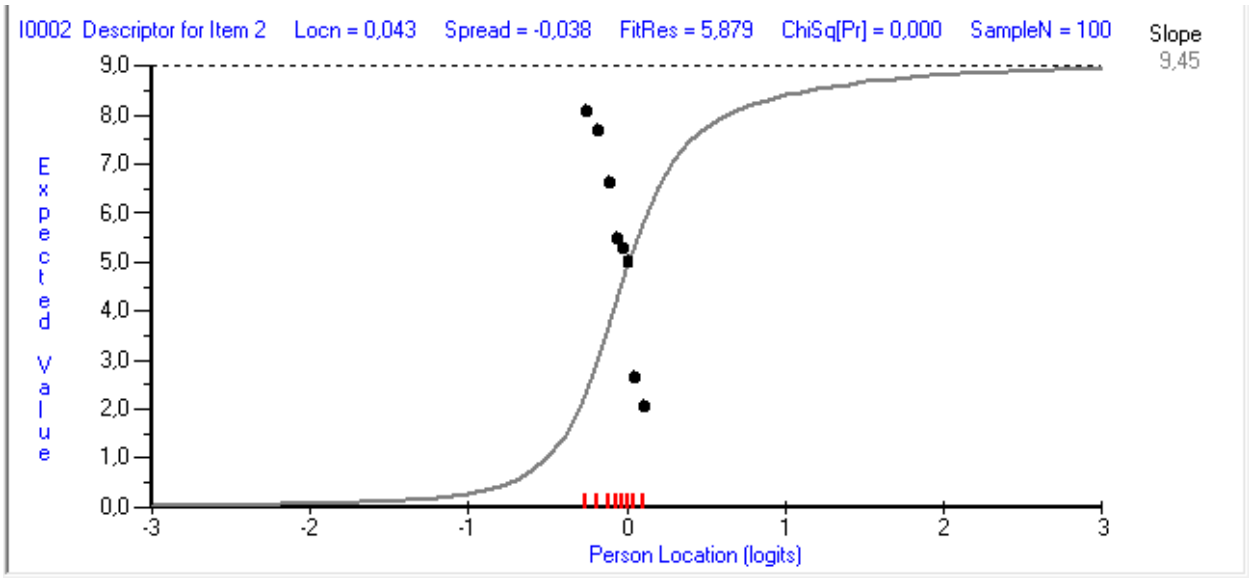


Рис. 5. Характеристическая кривая для индикатора UZ_A

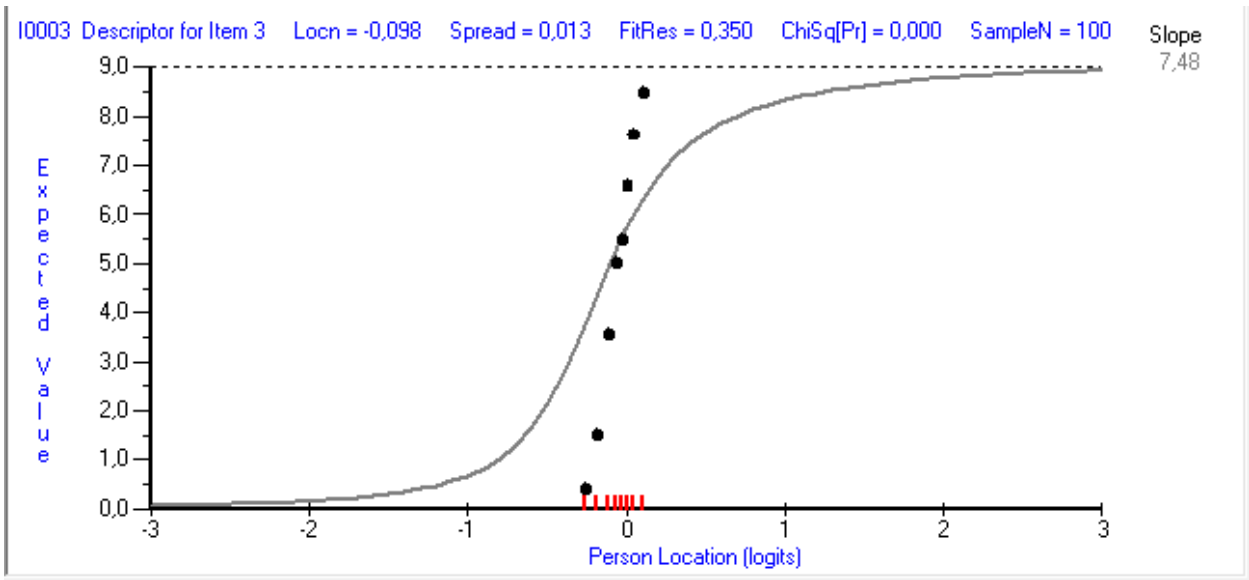


Рис. 6. Характеристическая кривая для индикатора АП

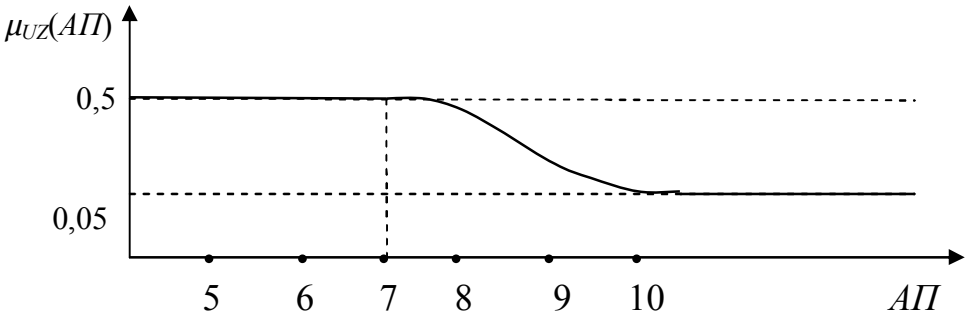


Рис. 7. Функция принадлежности к классу
«высокий уровень защиты» по показателю *АП*

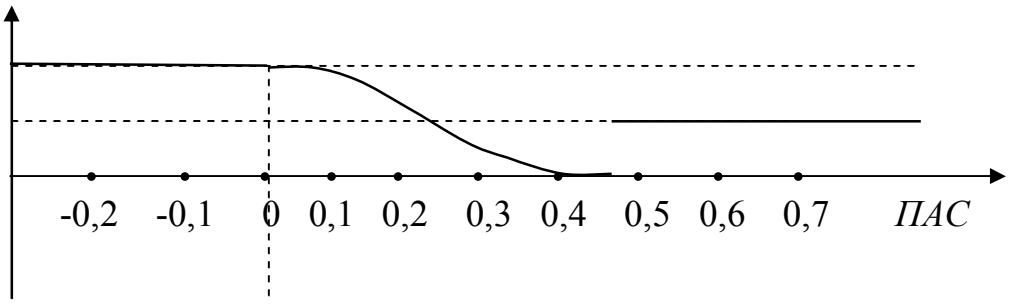


Рис. 8. Функция принадлежности к классу «высокий уровень защиты» по показателю *ПАС*

По выбранным трём показателям финальный уровень защиты UZ_F определяется выражением

$$UZ_F = UZ_A + \mu_{UZ}(ПАС) + \mu_{UZ}(АП) - UZ_A \cdot \mu_{UZ}(ПАС) - UZ_A \cdot \mu_{UZ}(АП) - \mu_{UZ}(ПАС) \cdot \mu_{UZ}(АП) + UZ_A \cdot \mu_{UZ}(ПАС) \cdot \mu_{UZ}(АП). \quad (6)$$

Эксперты, опрошенные по технологии Делфи, выразили своё доверие к выражению (6) на уровне 0,8.

Таким образом, в работе показано, что использование технологии мягких вычислений позволяет получать математические модели для количественной оценки уровня защитных механизмов организма от вредных воздействий.

Заключение

В работе показано, как, используя технологию мягких вычислений, можно синтезировать комбинированные нечёткие решающие правила для оценки такой характеристики организма, как уровень его защитных свойств. В серии специально проведённых исследований было показано, что числовые значения показателя UZ_F могут найти своё применение при решении задач прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики различных заболеваний при его использовании в качестве дополнительного информативного признака.

Эффективность использования показателя UZ_F для решения задач прогнозирования и ранней диагностики заболеваний исследовалась на таких заболеваниях, как патология желудочно-кишечного тракта, нервной системы, костно-мышечной системы и соединительных тканей. Исследования проводились в экологически неблагоприятном районе Курской магнитной аномалии [13] .

В ходе проведённой работы было установлено, что использование такого дополнительного признака, как величина UZ_F, позволяет улучшить качество прогнозирования и ранней диагностики исследуемых классов заболеваний на 12±2%, что позволяет рекомендовать полученную математическую модель к практическому использованию.

Список литературы

1. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. – М.: Медицина, 1997. – 235 с.

2. Оценка уровня защитных механизмов организма по энергетической сбалансированности меридиан и адаптационному потенциалу и их влияние на обострение кожных болезней / Н.А. Кореневский, М.И. Лукашов, Р.А. Крупчатников, А.В. Еремин // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2009. – Т. 8, №1. – С. 83-86.

3. Кореневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2015. – №1. – С. 33-35.

4. Кореневский Н.А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – №2. – С. 99-103.

5. Интерактивный метод классификации в задачах медицинской диагностики / Н.А. Кореневский, С.В. Дегтярев, С.П. Серегин, А.В. Новиков // Медицинская техника. – 2013. – №4. – С. 1-3.

6. Кореневский Н.А., Крупчатников Р.А., Аль-Касасбех Р.Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 528 с.

7. Кореневский Н.А., Крупчатников Р.А., Горбатенко С.А. Синтез нечетких сетевых моделей, обучаемых по структуре данных для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2008. – №2. – С. 18-24.

8. Кореневский Н.А., Руцкой Р.В., Долженков С.Д. Метод прогнозирования и диагностики состояния здоровья на основе коллективов нечетких решающих правил // Системный анализ и управление в биомедицинских системах – 2013. – Т.12, №4. – С. 905-909.

9. Метод оценки защитных свойств организма на основе нечёткой модификации модели Г. Раша / Н.А. Кореневский, А.Н. Шуткин, В.В. Федянин, Е.А. Бойцова // Извести Юго-Западного государственного университета. – 2014. – №6. – С. 70-74.

10. Маслак А.А. Измерение латентных переменных в социально-экономических системах: монография. – М., 2006. – 333 с.

11. Пат. 2342900 Рос. Федерация. Способ оценки функциональных резервов организма / Курникова Н.А. – №2007(38472/14/042084); заявл. 18.10.2007; опубл. 10.01.2009, Бюл. №1. – 693 с.

12. Пат. 2314019 Рос. Федерация. Способ оценки адаптационного потенциала / Коневских Л.А., Оражский И.Е., Лихачёва Е.А. – №2006101839/14; заявл. 23.01.2006; опубл. 10.01.2008, Бюл. №1.

13. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами, на основе гетерогенных моделей / Н.А. Кореневский, В.И. Серебровский, Н.А. Коптева, Т.Н. Говорухина. – Курск, 2012. – 231 с.

14. Оценка защитных механизмов организма и их роль в задачах прогнозирования и медицинской диагностики / С.В. Харьков, С.Д. Долженков, С.Н. Кореневская, А.Г. Коцарь // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2012. – Т.11, №1. – С.44-49.

15. Andrich D. Advanced Social and Education Measurement. – Perth:Murdoch Univerity, 2001. – 128 p.

16. Getting Started RUMM 2010/ Rasch Unidimensional Measurement Models. –Pert: RUMM Laboratory Ltd, 2001. – 87 p.

17. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems / N.A. Korenevsky, S.A. Gorbatenko, R.A. Krupchatnikov, M.I. Lukashov // Biomedical Engineering. – 2009. – Vol. 43, №4. – P. 187-190.

18. Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis / N.A. Korenevsky, S.V. Degtyarev, S.P. Seregin, A.V. Novikov // Biomedical Engineering. – 2013. – Vol. 47. – Issue 4. – P. 169-172.

19. Korenevskiy N.A., Krupchatnikov R.A., Gorbatenko S.A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems // Biomedical Engineering. – 2013. – Vol. 42, N 2. – P. 67-72.

20. Korenevskiy N.A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert Systems // Biomedical Engineering. – 2013. – Vol. 49. – Issue 1. – P. 46-49.

21. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence anent tests (Expanded edition, with foreword and afterword bu Benjamin D. Wright). – Chicago: University of Chicago Press, 1980. –199p.

22. Smith E.V., Smith M.S. Introduction to Rasch Measurement Theory, Models and Applications. – Marle Grove, Minnesota: JAM Press, 2004. – 689 p.

Получено 02.04.15

A.N. Shutkin, Candidate of Sciences, Voronezh Institute of State fire service
(e-mail: anshutkin@mail.ru)

E.A. Boitcova, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: elena-boitcova@mail.ru)

L.P. Lazarina, Doctor of Sciences, Professor, Kursk State Medical University

M.V. Pisarev, Southwest State University (Kursk) (e-mail: rio_kursk@mail.ru)

THE USE OF SOFT COMPUTING TECHNOLOGIES FOR EVALUATING PROTECTIVE MECHANISMS OF THE BODY

Examines the use of technology, soft computing in conjunction with the theory of measurement of latent variables based on statistical models G. rush for the tasks of evaluation of the protective mechanisms of the person from external influences.

***Key words**: level of protective properties of the organism, latent variables, informative sign.*

УДК 614.8:572.18+354.72(096):262.58

Н.М. Агарков, д-р мед. наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: vitalaxen@mail.ru)

К.Ф. Макконен, д-р мед. наук, профессор, ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (e-mail: makkonk@yandex.ru)

И.С. Гонтарева, аспирант, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: snamisng@yandex.ru)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПАРОДОНТИТА С ОРТОДОНТИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИЕЙ В ДЕТСКОМ ВОЗРАСТЕ

В статье рассматриваются прогнозные тенденции заболеваемости детей пародонтитом, сочетанного с ортодонтической патологией, и вопросы классификации с другой стоматологической заболеваемостью на основе дискриминантного метода.

***Ключевые слова:** математическое прогнозирование, дифференциальная диагностика, пародонтит, ортодонтическая патология.*

***

При изучении заболеваемости детей пародонтитом важным аспектом является прогнозирование данной патологии, позволяющее, по мнению различных исследователей [4, 5, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 20], получить тенденции на ближайший временной период. Одновременно необходимо при выявлении указанной патологии определить информативные признаки с различной биологической модальностью и построить дискриминантные функции для выполнения дифференциальной диагностики [1, 2, 3, 6, 9, 10, 11, 16, 19, 22].

Проведено изучение динамики и прогнозирование заболеваемости пародонтитом среди детского населения Белгородской области в 2008-2015 годах.

Математическое прогнозирование по методу Брауна заболеваемости детей пародонтитом с ортодонтической патологией в Белгородской области показывает негативный тренд (рис. 1). По данным краткосрочного прогнозирования, в Белгородской области в 2013-2015 годах произойдёт статистически значимое повышение частоты пародонтита с ортодонтической патологией среди детского населения области с ежегодным абсолютным приростом +453 случая на 10000 детского контингента, и в 2015 г. уровень данной патологии прогнозируется на уровне 9585 случаев при исходном значении 8226 случаев в 2012 г.

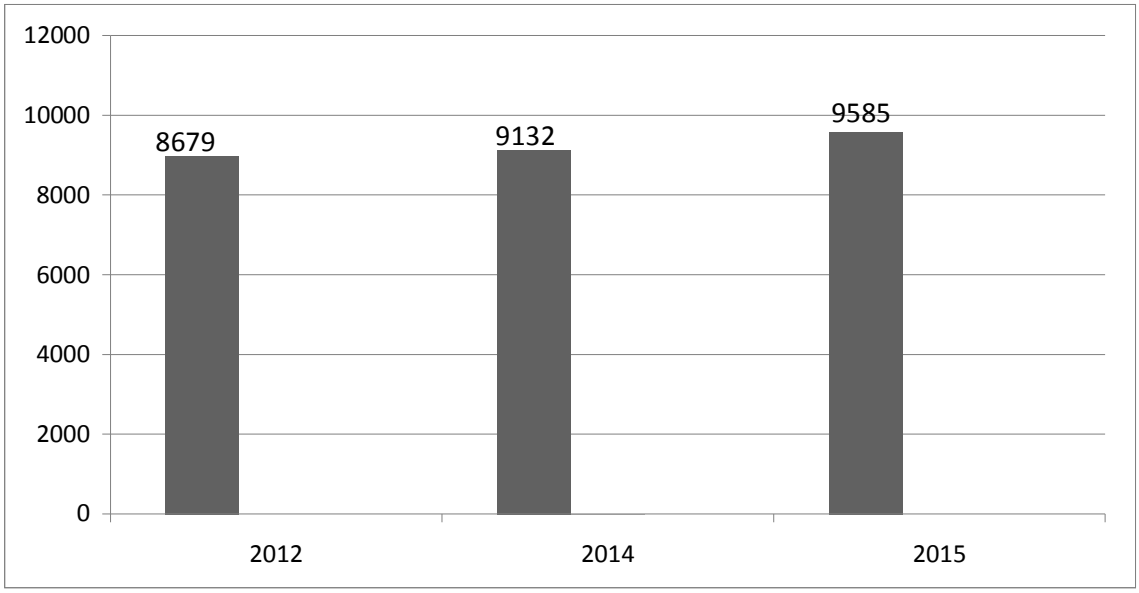


Рис. 1. Прогнозируемая заболеваемость пародонтитом с ортодонтической патологией на 2013-2015 гг. в Белгородской области на 100000 детей (по оси абсцисс – изучаемые годы, по оси ординат – прогнозируемая частота)

С более высоким абсолютным приростом (ежегодно +2184 случая на 100000 детей) прогнозируется увеличение заболеваемости среди детского контингента пародонтитом с ортодонтической патологией в одном из неблагополучных районов – Борисовском районе (рис. 2). Прогнозируемая частота патологии в 2015 г. составит 33540 случаев на 100000 детей, что репрезентативно ниже исходной величины 2012 г. (26989 случаев на 100000 детей ($P<0,001$)).

Для построения математических моделей по прогнозированию заболеваемости детей пародонтитом с ортодонтической патологией от основных атмосферных загрязнителей и содержания микроэлементов в питьевой воде в одном из неблагополучных районов области – в Губкинском районе – проведены первоначально корреляционный, кластерный анализ и метод главных компонент с целью выделения значимых взаимосвязей и сокращения информативного пространства исследуемых признаков.

Корреляционный метод позволил установить достоверные прямые связи между заболеваемостью детей пародонтитом с ортодонтической патологией с превышением ПДК по оксиду углерода ($r=+0,453$), по неорганической пыли ($r=+0,521$), по толуолу ($r=+0,334$), древесной пыли ($r=-0,338$), диоксиду серы ($r=+0,608$), фенолу ($r=+0,543$), аммиаку ($r=+0,597$), саже ($r=-0,402$), оксиду азота ($r=+0,465$), марганцу ($r=+0,321$), хлористому водороду ($r=+0,587$), ацетону ($r=+0,574$). С другими изученными атмосферными загрязнителями и рассматриваемой патологией установлены как прямые недостоверные (оксид железа, оксид марганца), так и обратные связи (формальдегид, уайт-спирит, бензол).

Оценка межгруппового взаимодействия антропогенных загрязнителей атмосферы и частоты пародонтита с ортодонтической патологией среди детей (рис. 3) позволила выделить однородные кластеры. Заболеваемость пародонтитом с ортодонтической патологией детей находится в тесной интеграции при достоверном уровне объединения с превышением ПДК по фенолу, формируя 4-й кластер.

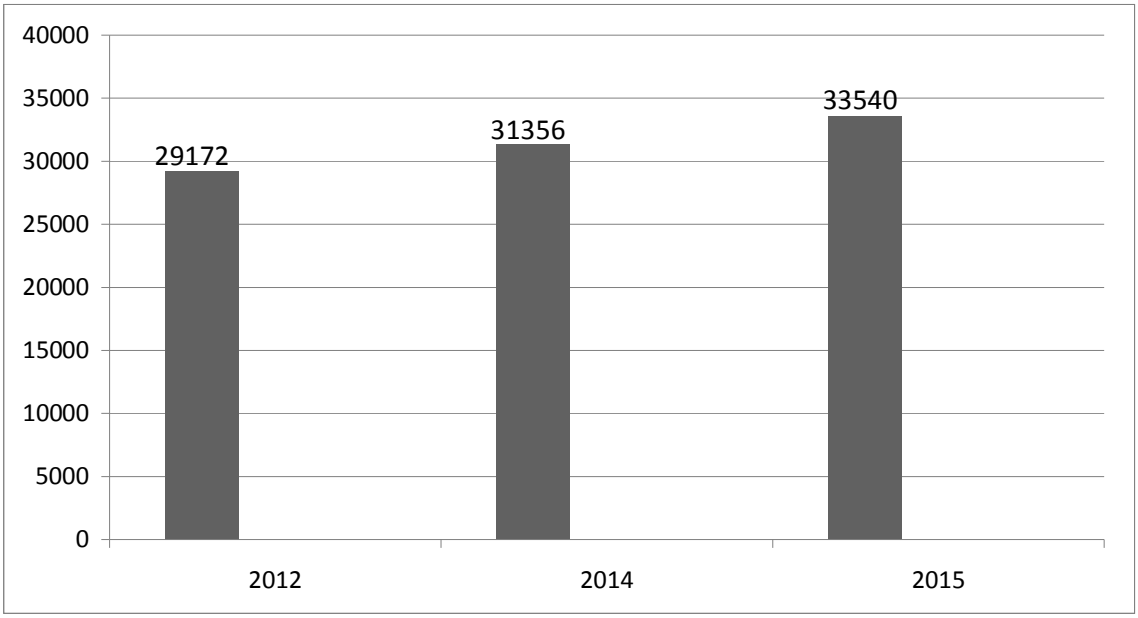


Рис. 2. Прогнозируемая заболеваемость пародонтитом с ортодонтической патологией на 2013-2015 гг. в Борисовском районе на 100000 детей (по оси абсцисс – изучаемые годы, по оси ординат – прогнозируемая частота)

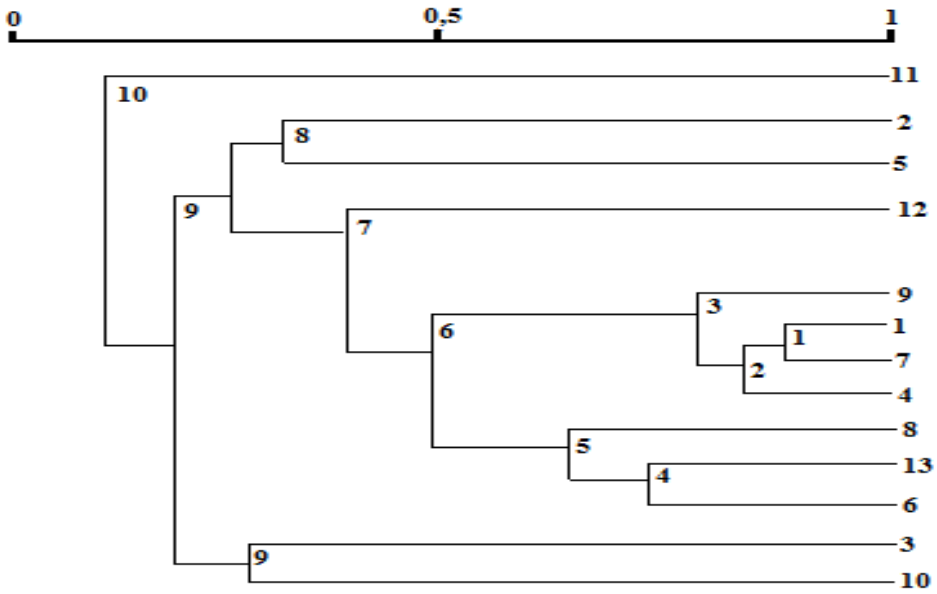


Рис. 3. Дендрограмма взаимодействия распространённости пародонтита с ортодонтической патологией в детской популяции и загрязнителей атмосферы в 2000-2012 гг.: 1 – оксид углерода; 2 – неорганическая пыль; 3 – толуол; 4 – древесная пыль; 5 – диоксид серы; 6 – фенол; 7 – аммиак; 8 – сажа; 9 – оксид азота; 10 – марганец; 11 – хлористый водород; 12 – ацетон; 13 – пародонтит с ортодонтической патологией

Более выраженное взаимодействие имеется между отдельными атмосферными загрязнителями и, в частности, между оксидом углерода и аммиаком, древесной пылью, образующих 1-й и 2-й кластеры соответственно. Интеграция других антропогенных загрязнителей атмосферы между собой существенно ниже. Наиболее низкий и недостоверный уровень интеграции свойственен хлористому водороду.

При обработке данных загрязнителей и частоты пародонтита с ортодонтической патологией среди детей г. Губкина выделено две главные компоненты с максимальным вкладом первой компоненты – 49,7% (табл. 1).

Таблица 1

Главные нормированные компоненты влияния атмосферных загрязнителей на заболеваемость пародонтитом с ортодонтической патологией у детей в Губкинском районе в 2008-2015 гг.

Признаки	ГНК 1		ГНК 2	
	r	%	r	%
1	-0,214	-1,4	+0,287	+0,1
2	-0,362	-4,7	-0,572	-2,3
3	-0,255	-5,2	-0,478	-5,6
4	-0,187	-3,8	-0,234	-13,8
5	-0,434	-4,9	-0,541	-2,7
6	-0,549	-15,2	-0,378	-34,5
7	-0,254	-8,5	-0,356	-21,3
8	-0,427	-11,7	-0,224	-1,9
9	-0,431	-12,0	-0,541	-10,5
10	+0,115	+2,7	+0,208	+2,6
11	+0,009	+3,5	+0,126	+0,3
12	-0,375	-13,3	-0,455	-3,1
13	-0,327	-13,1	-0,271	-1,3
Дисперсия	2,757		1,118	
Процент	49,7		14,3	

В таблице 1 приняты обозначения, аналогичные рис. 3.

Состав этой нормированной компоненты представлен прежде всего фенолом, сажей, оксидом азота, ацетоном и указывает на снижение заболеваемости детей пародонтитом с ортодонтической патологией при уменьшении содержания в атмосферном воздухе прежде всего фенола, сажи, оксида азота, ацетона. Вторая компонента представлена преимущественно фенолом, аммиаком.

Для прогнозирования заболеваемости пародонтитом с ортодонтической патологией у детей разработаны регрессионные модели, учитывающие основные антропогенные загрязнители. Регрессионная модель, представленная содержанием в атмосферном воздухе оксида углерода, диоксида серы, неорганической пыли, фенола, имеет следующий вид:

$$y_1 = -2{,}032x_1 - 618{,}431x_2 + 12{,}472x_3 + 4586{,}234x_4 + 12{,}806,$$

где y_1 – заболеваемость детей пародонтитом с ортодонтической патологией;

x_1 – оксид углерода в атмосферном воздухе;

x_2 – диоксид серы в атмосферном воздухе;

x_3 – неорганическая пыль в атмосферном воздухе;

x_4 – фенол в атмосферном воздухе.

Коэффициент детерминации данной модели составляет 58,42%. Модель адекватна по критерию Фишера ($P<0{,}001$).

При включении в математическую модель других атмосферных загрязнителей получено уравнение регрессии:

$$y_2 = 304{,}561x_5 - 358{,}764x_6 + 10{,}135x_7 + 39{,}728x_8 + 8{,}126,$$

где y_2 – заболеваемость пародонтитом с ортодонтической патологией среди детского населения;

x_5 – содержание в атмосферном воздухе аммиака;

x_6 – оксид азота;

x_7 – содержание ацетона;

x_8 – содержание хлористого водорода.

Коэффициент детерминации модели равен 51,23%.

Среди параметров общего анализа периферической крови для создания классификационных моделей применялись СОЭ, палочкоядерные нейтрофилы и лейкоциты. Рассчитав коэффициенты классификационных функций и константы для рассматриваемых классов, посредством дискриминантного метода синтезировали необходимые модели.

Математическая модель для больных без пародонтита с ортодонтической патологией описывается следующим уравнением:

$$y_5=19{,}547x_6+121{,}582x_7+ +24{,}386x_8-382{,}596,$$

где y_5 –больные первого класса;

x_6 – СОЭ;

x_7 – палочкоядерные нейтрофилы;

x_8 – лейкоциты.

Для больных пародонтитом с ортодонтической патологией по данным параметрам общего анализа крови математическая модель имеет следующий вид:

$$y_6=15{,}298x_6+52{,}354x_7+36{,}187x_8-201{,}578,$$

где x_6 -x_8 – ранее указанные информативные параметры общего анализа периферической крови.

Математические модели, включающие информативные показатели общего анализа крови, позволяют на необходимом уровне провести дифференциацию представителей первого и второго класса (табл. 2).

Таблица 2

Классификация больных пародонтитом с ортодонтической патологией и без данной патологии по информативным показателям общего анализа крови

Код признака	Observed	G_1:0	G_2:1
1	G_1:0	3,589	3915,527
2	G_1:0	0,847	3727,828
3	G_1:0	1,724	3529,809
4	G_1:0	2,378	3521,418
5	G_1:0	1,545	3977,821
6	G_1:0	0,217	3721,686
7	G_1:0	1,319	3834,564
8	G_1:0	1,859	3862,575
9	G_1:0	1,162	3652,883
10	G_1:0	0,548	3687,149
11	G_2:1	3739,235	4,899
12	G_2:1	3743,762	2,873
13	G_2:1	3741,258	0,492
14	G_2:1	3657,742	0,018
15	G_2:1	3645,408	0,427
16	G_2:1	3678,664	0,918
17	G_2:1	3587,469	3,819
18	G_2:1	3914,042	4,327

Количество пациентов без пародонтита с ортодонтической патологией, ошибочно классифицированных как больные пародонтитом с ортодонтической патологией, по данным моделям составило 13,2%. При выполнении классификации пациентов с патологией ошибочно отнесено к первому классу 12,6%. Построенные модели являются адекватными и улучшают диагностику пародонтита с ортодонтической патологией по СОЭ, содержанию палочкоядерных нейтрофилов и лимфоцитов крови.

Список литературы

1. Агарков Н.М., Артенян Н.В., Яковлев А.П. Диагностика нейродермита с учётом информативности показателей разного биологического качества у подростков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2011. – Т.10, №3. – С. 497-501.

2. Агарков Н.М., Будник И.В. Рационализация диагностики неспецифического сальпингоофорита на основе анализа информативности и моделирования клинико-лабораторных показателей // Российский медицинский журнал. – 2012. – №4. – С. 46-49.

3. Агарков Н.М., Будник И.В. Информативность клинических симптомов, иммунологических, гематологических показателей и проявлений эндогенной интоксикации при остром неспецифическом сальпингоофорите // Журнал акушерства и женских болезней. – 2012. – Т. LXI, вып.4. – С. 11-15.

4. Автоматизированная система поддержки решений врача-дерматолога / Н.М. Агарков, А.В. Иванов, В.А. Иванов, А.П. Яковлев // Врач и информационные технологии. – 2013. – №3. – С. 71-74.

5. Прогнозирование тяжелого гестоза на основе компьютерных технологий / Н.М. Агарков, М.В. Фролов, В.Н. Снопков, С.Н. Гонтарев, Л.В. Шульга, Е.П. Афанасова // Врач и информационные технологии. – 2013. – №5. – С. 26-30.

6. Будник И.В., Гонтарев С.Н., Шульга Л.В. Многомерный математический анализ связей сальпингоофорита с инфекциями, передающимися половым путём, в различных возрастных и территориальных группах // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2012. – Т. 11, №2. – С. 543-550.

7. Будник И.В. Математическое моделирование связей и прогнозирование гинекологической патологии // Вестник новых медицинских технологий. – 2012. – Т.XIX, №1.– С. 29-32.

8. Моделирование и информативность проявлений синдрома эндогенной интоксикации при тонзиллите у детей / Е.А. Гнездилова, С.Н. Гонтарев, А.В. Иванов, В.Н. Мишустин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 73-77.

9. Компьютерная система обеспечения принятия решений детского стоматолога / С.Н. Гонтарев, А.П. Яковлев, Л.В. Шульга, В.А. Иванов // Врач и информационные технологии. – 2013. – №3. – С. 64-69.

10. Диагностическая значимость и моделирование параметров гемограммы и гомеостаза при остром сальпингоофорите / С.Н. Гонтарев, М.В. Фролов, В.Д. Луценко, И.В. Коломиец, Е.П. Афанасова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 106-113.

11. Поликритериальный математический отбор диагностических параметров локального кровотока и размеров яичников при остром сальпингоофорите / С.Н. Гонтарев, А.П. Яковлев, А.В. Шульга, В.А. Иванов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 157-163.

12. Информативность биомаркеров злокачественных новообразований органов желудочно-кишечного тракта и прогнозирование на индивидуальном уровне / С.Н. Гонтарев, А.В. Шульга, А.П. Яковлев, В.Н. Мишустин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 204-210.

13. Иванов А.В., Артенян Н.В., Гонтарев С.Н. Компьютерное и сетевое моделирование диагностики атопического нейродермита // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – №2-1. – С. 48-52.

14. Компьютерное моделирование ассоциаций гипертонической болезни с заболеваемостью и смертностью от других болезней системы кровообращения / А.В. Иванов, В.Н. Мишустин, Е.В. Стародубцева, А.П. Яковлев // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11 (154), вып. 22/1. – С. 114-121.

15. Иванов В.А. Организация и ведение компьютерного банка данных по заболеваемости дерматозами у детей // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2012. – Т. 11, №4. – С. 1058-1061.

16. Мочекаменная болезнь: информативность методов визуализации конкрементов мочеточника / А.Г. Коцарь, С.П. Серегин, А.В. Новиков, В.Н. Снопков, Л.В. Шульга // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 122-126.

17. Синтез нечетких решающих правил прогнозирования эффективности литолиза уратных камней почек / А.Г. Коцарь, С.П. Серегин, А.В. Новиков, Л.В. Шульга, А.П. Яковлев // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 138-139.

18. Анализ и прогнозирование качества жизни после хирургического лечения / В.Ф. Луценко, Т.Н. Татьяненко, Е.В. Стародубцева, В.Н. Мишустин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 78-83.

19. Дифференциация острого тонзиллита у детей на основе математических моделей / В.Ф. Луценко, Е.А. Гнездилова, Е.В. Стародубцева, А.В. Иванов, В.Н. Мишустин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 84-88.

20. Серёгин С.П., Забровский А.Н., Мишустин В.Н. Многокритериальное математическое моделирование и прогнозирование распространенности злокачественных новообразований // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – №2-1. – С. 41-49.

21. Математический прогноз развития гипоксически-ишемической энцефалопатии у новорожденных детей / В.Н. Снопков, А.П. Яковлев, Л.В. Шульга, Г.И. Кислюк // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 168-171.

22. Яковлев А.П. Дискриминантный метод в выявлении больных острым сальпингоофоритом // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – №2-2. – С. 209-215.

Получено 26.03.15

N.M. Agarkov, Doctor of Medical Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: vitalaxen@mail.ru)

K.F. Makkonen, Doctor of Medical Sciences, Professor, Belgorod State National Research University (e-mail: makkonk@yandex.ru)

I.S. Gontareva, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: snamisng@yandex.ru)

MATHEMATICAL PREDICTION AND DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF PERIODONTITIS WITH ORTHODONTIC PATHOLOGY IN CHILDHOOD

The article discusses projected trends in the incidence of children with periodontitis, combined with orthodontic pathology, and classification from other dental morbidity-based discriminant method.

***Key words**: mathematical prediction, differential diagnosis, periodontal disease, orthodontic pathology.*

УДК 004.891

С.Е. Суржикова, аспирант, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: moi_lanchik@mail.ru)

О.В. Шаталова, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: shatolg@mail.ru)

В.В. Федянин, аспирант, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: fedyanin.50@mail.ru)

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДИАГНОСТИКИ СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Для классификации функционального состояния органов и систем человека, выявления и дифференциальной диагностики социально значимых заболеваний предложено использовать анализ вольт-амперных характеристик (ВАХ) биоактивных точек (БАТ). Разработана автоматизированная система для получения ВАХ БАТ, которая включает устройство сбора данных, подключенное к персональному компьютеру; устройство связи с объектом; соответствующее программное обеспечение. Автоматизированная система позволяет за контролируемый промежуток времени получить совокупность необходимых отсчетов для ВАХ при однократном контакте активного электрода с поверхностью кожи человека.

Для получения вектора информативных признаков, характеризующих состояние БАТ, использовалась аппроксимация ВАХ полиномом седьмого порядка. При анализе биообъекта могут использоваться ВАХ как для одной БАТ, так и для их группы.

***Ключевые слова**: автоматизированная система, анализ данных, алгоритмы анализа, вольт-амперные характеристики биоматериалов, аномальные зоны электропроводности, информативные признаки.*

***

Одним из направлений развития информационных технологий для прогнозирования и ранней диагностики социально значимых заболеваний являются биоимпедансные исследования аномальных зон электропроводности – биоактивных точек (БАТ) [1, 2, 12, 14]. Однако в существующей литературе вопросы получения и обработки соответствующих данных отражены в целом недостаточно. Поэтому цели настоящей статьи следующие: общий анализ проблематики исследований в БАТ; разработка экономичных способов получения информации; создание новых методов углубленной обработки этой информации на основе использования программно-аппаратного комплекса.

Популярными методиками исследований феномена электропроводности БАТ являются работы Е. Накатани и Р. Фоля. Система Риодораку Е. Накатани основана на регистрации сопротивления кожи постоянному электрическому току в 24 репрезентативных точках 12 меридианов, что весьма затруднительно выполнить вне стационара. По методике Р. Фоля в БАТ проводится измерение потенциала реакции тела или его отдельных органов на ток, которым воздействуют на БАТ. Однако при этом имеет место большой разброс результатов измерений, обусловленный индивидуальными особенностями организмов, не связанными с патологией. Кроме того, отметим, что этот метод в целом ориентирован на диагностику патологий не отдельных органов и систем организма, а меридиана внутренних органов [4, 5, 8, 18, 19, 20].

Эти факторы приводят к тому, что использование биоимпедансного подхода применительно к БАТ вступает в противоречие с методологией диагностики и лечения, принятой в европейской классической медицине; не позволяет широко использовать указанный подход в клинической практике. Поэтому исследования, направленные на совершенствование интеллектуальных систем диагностики на основе контроля электропроводности в БАТ, являются актуальными.

Распространенной методикой исследований феномена электропроводности БАТ является анализ их вольт-амперных характеристик (ВАХ) [3]. Такая ВАХ позволяет изучить гистерезисные свой-

ства электропроводимости биообъекта, которые имеют высокую информативность при ранней диагностике различных заболеваний. Однако сам процесс снятия ВАХ в БАТ является достаточно трудоемким, требует значительных затрат времени и не удовлетворяет требованию морфологической интактности [12].

Рассматриваемая АС позволяет за контролируемый промежуток времени получить соответствующие отсчеты для ВАХ при однократном контакте активного электрода с биообъектом.

Для проектирования такого рода АС нам необходим блок для подачи, съема и регистрации сигнала, использующий АЦП. В качестве блока преобразования целесообразно использовать модуль быстродействующего АЦП с USB 2.0 интерфейсом - E20-10, например, производства ЗАО «L-Card» (http://www.lcard.ru). Этот модуль обеспечивает высокоскоростной непрерывный сбор данных на частотах до 10 МГц. В устройстве используется четырехканальная архитектура с одним АЦП; коммутатор, который обеспечивает статический режим измерения собственного нуля независимо для каждого канала; входные буферные усилители в последовательно опрашиваемых каналах полностью исключают коммутационную помеху; активные фильтры низкой частоты (ФНЧ) 3-го порядка в каждом канале улучшают соотношение сигнал/шум [16,17].

Расширенная система синхронизации с конфигурируемыми линиями АЦП и сигнала старта сбора данных от внешнего либо от внутреннего источников позволяет реализовывать внутреннюю или внешнюю синхронизацию, а также транслировать внутренние сигналы синхронизации наружу. Это позволяет создавать одно- и многомодульные системы, синхронные относительно одного из модулей или относительно внешнего источника синхронизации.

Двухканальный 12-разрядный цифроаналогового преобразователь (ЦАП) позволяет для воздействия на биообъект выставлять постоянное напряжение в диапазоне ±5 В.

Для буферизации скоростного потока данных используется очередь с дисциплиной «FIFO» и объемом буфера 8MB на основе SDRAM. Это позволяет исключить потерю данных в ситуациях, когда операционная система ПК «задумалась» (до 400 мс при частоте опроса 10 МГц и до 4 с при 1 МГц). Передача данных из буфера с дисциплиной FIFO в канал USB осуществляется низкоуровневым контроллером (ISP1581), а управление всем процессом регистрации возложено на FPGA (программируемая логическая интегральная система ПЛИС) с загружаемой из компьютера архитектурой в момент инициализации модуля.

В качестве вычислительной системы может быть использован ПК с установленной на нем операционной системой Windows 98/2000/XP/Vista/7 и оснащённый последовательным интерфейсом передачи данных USB.

Для получения необходимых данных АС (программно-аппаратный комплекс) должен быть в состоянии работать в двух режимах: поиск БАТ; исследование ВАХ для этих точек. Унифицированный интерфейс, отображаемый на экране ПК, служит для установки параметров режимов работы АС. Выбираемый режим работы в нем указывается соответствующим флажком. При реализации режима поиска БАТ на ЦАП L-Card подаются постоянные напряжения и с помощью АЦП L-Card измеряются изменяющиеся при этом значения силы тока (для наглядности мы снимаем 100 показаний). Параметрами режима поиска БАТ являются: величина подаваемого на биобъект постоянного напряжения (U) (задается в диапазоне от -15 В до 15); значение частоты дискретизации АЦП (Δ) (задается в диапазоне от 0,015 кГц – 10 МГц).

Значение напряжения и частота дискретизации сигнала задаются пользователем, эти величины не имеют особых критериев, поскольку данный режим работы служит только для поиска БАТ, для по-

следующего ее анализа во втором режиме работы. При перемещении щупа получаемое значение тока меняется, эксперимент заканчивается по желанию пользователя при нажатии на кнопку остановки работы ЦАП.

Во втором режиме необходимо реализовать режим «воздействие-реакция». Воздействие осуществляется с помощью ЦАП L-Card, а реакция биообъекта измеряется с помощью АЦП L-Card. Все процессы осуществляются в режиме реального времени. Параметры этого режима: динамический диапазон подаваемого на биообъект напряжения (Umax … Umin) – задается в диапазоне от -15 В до +15 В; шаг ступенчатого изменения напряжения внутри динамического диапазона (ΔU) – другими словами, число интервалов квантования N, подаваемого на биоматериал напряжения (эти величины взаимосвязаны по формуле $(U\max - U\min)/\Delta U = N - 1$); шаг дискретизации сигнала по времени для АЦП (Δ) – задается в диапазоне от 0,015 кГц – 10 МГц; длительность кадра «*T*» (термин будет пояснен позже); количество снимаемых ВАХ, необходимых для статистической обработки (т.е. фактически – число повторений опыта в одной БАТ).

Назначение параметров, представленных выше очевидно, за исключением длительности кадра «*T*». В устройстве Е20-10 «*T*» – это пакет собранных с АЦП данных, который записывается в буферную память L-Card для последующей отправки его в компьютер. Такая отправка происходит сразу же после заполнения буфера АЦП. После отправки буфер очищается. Длительность кадра «*T*» задаётся в отсчётах от 1 до 8192, т.е. размер кадра определяет количество собираемых данных за один период АЦП. Поскольку частота дискретизации АЦП L-Card f_{ADC} может быть задана при внутреннем источнике в диапазоне от 1 до 10 МГц в соответствии с выражением $f_{ADC} = 30 / k$, где k=3,4,5, …30, а при внешнем – может быть любое значение в диапазоне 1..10 МГц. Меньшее значение f_{ADC} может быть достигнуто за счет задания межкадровой задержки. Это временная задержка, которая позволяет получить более низкие частоты сбора данных – до 0,015 кГц. Межкадровая задержка рассчитывается программно в зависимости от желаемой частоты преобразования в диапазоне от 0 до 65535 периодов АЦП. При установленной ненулевой межкадровой задержке по окончании цикла выборки при окончании кадра вставляется соответствующее число холостых периодов преобразования частоты АЦП (период преобразования частоты АЦП обратно пропорционален минимально возможной задаваемой частоте без использования межкадровой задержки, т.е. 1/1МГц = 0,001 мс).

Учитывая, что шаг дискретизации АЦП задан, число отсчётов легко переводится в интервал времени путём умножения величины количества отсчётов в кадре на шаг дискретизации. Таким образом, длительность кадра «*T*» соответствует интервалу времени, в течение которого на биообъект подаётся постоянное напряжение. Иными словами, это ширина ступеньки напряжения, формируемого на выходе ЦАП.

На рисунке 1 представлена эпюра напряжения на выходе ЦАП с отображением соответствующих параметров в этом режиме.

При работе во втором режиме шаг дискретизации АЦП может быть выбран как максимально возможный (допустимый) в L-Card, что соответствует 0,1 секунды и частоте дискретизации АЦП L-Card 0,015 кГц.

Если принять максимальное время переходного процесса в биоматериале 0,1 с и число отсчётов, необходимых для статистической обработки, равным 50, то размер кадра вычисляется по следующей формуле:

$$T = 0.1/\Delta + 50 = 60 \text{ отсчетов.} \qquad (1)$$

Работу L-Card во втором режиме поясняет блок-схема алгоритма, представленная на рисунке 2.

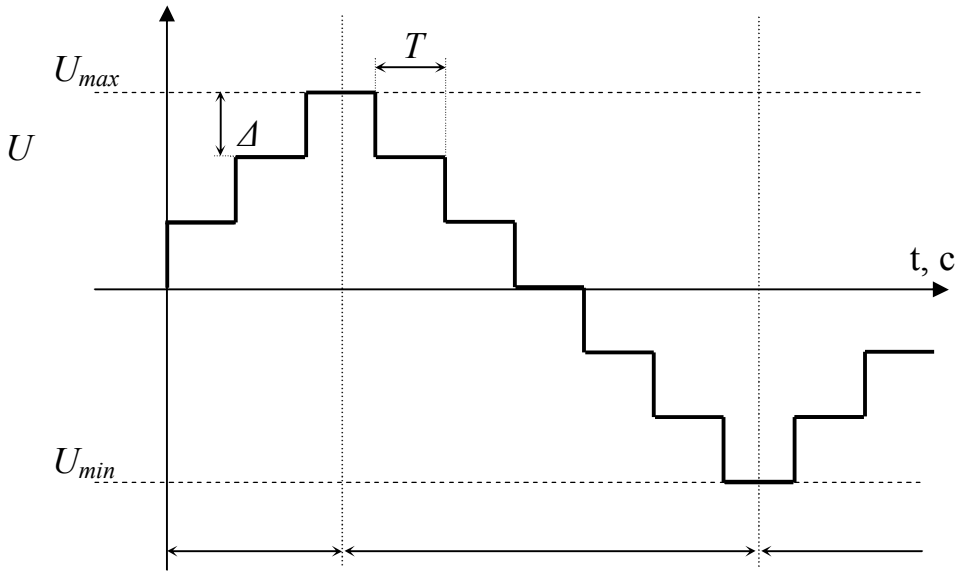


Рис. 1. Эпюра напряжения на выходе ЦАП L-Card

В блоках 1-3 осуществляется заполнение полей в интерфейсном окне. В блоке 4 вычисляется инкремент/ декремент регистра работы ЦАП. Процесс получения ВАХ начинается с блока 5, в котором фиксируется нулевой потенциал на выходе ЦАП. Затем производится пробное формирование ВАХ. Это необходимо для предварительного анализа данных и позволяет внести необходимые корректировки в анализ программной обработки данных.

Информацию, заключенную в ВАХ, представим в «пространстве информативных признаков», образующих собой наборы векторов, характеризующих точки ВАХ для различных БАТ. Подбирая соответствующие БАТ и частоту дискретизации для них, можно построить достаточно гибкие интеллектуальные системы для диагностики и прогнозирования функционального состояния человека, для постановки конкретного диагноза.

В процессе диагностики возникает необходимость в оценке вероятностей альтернативных гипотез, которые выражаются либо в баллах, либо в процентах. При этом эксперт имеет возможность оценить апостериорную вероятность нулевой гипотезы (обычно это отсутствие патологии) на фоне известных апостериорных вероятностей альтернативных гипотез. Сравнение таких вероятностей дает ценную информацию при управлении как профилактическими мероприятиями, так и диагностическими исследованиями. Кроме того, в некоторых случаях это позволяет оценивать и эффективность (результативность) проводимых лечебных мероприятий.

Пример решения диагностической задачи с помощью программно-аппаратного комплекса

В качестве диагностической задачи была выбрана диагностика пиелонефрита у беременных женщин. Инструментальные методы диагностики пиелонефрита при беременности, в том числе катетеризацию мочеточников и почечных лоханок, применяют редко. Опасным считают даже выполнение беременным надлобковой пункции мочевого пузыря для взятия мочи на анализ, что связано с возможным изменением топографо-анатомических взаимоотношений мочевых и половых органов во время беременности [10].

В связи с вышеописанными сложностями в качестве диагностических признаков пиелонефрита целесообразно использовать в качестве классификаторов многоагентные системы классификации [7, 9, 11, 15].

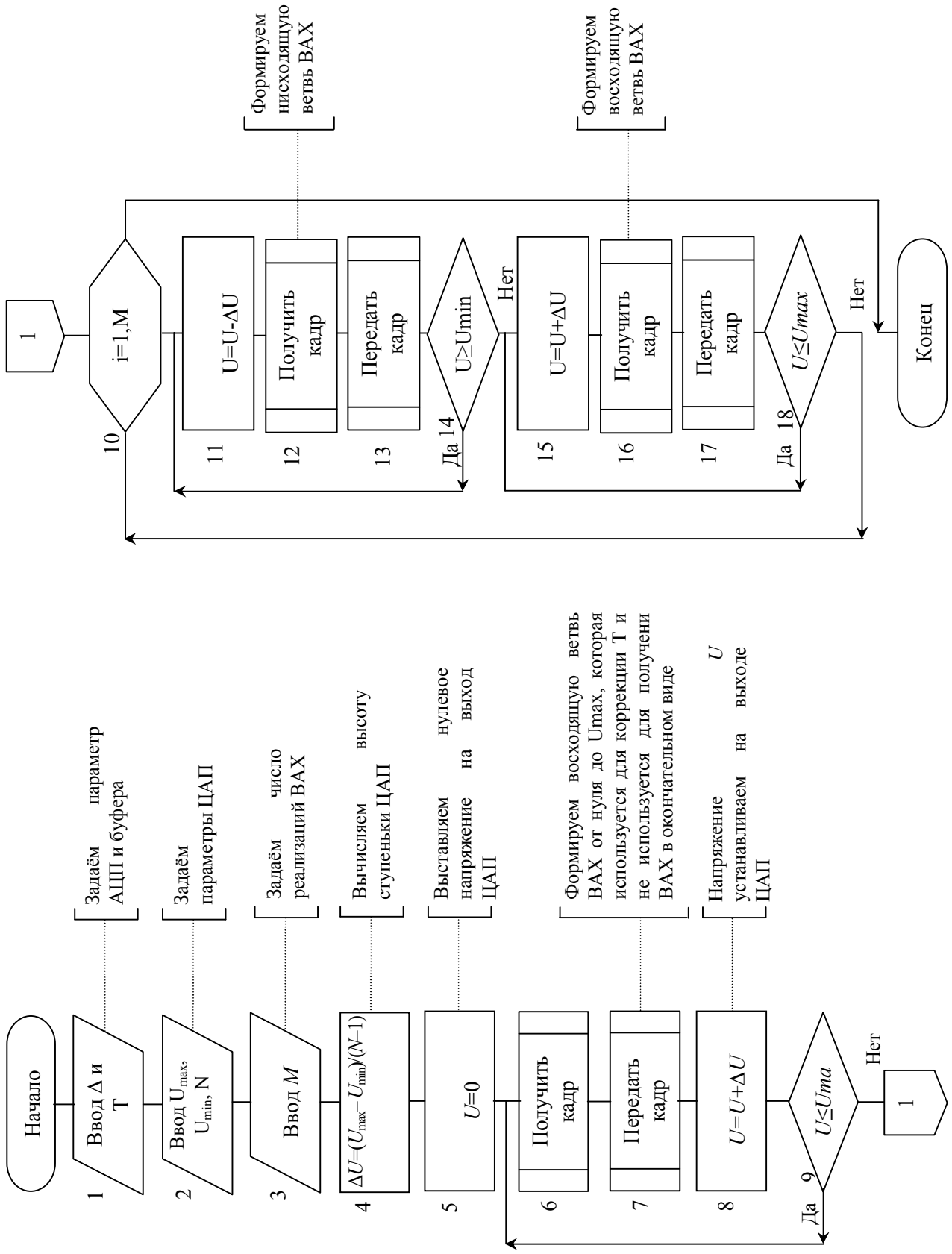


Рис.2. Блок-схема алгоритма получения данных посредством L-Card для формирования ВАХ биообъекта

Исследование выполнялось в два этапа. На первом этапе с помощью однофакторного дисперсионного анализа подтверждалась возможность использования построенного пространства информативных признаков для диагностики пиелонефрита у беременных женщин. На втором этапе проверялась диагностическая эффективность методов и средств диагностики пиелонефрита на контрольных выборках.

Для выполнения экспериментальных исследований на первом этапе были созданы две выборки по двадцать объектов в каждой: 1 – здоровые женщины; 2 – беременные женщины, больные пиелонефритом. Класс небеременных женщин, больных пиелонефритом, в данном случае не рассматривался, так как диагностические исследования таких пациентов могут быть осуществлены неизвестными методами.

Для каждого объекта из исследуемых классов были получены вольт-амперные характеристики БАТ трех меридианов: меридиан сердца – С7, меридиан легких – Р9, меридиан перикарда – МС7 [6]. После получения соответствующих ВАХ они аппроксимировались полиномами седьмого порядка.

Согласно сформированным группам (их восемь – по числу коэффициентов аппроксимирующих вольт-амперную характеристику полиномов) осуществляем однофакторный дисперсионный анализ внутри каждой группы.

Обучающие и контрольные выборки формировались на основе экспертных оценок специалистов урологического отделения больницы скорой медицинской помощи г. Курска.

Эффективность предлагаемых методов анализа проверялась путем исследования и сравнительной оценки показателей качества диагностики пиелонефрита моделями многоагентных мобильных интеллектуальных систем с различным числом агентов на нижнем уровне (с различным числом анализируемых БАТ).

В предлагаемой работе программная реализация НС моделей решающих модулей проводилась с помощью программного обеспечения «Neurowork», разработанного на кафедре биомедицинской инженерии ЮЗГУ, выполненного в среде MATLAB и FuzzyTech.

В качестве расчетных показателей качества диагностических решающих правил использовались: диагностическая чувствительность (ДЧ), диагностическая специфичность (ДС), прогностическая значимость положительных результатов ($ПЗ^{+}$), прогностическая значимость отрицательных результатов ($ПЗ^{-}$), диагностическая эффективность решающего правила (ДЭ).

Интегральные показатели качества диагностики пиелонефрита у беременных женщин, полученные посредством использования разработанных методов, приведены на рисунке 3.

Анализ диаграмм на рисунке 3 показывает, что качество принятия решений растет по мере увеличения числа агентов в системе (количества БАТ). При этом диагностическая чувствительность трехагентной модели практически не отличается от диагностической чувствительности двухагентной классифицирующей модели. В то же время диагностическая специфичность растет на 10% при наращивании числа агентов на нижнем уровне.

Полученные сравнительные диагностические характеристики многоагентных систем диагностики пиелонефрита позволяют рекомендовать полученные технические и алгоритмические решения для практического использования в системах диагностики урологических заболеваний. Возможность использования предлагаемых технологий в случае других заболеваний, а также для диагностики психоэмоционального состояния человека нуждается в дальнейшем экспериментальном изучении.

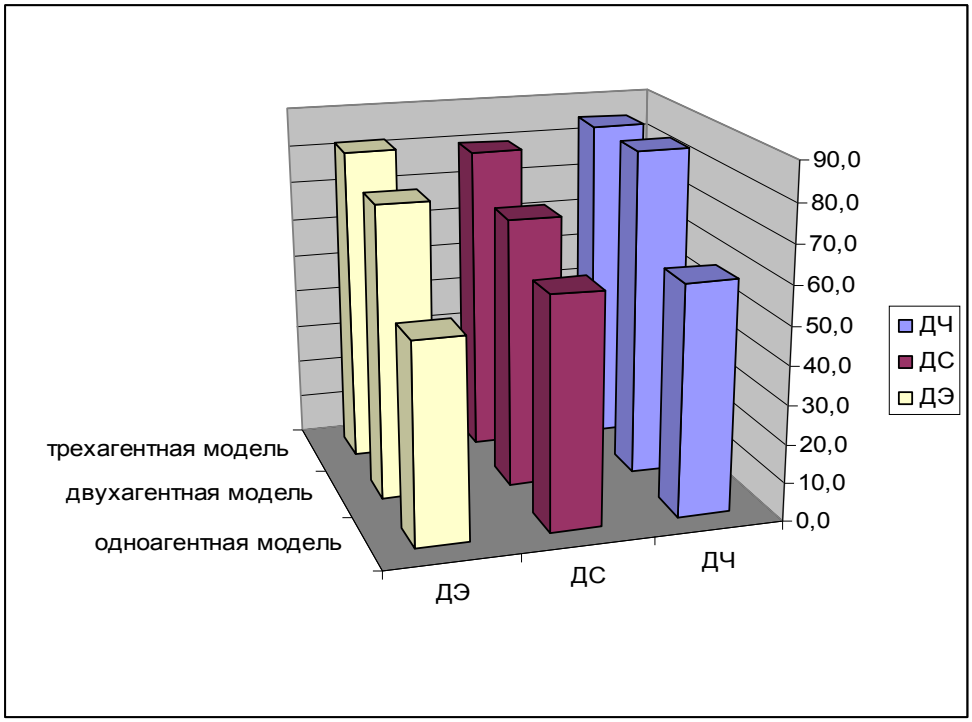


Рис. 3. Сравнительная характеристика показателей качества работы многоагентных систем диагностики пиелонефрита

Выводы

1. Разработан метод формирования пространства информативных признаков, предназначенный для классификаторов функционального состояния биоматериала, заключающийся в регистрации ВАХ биоткани для БАТ путем воздействия на них постоянным стабилизированным по уровню напряжением в диапазоне от -15 В до +15 В. Это позволяет путем аппроксимации каждой из полученных ВАХ полиномом седьмого порядка использовать коэффициенты полученных полиномов в качестве входного вектора для НС, обученной для принятия диагностических решений по выделенным классам заболеваний.

2. Проведена апробация предложенных методов и средств для диагностики пиелонефрита у беременных женщин посредством использования многоагентной мобильной системы. Результаты апробации показали, что предлагаемые технологии диагностики могут быть рекомендованы для диагностики заболеваний у урологических больных.

Список литературы

1. Акулина М.М., Рыбченко А.А., Соломонов В.Т. Использование точек акупунктуры в автоматизированной системе профилактических осмотров // Теория и практика рефлексотерапии, медико-биологические и физико-технические аспекты. – М., 1981. – С. 216-223.

2. Ананин В.Ф. Рефлексология (теория и методы). М.: Изд-во Российского университета дружбы народов «Биомединформ», 2005. – 168 с.

3. Арсеньев В.Е., Бердашкевич А.П., Глазунов А.С. Исследование возможности диагностики заболеваний человека по вольт-амперным характеристикам выделенных участков кожи // Теория и практика рефлексотерапии, медико-биологические и физико-технические аспекты. – М., 1981. – С. 232-236.

4. Вандан Я.А., Зальцмане В.К. Морфологические особенности биологически активных точек // Проблемы клинической биофизики. – Рига, 1977. – С. 51-57.

5. Вержбицкая Н.И. Морфология акупунктурных точек кожи // Медико-биологические и технические аспекты рефлексотерапии: сборник научных трудов. – Калинин, 1987. – С. 35-41.

6. Лувсан Г. Традиционные и современные аспекты восточной рефлексотерапи. – 3-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: Наука. Сиб.отд-ние, 1991. – 432 с.

7. Мохаммед Аль-Гунаид. Нейронечеткая модель краткосрочного прогнозирования потребления электроэнергии // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 2 (22). – С. 47-56.

8. Нечушкин А.И. Физиологические основы функциональной коррекции электропунктурными методами // Вопросы медицинской электроники. – Таганрог, 1981. – С. 52-56

9. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия Телеком, 2004. – 452 с.

10. Сафронова Л.А. Пиелонефрит и беременность // РМЖ. – 2000. – Т. 8, №18(119). – С. 778-781.

11. Терзиян А.В., Витько В.Я. Вероятностные метасети для решения задач интеллектуального анализа данных // Искусственный интеллект. – 2002. – №3. – С. 188-197.

12. Диагностическая система на основе анализа вольт-амперных характеристик биоактивных точек / С.А. Филист, Н.А. Кореневский, О.В. Шаталова [и др.] // Биотехносфера. – 2013. – №5(29). – С. 33-38.

13. Филист С.А., Авад А.А. Мохаммед, Шаталова О.В. Моделирование импеданса биоматериалов с учетом нелинейной вольтамперной характеристики при обратимом пробое диэлектрика // Медицинская кибернетика и междисциплинарная подготовка специалистов для медицины: матер. науч. конф. – Томск: Изд-во Сибирского государственного медицинского университета, 2013. – С. 128-132.

14. Филист С.А., Суржикова С.Е., Кассим Кабус Д.А. Метод исследования электрических характеристик биоактивных точек // Научный взгляд на современный этап развития общественных, технических, гуманитарных и естественных наук. Актуальные проблемы: сборник статей по итогам Всероссийской научно-практической конференции. – СПб., 2014. – С. 118-122.

15. Филист С.А., Емельянов С.Г., Рыбочкин А.Ф. Нейросетевой решающий модуль для исследования живых систем // Известия Курского государственного технического университета. – 2008. №2(23). – С. 77-82.

16. E20-10. Руководство программиста. – М.: L-Card, 2008. – URL: http://www.lcard.ru/download/e2010_programmers_guide.pdf.

17. E20-10. Руководство пользователя. – М.: L-Card, 2008. – URL: http://www.lcard.ru/download/e20_10_users_guide.pdf.

18. Liang F., Chen R., Cooper E.L. Neuroendocrine mechanisms of acupuncture (2012) Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2012, art. no. 792793. Cited 2 times. doi: 10.1155/2012/792793.

19. Vickers A.J., Cronin A.M., Maschino A.C. Acupuncture for chronic pain: Individual patient data meta-analysis (2012) Archives of Internal Medicine. – 2012. – Vol. 172(19). – P. 1444-1453. Cited 156 times. – URL: http://archinte.jamanetwork.com/data/Journals/INTEMED/25374/iiq120056_1444_1453.pdf doi: 10.1001/ archinternmed. 2012.3654.

20. Yamamoto H., Kawada T., Kamiya A. Involvement of the mechanoreceptors in the sensory mechanisms of manual and electrical acupuncture (2011) Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical. – 2011. – Vol. 160 (1-2). – P. 27-31.

Получено 23.03.15

S.E. Surzhikova, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: moi_lanchik@mail.ru)

O.V. Shatalova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: shatolg@mail.ru)

V.V. Fedyanin, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: fedyanin.50@mail.ru)

HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM FOR THE ANALYSIS OF CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF BIOACTIVE POINTS BASED ON MODULE L-CARD E20-10

To classify the functional state of organs and systems of the person, the detection and differential diagnosis of socially significant diseases is proposed to use the analysis of current-voltage characteristics of bioactive points. Developed an automated system for analysis of current-voltage characteristics of bioactive points, which includes data collection device connected to a personal computer; a communication device with the object; the corresponding software. The automated system allows for a controlled period of time to obtain a set of required readings for current-voltage characteristics of the single active electrode to the surface of human skin.

To obtain the vector of informative features characterizing the bioactive points, was used approximation of current-voltage characteristics by a polynomial of the seventh order. In the analysis of a biological object can be used current-voltage characteristics for a single bioactive points and their groups.

***Key words**: automated system, data analysis, algorithm analysis, current-voltage characteristics of biomaterials, anomalous zones of conductivity, informative signs.*

УДК 614.8:457.87(082.251)+243.459

И.В. Чеканов, канд. мед. наук, руководитель Территориального органа Росздравнадзора по Курской области (e-mail: kursk@rusprofile.ru)

Т.П. Безлепкина, аспирант, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: bezlepkina@yandex.ru)

В.В. Аксёнов, магистрант, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: vitalaxen@mail.ru)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАССЕЯННОГО СКЛЕРОЗА НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ РИСКА

Прогнозирование развития рассеянного склероза предлагается осуществлять на основе информативных и прогностически значимых биологических и социальных факторов, имеющихся у больных с данной патологией.

***Ключевые слова:** математическое прогнозирование, рассеянный склероз.*

***

Для прогнозирования развития и исходов лечения различной патологии широко применяется математическое прогнозирование по информативным показателям клинических и лабораторных исследований [1, 2, 7, 8, 9, 10, 11]. При этом используются параметры различной биологической модальности [3, 4, 5, 6, 12], требующие преобразования в нормированные величины. Однако в отношении рассеянного склероза не установлена информативность и прогностичность биологических и социальных факторов риска, что не позволяет выполнять его прогнозирование.

На основе обследования 137 больных рассеянным склерозом изучены факторы риска. Для математической обработки использованы общепринятые классические методы и программа «Statistica 6.0».

При анализе возрастных особенностей больных рассеянным склерозом, способствующих развитию данного заболевания, установлено, что в основной группе статистически значимо превали-

руют пациенты в возрасте 20-22 лет, а в контрольной группе – в возрасте 23-25 лет (P<0,05) (табл. 1).

Среди больных рассеянным склерозом несущественно выше удельный вес лиц в возрасте 17-19 лет (P>0,05) и в возрастной категории до 16 лет (P>0,05).

В контроле статистически недостоверно выше процент лиц в возрасте 36-40 лет.

В других выделенных возрастных градациях удельный вес пациентов сравниваемых групп практически одинаков с незначительными различиями.

Определение информативности каждой градации возраста показывает, что при рассеянном склерозе она наиболее высока в возрастной группе 23-25 лет (табл. 2). Несколько меньшей, но практически одинаковой информативностью обладают возрастные группы 17-19 лет и 20-22 лет.

Существенно меньшей информативностью как по отношению к возрастной группе 23-25 лет, так и по отношению к двум названным выше возрастным категориям больных рассеянным склерозом обладает возраст пациенток до 16 лет, а также с 26 до 30 лет. Другие возрастные группы больных рассеянным склерозом характеризуются достаточно низкими величинами информативности Кульбака. Сказанное прежде всего относится к возрастной категории старше 41 года, занимающей последнее ранговое место.

Таблица 1

Возрастные особенности больных рассеянным склерозом по сравнению с контрольной группой

Возрастная категория, лет	Основная группа	Контрольная группа
До 16 лет	5,7±1,7	3,4±1,5
17-19	18,5±2,8	11,2±2,6
20-22	27,3±3,3*	18,4±3,1*
23-25	19,6±2,9*	30,7±3,7*
26-30	15,2±2,6	19,8±3,2
31-35	9,7±2,2	10,3±2,5
36-40	2,1±1,1	4,5±1,7
Старше 41 года	1,9±1,0	1,7±1,0
Итого	100,0	100,0

Примечание. * – достоверные различия в группах.

Таблица 2

Величины информативности Кульбака и ранговые позиции различных возрастных категорий при рассеянном склерозе

Возрастная категория, лет	Величина информативности	Ранговая позиция
До 16 лет	2,6	4
17-19	8,0	2
20-22	7,6	3
23-25	10,5	1
26-30	2,5	5
31-35	0,08	7
36-40	0,8	6
Старше 41 года	0,05	8
Сумма	32,13	-

Ранговые позиции возрастных категорий как факторов риска развития рассеянного склероза при их наличии распределились следующим образом (табл. 3). Наибольшая величина прогностического коэффициента в этом случае выявлена для возрастной группы 36-40 лет. Наличие этой возрастной группы положительно влияет на то, что рассеянный склероз не разовьется. Напротив, вероятность развития рассеянного склероза повышается у больных в возрасте до 16 лет, 17-19 лет. Величины прогностических коэффициентов в названных группах имеют отрицательный знак и одинаковую величину. Фактором риска формирования рассматриваемой патологии следует считать и возраст женщин от 20 до 22 лет и в меньшей степени старше 41 года. Другие возрастные группы не оказывают неблагоприятного влияния на возможность возникновения рассеянного склероза. Последнюю ранговую позицию при наличии тех или иных выделяемых возрастных категорий занимает возрастная группа от 31 до 35 лет. В целом же неблагоприятное влияние возраста как фактора риска на развитие рассеянного склероза незначительно.

Таблица 3

Прогностические коэффициенты влияния возраста пациентов на развитие рассеянного склероза при наличии фактора риска

Возрастная категория, лет	Прогностический коэффициент при наличии признака	Ранговое место
До 16 лет	-2,2	2
17-19	-2,2	2
20-22	-1,7	4
23-25	+1,9	3
26-30	+1,1	5
31-35	+0,3	7
36-40	+3,3	1
Старше 41 года	-0,6	6
Сумма ПК	-0,1	-

С достоверным различием в основной группе преобладает удельный вес больных рассеянным склерозом с неполным средним образованием. Кроме того, среди пациентов с рассеянным склерозом статистически значимо ниже удельный вес женщин, имеющих высшее образование. Незначительно меньше также доля пациенток с неполным высшим образованием ($p>0,05$).

Анализ показателей информативности для различных видов образования среди больных рассеянным склерозом показал лидирующую позицию высшего образования (табл. 4).

Информативность показателей среднего образования при рассматриваемой нозологической форме заболевания незначительно ниже и соответствует второму ранговому месту.

Неполное среднее образование по величине информативности Кульбака занимает третье место.

Значения информативности других видов образования существенно ниже, чем названных выше.

Минимальной информативностью у больных рассеянным склерозом отличается неполное высшее образование. Общая сумма информативности в сравнении с другими факторами риска невысока.

Невысокой оказалась и совокупная величина прогностических коэффициентов уровня образования рассеянного склероза при наличии данного признака (табл. 5). Негативное влияние на формирование патологии оказывает наличие у

больных неполного среднего образования, так как прогностический коэффициент имеет отрицательный знак и по величине занимает первое место.

Такой же отрицательный знак свойственен и среднему образованию, но его величина несколько ниже предыдущей градации признака.

Положительные значения прогностических коэффициентов установлены для высшего образования. При этом прогностический коэффициент высшего образования занимает вторую ранговую позицию, следовательно, его негативное влияние минимально на развитие рассеянного склероза.

Прогностические коэффициенты для среднего специального образования и неполного высшего образования практически одинаковы.

Таблица 4

Показатели информативности уровня образования в основной группе

Уровень образования	Показатель информативности	Место при ранжировании
Неполное среднее	11,8	3
Среднее	14,2	2
Среднее специальное	7,3	4
Неполное высшее	3,1	5
Высшее	16,3	1
Всего	52,7	-

Таблица 5

Показатели прогностических коэффициентов уровня образования в основной группе при наличии фактора риска

Уровень образования	Показатель прогностического коэффициента при наличии фактора риска	Место при ранжировании
Неполное среднее	-3,7	1
Среднее	-1,7	3
Среднее специальное	+1,6	4
Неполное высшее	+1,4	5
Высшее	+3,3	2
Сумма ПК	+0,9	-

Отсутствие фактора риска повлияло на знак прогностических коэффициентов уровня образования у больных рассеянным склерозом (табл. 6). В результате среднее образование по величине прогностического коэффициента заняло первую ранговую позицию.

Прогностический коэффициент для неполного среднего образования получил также положительный знак.

Ранее имевшие положительный знак среднее специальное образование, неполное высшее и высшее образование (табл. 5) получили отрицательный знак, а величины данного математического критерия оказались одинаковыми для среднего специального образования и высшего образования.

Существенным фактором риска рассеянного склероза следует считать незанятость больных в трудовой сфере (табл. 7).

Количество безработных в основной группе репрезентативно выше, чем в контроле ($P<0,001$). Вместе с тем доля служащих существенно ниже в группе больных рассеянным склерозом.

В основной группе незначительно ниже удельный вес учащейся молодёжи и домохозяек ($P>0,05$).

Одинаковым оказался удельный вес женщин, относящихся к категории рабочих профессий и специальностей.

Значения информативности исследуемого фактора риска указывают на наибольшую информативность безработицы в отношении рассеянного склероза (табл. 8).

Величина информативности Кульбака имеет максимальное значение и занимает первое место, что свидетельствует о негативном воздействии незанятости в трудовой сфере на развитие рассеянного склероза.

Другие виды трудовой деятельности имеют меньшие величины, но высокое значение информативности присуще категории служащих.

На третьей ранговой позиции по показателю информативности находятся студенты и учащиеся.

Крайне низкой оказалась информативность для рабочих профессий.

Таблица 6

Показатели прогностических коэффициентов уровня образования в основной группе при отсутствии фактора риска

Уровень образования	Показатель прогностического коэффициента при отсутствии фактора риска	Место при ранжировании
Неполное среднее	+0,3	3
Среднее	+1,2	1
Среднее специальное	-0,5	2
Неполное высшее	-0,2	4
Высшее	-0,5	2
Сумма ПК	+,03	-

Таблица 7

Трудовая занятость и учёба представителей основной и контрольной групп, %

Трудовая занятость и учеба	Основная группа	Контроль
Безработные	20,6 ± 3,0*	2,4 ± 1,2*
Студенты, учащиеся	11,2 ± 2,3	15,8 ± 2,9
Домохозяйки	17,5 ± 2,8	21,4 ± 3,3
Служащие	8,2 ± 2,0*	18,0 ± 3,1*
Рабочие профессии и специальности	42,5 ± 3,6	42,1 ± 4,0
Всего	100,0	100,0

Примечание. * – статистически значимая разница.

Таблица 8

Показатели информативности трудовой занятости и учебы в основной группе

Трудовая деятельность	Показатель информативности	Место при ранжировании
Безработные	84,9	1
Студенты, учащиеся	3,4	3
Домохозяйки	1,7	4
Служащие	16,7	2
Рабочие профессии и специальности	0,005	5
Всего	106,7	-

Неизменными остались ранговые позиции прогностических коэффициентов трудовой занятости и учебы у больных рассеянным склерозом (табл. 9).

Как и в случае информативности, так и при наличии данного признака на первой позиции с отрицательным знаком находится безработица.

Второе место занимает прогностический коэффициент для служащих, но его знак, как и для других видов трудовой деятельности, положительный.

Студенты и учащиеся по величине прогностического коэффициента, в случае если данный признак присутствует, расположились на третьей ранговой позиции.

Общая сумма прогностических коэффициентов отрицательная, что указывает на существенность безработицы в развитии рассеянного склероза.

Незначительно изменились ранговые места прогностических коэффициентов трудовой занятости и учебы у больных рассеянным склерозом в случае отсутствия данного признака (табл. 10). Однако знак прогностических коэффициентов поменялся для всех градаций рассматриваемого фактора риска.

Таблица 9

Показатели прогностических коэффициентов трудовой занятости и учёбы в основной группе в случае присутствия данного признака

Трудовая занятость, учеба	Показатель прогностического коэффициента при присутствии данного признака	Место при ранжировании
Безработные	-9,3	1
Студенты, учащиеся	+,15	3
Домохозяйки	+0,9	4
Служащие	+3,4	2
Рабочие профессии и специальности	-0,01	5
Сумма ПК	-3,5	-

Таблица 10

Показатели прогностических коэффициентов трудовой занятости и учебы в основной группе в случае отсутствия данного признака

Трудовая занятость, учеба	Показатель прогностического коэффициента при отсутствии данного признака	Место при ранжировании
Безработные	+0,9	1
Студенты, учащиеся	-0,2	3
Домохозяйки	-0,2	3
Служащие	-0,5	2
Рабочие профессии и специальности	-0,007	4
Сумма ПК	-0,007	-

Так, прогностический коэффициент безработицы, занимая первое место при математическом ранжировании, принял положительный знак.

У других категорий трудовой деятельности прогностический коэффициент приобрел отрицательный знак, сохранив практически те же ранговые места.

Прогностический коэффициент служащих занял второе место, а третье место распределили прогностические критерии студентов, учащихся и домохозяек.

Сумма прогностических коэффициентов невелика и с отрицательным знаком.

Список литературы

1. Агарков Н.М., Артенян Н.В., Яковлев А.П. Диагностика нейродермита с учётом информативности показателей разного биологического качества у под-

ростков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2011. – Т.10, №3. – С. 497-501.

2. Агарков Н.М., Будник И.В. Рационализация диагностики неспецифического сальпингоофорита на основе анализа информативности и моделирования клинико-лабораторных показателей // Российский медицинский журнал. – 2012. – №4. – С. 46-49.

3. Агарков Н.М., Будник И.В. Информативность клинических симптомов, иммунологических, гематологических показателей и проявлений эндогенной интоксикации при остром неспецифическом сальпингоофорите // Журнал акушерства и женских болезней. – 2012. – Т. LXI, вып. 4. – С.11-15.

4. Автоматизированная система поддержки решений врача-дерматолога / Н.М. Агарков, А.В. Иванов, В.А. Иванов, А.П. Яковлев // Врач и информационные технологии. – 2013. – №3. – С. 71-74.

5. Прогнозирование тяжелого гестоза на основе компьютерных технологий / Н.М. Агарков, М.В. Фролов, В.Н. Снопков, С.Н. Гонтарев, Л.В. Шульга, Е.П. Афанасова // Врач и информационные технологии. – 2013. – №5. – С. 26-30.

6. Будник И.В. Математическое моделирование связей и прогнозирование гинекологической патологии // Вестник новых медицинских технологий. – 2012. – Т. XIX, №1. – С. 29-32.

7. Информативность биомаркеров злокачественных новообразований органов желудочно-кишечного тракта и прогнозирование на индивидуальном уровне / С.Н. Гонтарев, А.В. Шульга, А.П. Яковлев, В.Н. Мишустин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 204-210.

8. Синтез нечетких решающих правил прогнозирования эффективности литолиза уратных камней почек / А.Г. Коцарь, С.П. Серегин, А.В. Новиков, Л.В. Шульга, А.П. Яковлев // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 138-139.

9. Анализ и прогнозирование качества жизни после хирургического лечения / В.Ф. Луценко, о Т.Н. Татьяненк, Е.В. Стародубцева, В.Н. Мишустин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 78-83.

10. Дифференциация острого тонзиллита у детей на основе математических моделей / В.Ф. Луценко, Е.А. Гнездилова, Е.В. Стародубцева, А.В. Иванов, В.Н. Мишустин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 84-88.

11. Математический прогноз развития гипоксически-ишемической энцефалопатии у новорожденных детей / В.Н. Снопков, А.П. Яковлев, Л.В. Шульга, Г.И. Кислюк // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып.22/1. – С. 168-171.

12. Яковлев А.П. Дискриминантный метод в выявлении больных острым сальпингоофоритом // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – №2-2. – С. 209-215.

Получено 26.03.15

I.V. Chekanov, Candidat of Medical Sciences, Head of the Territorial body of the health Ministry in the Kursk Region (e-mail: kursk@rusprofile.ru)

T.P. Bezlepkina, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: bezlepkina@yandex.ru)

V.V. Aksenov, Undergraduate, Southwest State University (Kursk) (e-mail: vitalaxen@mail.ru)

MATHEMATICAL PREDICTION OF MULTIPLE SCLEROSIS ON THE BASIS OF BIOLOGICAL AND SOCIAL RISK FACTORS

Forecasting the development of multiple sclerosis is proposed on the basis of informative and prognostic significance of biological and social factors present in patients with this pathology.

***Key words**: mathematical forecasting, multiple sclerosis.*

УДК 57.087

Н.М. Артёменко, аспирант, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: artemenko.nm@gmail.com)

РАСПОЗНАВАНИЕ СОСТОЯНИЙ ЛЕГКИХ ЧЕЛОВЕКА ПО ИЗДАВАЕМОМУ ИМИ АКУСТИЧЕСКОМУ ШУМУ

В данной работе рассмотрена возможность комплексной диагностики состояний легких пациента, а именно: распознавание их многочисленных состояний, объединяемых в классы, путем анализа издаваемого ими акустического шума. Рассмотрена возможность установки степени принадлежности неизвестного состояния диагностируемых легких к определенному классу известных состояний на базе нечёткого представления диагностируемых признаков.

Ключевые слова: *состояния, распознавание, образы спектров, кодовые сообщения, класс состояний, нечёткое множество.*

***

Информационные составляющие, которые содержит акустический шум легких человека, является источником информации об их состоянии. Решение задачи декодирования информационных составляющих акустического шума легких человека является актуальной задачей. Помимо индивидуальных составляющих акустического шума легких можно выделить классы состояний, которые являются общими.

Шумы лёгких – это звуковые явления, которые возникают в связи с актом дыхания и называются дыхательными шумами (murmura respiratoria). Различают основные и дополнительные, или побочные, дыхательные шумы. Основным способом объективизации восприятия дыхательных шумов, позволяющим проводить их точную регистрацию и анализ, стало использование систем аппаратной аускультации. Записывающие системы состоят из датчика, который улавливает звуковые колебания усилителя, фильтров низких частот и магнитного накопителя (кассета или компьютерный диск). Особое значение придается качеству датчиков. Наиболее распространенные датчики — конденсаторные, электретные и пьезоэлектрические (акселерометры) микрофоны.

Перед записью проводится усиление и фильтрация дыхательных шумов. При усилении происходит увеличение реального сигнала, вольтаж которого на выходе мал, до уровня, достаточного для записи.

Обычно выбирают либо комплекс точек на поверхности грудной клетки, распределенных над проекцией легких, либо область трахеи. На практике, для того чтобы точно установить глубину источника шума, требуется его одновременная регистрация (пеленгование) из нескольких точек. После аппаратного измерения сигнал оцифровывается, а далее с использованием быстрого преобразования Фурье строится спектр с разрешением в 1 Гц. На спектре в наиболее информативных местах [3] задаются частотные полосы с центральной частотой настройки и заданной шириной.

На базе предлагаемого алгоритма кодирования (см. рис.) разработана программа, которая применяется для регистрации, отображения, анализа и кодирования акустических шумов, записи кодовых сообщений.

В программе предусмотрена возможность устанавливать ширину полос от 2 до 100 Гц. В этих полосах измеряют интенсивности спектральных составляющих в 1 Гц, которые суммируются, а затем эта сумма делится на количество спектральных составляющих с разрешением в 1 Гц, входящих в данную частотную полосу, и таким образом вычисляется средняя интенсивность анализируемой полосы частотного спектра. В последующем средние значения интенсивностей анализируются. Наименьшему среднему значению интенсивности присваивается первый уровень, затем отыскивается значение средней интенсивности следующей частотной полосы, превышающее наименьшее среднее значение, – присва-

ивается второй уровень; таким же образом определяются числа уровней остальных частотных полос анализируемого спектра.

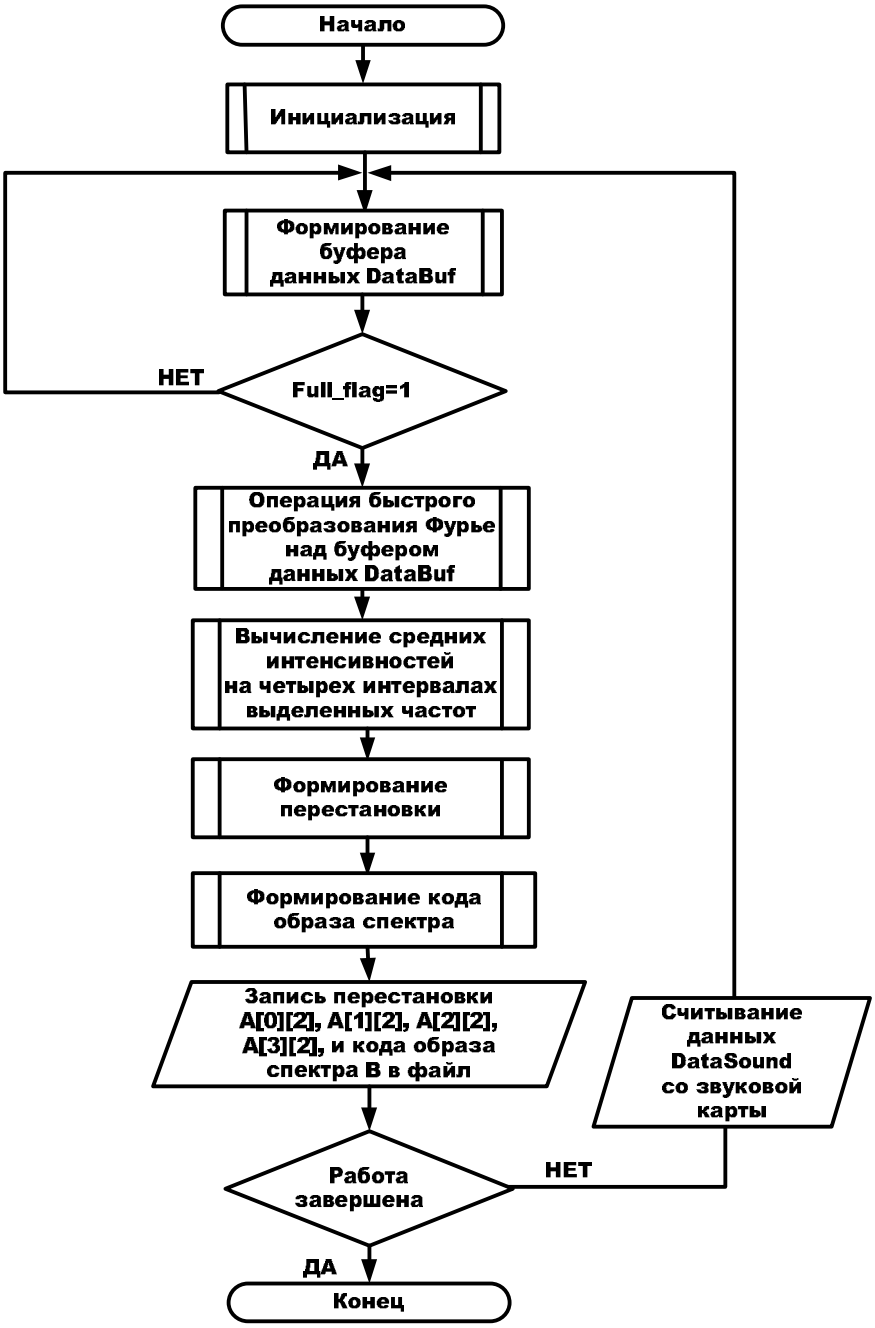


Рис. Алгоритм формирования образа спектра (перестановки)

Формируется образ спектра, который кодируется двоичным кодом по правилу: сравнивается уровень первой слева по спектру полосы с остальными уровнями полос. Если уровень первой полосы превышает уровень сравниваемой полосы, то кодируется двоичной цифрой «1», если не превышает, то – двоичной цифрой «0». Такое попарное сравнение в количестве C_N^2, где N – количество частотных полос, проводится с остальными частотными полосами. В итоге формируется двоичный код [2,3].

При анализе акустического шума легких человека последовательность параллельных двоичных кодов, а также их частота появления создают кодовое сообщение, характеризующее диагностиру-

емое состояние [4]. ПЭВМ анализирует акустический шум как непосредственно с легких, так и предварительно записанный на диктофон [4]. Программа выделяет из спектров образы спектров и их кодовые аналоги**.** В течение времени анализа акустического шума, которое составляет *n* минут, получаются *n* одноминутных реализаций (см. табл.). Ввиду нестационарности акустического шума легких каждая реализация i-го состояния легких характеризуется последовательностью случайных чисел. При синхронном считывании с интервалом времени в 1 секунду за одну минуту считывается 60 образов спектров или кодовых аналогов, выпадающих с частотой k_{ij}, причем некоторые коды могут выпасть максимальное число раз, а другие – ни разу.

Дальнейшая работа с полученными данными может производиться двумя способами.

Способ №1. Отображение состояний легких человека на двумерную плоскость с соблюдением ранжированного размещения кодов. Визуальное выявление принадлежности неизвестного состояния к известному классу состояний по рисунку двумерной плоскости.

Для того чтобы сформировать класс эталонных состояний легких человека путём анализа издаваемого ими акустического шума, необходимо проанализировать акустический шум легких со схожими состояниями.

Для создания базы данных прослушивались основные дыхательные шумы пациентов в различных состояниях. Далее на двухмерной плоскости отображающего экрана построили координатные точки, которые характеризуют состояние пациента.

В ходе повторных анализов акустического шума легких пациентов установлено, что если анализировать оцифрованный акустический шум рассмотренной выше программой, то состояние пациента отображается в виде точки на двумерной плоскости, а если формирование сигнала акустического шума осуществляется с применением записывающего устройства, то в таком случае состояние легких отображается в виде группы точек, характеризующих класс состояния.

Способ №2. Выявление степени принадлежности неизвестного состояния к известному классу состояний с применением решающих правил.

Для этого представим чёткое множество текущих состояний легких человека в виде нечёткого множества (см. табл.) с применением отношений

$$\mu_{ij} = \frac{\mathbf{k_{ij}}}{\max \ \mathbf{k_{ij}}},$$

где $\max \ \mathbf{k_{ij}}$ – максимальная частота появления кода *i*-реализации A_i состояния легких [5].

Пусть выпадающие коды $y \in N!$, $x \in A$, где x – реализации состояния A работающего двигателя, $N!$ – весь алфавит кодов (см. табл.). Функция принадлежности к состоянию легких человека зависит от $x \in A$ как от параметра. Условную функцию принадлежности обозначим $\mu_B(y||x)$, где $x \in A$, а $y \in N!$, где A – состояния легких, B_j – выпадающие коды из пространства $N!$.

Эта функция определяет отображение A в множество нечётких подмножеств, определённых на $N!$. Таким образом, нечёткое подмножество A будет индуцировать нечёткое подмножество B с функцией принадлежности:

$$\mu_{\underline{B}}(y) = \max_{x \in E_1}\left(\min \ \left[\mu_{\underline{B}}(y||x), \mu_{\underline{A}}(x)\right]\right). \quad (1)$$

Необходимо представить таблицу частот появлений кодов (см. табл.) в виде нечёткого отображения. Это будут таблицы состояний легких в виде эталонов, которые хранят в памяти ПЭВМ. Для принятия решения о принадлежности состояния легких по анализируемому акустическому шуму необходимо иметь последовательность реализаций выпадающих кодов неизвестного состояния, при этом должна соблюдаться размерность количества реализаций, соответствующая эталонным значениям, а также последовательность кортежа. В ходе диагности-

рования с каждым B_j кодом проводят операции согласно выражению (1). По каждому B_j коду из $N!$ выявляют степень принадлежности $\mu_{\underline{A}}(y)$ к эталонному состоянию A_i.

Нечёткое представление принадлежности частот появлений кодов к установленным состояниям легких

Состояния	Реализации x_i	Коды B_j и их виды, μ_{ji} – степень принадлежности частоты появления B_j кодов к A_i состоянию							
		y_j							
		B_1	B_2	B_3	…	…	$B_{N!-2}$	$B_{N!-1}$	$B_{N!}$
		$b_1...b_N^2$	$b_1...b_N^2$	$b_1...b_N^2$	…	…	$b_1...b_N^2$	$b_1...b_N^2$	$b_1...b_N^2$
A_1	1	μ_{11}	μ_{12}	M_{13}	…	…	$\mu_{1\,22}$	$\mu_{1\,23}$	$\mu_{1\,24}$
	2	μ_{21}	μ_{22}	M_{23}	…	…	$\mu_{2\,22}$	$\mu_{2\,23}$	$\mu_{2\,24}$
	n	μ_{n1}	μ_{n2}	μ_{n3}	…	…	$\mu_{n\,22}$	$\mu_{n\,23}$	$\mu_{n\,24}$
A_2	1	μ_{11}	μ_{12}	M_{13}	…	…	$\mu_{1\,22}$	$\mu_{1\,23}$	$\mu_{1\,24}$
	2	μ_{21}	μ_{22}	M_{23}	…	…	$\mu_{2\,22}$	$\mu_{2\,23}$	$\mu_{2\,24}$
	n	μ_{n1}	μ_{n2}	μ_{n3}	…	…	$\mu_{n\,22}$	$\mu_{n\,23}$	$\mu_{n\,24}$
	. . .	. . .	. . .	…	…	…	. . .	. . .	. . .
A_n	1	μ_{11}	μ_{12}	M_{13}	…	…	$\mu_{1\,22}$	$\mu_{1\,23}$	$\mu_{1\,24}$
	2	μ_{21}	μ_{22}	M_{23}	…	…	$\mu_{2\,22}$	$\mu_{2\,23}$	$\mu_{2\,24}$
	n	μ_{n1}	μ_{n2}	μ_{n3}	…	…	$\mu_{n\,22}$	$\mu_{n\,23}$	$\mu_{n\,24}$

Далее составляются решающие правила:

1. Если код №1 есть μ_1 , И код №2 есть μ_2 , И код № 3 есть μ_3, И код № N! есть $\mu_{N!}$, то это состояние A_1 с min степенью принадлежности μ.

Такие же решающие правила выполняют для состояния A_2 и устанавливают минимальную степень принадлежности. Эти действия по определению минимальной степени принадлежности применяют ко всем реализациям эталонных A_i -*х* состояний и неизвестных состояний. Далее выбирается максимальная принадлежность из минимальных анализируемых кодов.

Принадлежность неизвестного состояния к эталонным A_i-*м* состояниям устанавливают следующим решающим правилом:

2. Если μ A_1 ИЛИ μ A_2 ИЛИ…ИЛИ μ $A_{N!}$ max из всех min μ A_i, то неизвестное состояние со степенью принадлежности μ A_1 ИЛИ μ A_2, ИЛИ … ИЛИ μ $A_{N!}$ принадлежит A_1 ИЛИ A_2, ИЛИ…ИЛИ $A_{N!}$ состоянию.

То есть выбирается минимальная принадлежность из максимальных, неизвестное состояние принадлежит к эталонному состоянию с минимальной принадлежностью любого из N! кода.

Полное распознавание состояния произойдёт, когда степень принадлежности по каждому коду станет равной единице, т.е. μ_i=1 (центр класса), или приблизится к этому значению. Можно заложить определённую степень принадлежности, например от μ_i=0,7 до 1,0 по каждому коду, или необходимо для каждого эталона определить с использованием эксперимента эталонные образы, характеризующие класс состояния, где степень принадлежности будет установлена экспериментально.

Таким образом, рассмотрена возможность построения классов состояний и диагностирования текущего состояния легких пациента на основе анализа издаваемого ими акустического шума в частотном диапазоне (60-600) Гц с использованием кодовых сообщений и установления степени принадлежности к состоянию с использованием нечётких множеств.

Список литературы

1. Рыбочкин А.Ф., Яковлев А.И. Диагностирование состояний объектов по издаваемому ими акустическому шуму // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2011. – №7. – С. 89-101.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012617781. Программа для анализа и кодирования акустических шумов (CodeBee v.1.1) / Савельев С.В., Мохсен Шамсан Ахмед Исмаил, Рыбочкин А.Ф. Поступило 28.08.2012.

3. Рыбочкин А.Ф., Савельев С.В. Кодирование образов спектров при анализе акустического шума с использованием программы для ЭВМ // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – №2. – С. 88-94.

4. Рыбочкин А.Ф., Захаров И.С. Системный анализ сигналов пчелиных семей с использованием кодовых сообщений. – Курск, 2009. – 400 с.

5. Кофман А. Введение в теорию нечётких множеств. – М: Радио и связь, 1982. – 432 с.

Получено 20.03.15

N.M. Artemenko, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: nat91art@mail.ru)

RECOGNITION OF THE STATE OF HUMUN LUNGS BY EMISSIONS OF ACOUSTIC NOICE

In this work the possibility of a comprehensive diagnosis of conditions the patient's lungs is considered, namely, recognition of their many states, united into classes by analyzing published their acoustic noise. Consider installing a membership degree of the unknown status of diagnosed lungs to a class known states on the basis of fuzzy representation of diagnosable symptoms.

***Key words**: state, recognition, image of the spectrum, code messages, class of states, fuzzy set.*

УДК 614.8:572.18+354.72 (085)

И.С. Гонтарева, аспирант, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: vitalaxen@mail.ru)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИКИ ПАРОДОНТИТА И ОРТОДОНТИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИИ У ДЕТЕЙ

Представлены результаты математического моделирования диагностики сочетанных пародонтита и ортодонтической патологии у детей на основе различных численных критериев и математических методов, свидетельствующие о повышении качества решаемой задачи.

***Ключевые слова:** математическое моделирование, пародонтит, ортодонтическая патология.*

***

Математическое моделирование диагностического процесса по информативным показателям успешно реализуется в педиатрической [1, 4, 8, 9, 13, 15, 19, 21], гинекологической [2, 3, 5, 6, 7, 10, 11, 22], хирургической [12, 16, 17, 18, 20] практике и при соматической патологии [14]. Показано, что математическое моделирование позволяет существенно сократить объем диагностических исследований, не снижая качества оказания медицинской помощи. Однако при диагностике сочетанной ортодонтической патологии с заболеваниями пародонтита данный подход

не используется и нуждается в математическом обосновании.

В настоящем исследовании под наблюдением находились 115 детей с сочетанной ортодонтической патологией и пародонтитом, обследованных по общепринятым в стоматологической практике методам.

Развитие пародонтита и ортодонтической патологии сопровождается достоверными изменениями параметров периферической крови (табл. 1). Однако наиболее значимо произошло увеличение СОЭ и содержания относительного числа лимфоцитов. Достоверно у больных пародонтитом и ортодонтической патологией повышается абсолютное количество лимфоцитов. Одновременно наблюдалось у пациентов при поступлении существенное увеличение палочкоядерных нейтрофилов и сегментоядерных нейтрофилов. Выраженных изменений в содержании моноцитов, базофилов и эозинофилов не выявлено. Достоверных различий в сравнении с контрольной группой в параметрах гемоглобина и эритроцитов в крови не зарегистрировано (P>0,05).

Произошедшие патологические изменения в соотношении форменных элементов крови у больных с пародонтитом и ортодонтической патологией количественно характеризуют величины сдвига (табл. 2). Среди параметров общего анализа крови в основной группе по отношению к контролю максимальна величина сдвига для палочкоядерных нейтрофилов со знаком плюс.

Таблица 1

Показатели периферической крови у больных пародонтитом и ортодонтической патологией и в контрольной группе (M±m)

Название показателя, единица измерения	Пациенты с пародонтитом и ортодонтической патологией	Контроль
Лейкоциты, $x10^9$/л	8,9±0,7*	6,6±0,8*
Лимфоциты, $x10^9$/л	3,6±0,3*	1,7±0,4*
Лимфоциты, %	52,7±1,8*	29,1±1,2*
Сегментоядерные нейтрофилы, %	63,4±2,1*	45,8±1,1*
Палочкоядерные нейтрофилы, %	6,1±0,2*	1,4±0,2*
Моноциты, %	3,8±0,2	4,1±0,2
Базофилы, %	0,8±0,1	0,7±0,08
Эозинофилы, %	2,5±0,2	2,3±0,3
Гемоглобин, г/л	117,5±2,2	122,4±1,9
Эритроциты, $x10^{12}$/л	4,1±0,4	4,4±0,3
СОЭ, мм/час	27,6±1,3*	8,4±0,6*

Примечание. * – достоверные различия с контролем.

Таблица 2

Величина сдвига гематологических параметров у пациентов с пародонтитом и ортодонтической патологией по сравнению с контрольной группой, %

Название показателя, единица измерения	Показатель сдвига	Ранговое место
Лейкоциты, $x10^9$/л	+34,8	6
Лимфоциты, $x10^9$/л	+211,8	3
Лимфоциты, %	+181,2	4
Сегментоядерные нейтрофилы, %	+38,4	5

Окончпние табл. 2

Название показателя, единица измерения	Показатель сдвига	Ранговое место
Палочкоядерные нейтрофилы, %	+435,8	1
Моноциты, %	+7,3	9
Базофилы, %	+14,3	7
Эозинофилы, %	+8,7	8
Гемоглобин, г/л	+4,0	11
Эритроциты, $x10^{12}$/л	+6,8	10
СОЭ, мм/час	+328,6	2
Сумма	+1235,5	-

С аналогичным знаком, но с меньшим относительным показателем установлена величина сдвига для СОЭ.

На третьей ранговой позиции находится изменение абсолютного количества лимфоцитов в периферической крови при развитии воспалительного процесса в костях. Параметры сдвига других показателей крови у пациентов основной группы существенно ниже, чем указанные ранее. Особенно незначительную величину сдвига имеют гемоглобин, эритроциты и моноциты.

Следовательно, математическая оценка показателей периферической крови демонстрирует высокую диагностическую значимость палочкоядерных нейтрофилов, СОЭ и абсолютного числа лимфоцитов.

Построение модели патологических отклонений в периферической крови, связанных с развитием пародонтита и ортодонтической патологии, показывает выраженность изменений со стороны абсолютного количества лимфоцитов, палочкоядерных нейтрофилов и СОЭ (рис. 1). Однако значительная часть форменных элементов крови не претерпела существенных отклонений у больных пародонтитом и ортодонтической патологией. Это относится к содержанию моноцитов, базофилов, эритроцитов, эозинофилов, уровню гемоглобина. Отклонение других показателей периферической крови сопровождалось изменением в сторону увеличения по сравнению с группой взрослых практически здоровых лиц.

В контрольной группе сопряженность гематологических параметров значительно ниже, чем у больных пародонтитом и ортодонтической патологией (рис. 2).

Между показателями периферической крови здоровых лиц выявлено четыре репрезентативные прямые связи. Они отмечены между содержанием лейкоцитов, абсолютным количеством лимфоцитов и СОЭ. Прямая корреляционная связь характерна для абсолютного количества лимфоцитов и СОЭ. Такое же направление связи свойственно уровню гемоглобина и эритроцитов. При развитии пародонтита и ортодонтической патологии количество достоверных связей возрастает до 8. Наибольшее количество корреляций свойственно СОЭ, абсолютному количеству лимфоцитов, лейкоцитов и палочкоядерных нейтрофилов. Так, палочкоядерные нейтрофилы имеют прямую связь с числом лейкоцитов, СОЭ и процентным содержанием сегментоядерных нейтрофилов. СОЭ, в свою очередь, имеет достоверную сопряженность с палочкоядерными нейтрофилами, лейкоцитами и абсолютным количеством лимфоцитов. Последние имеют также три прямые достоверные корреляции. Криволинейная зависимость в основной группе установлена между уровнем эритроцитов и гемоглобина, т.е. по сравнению с контролем изменилась.

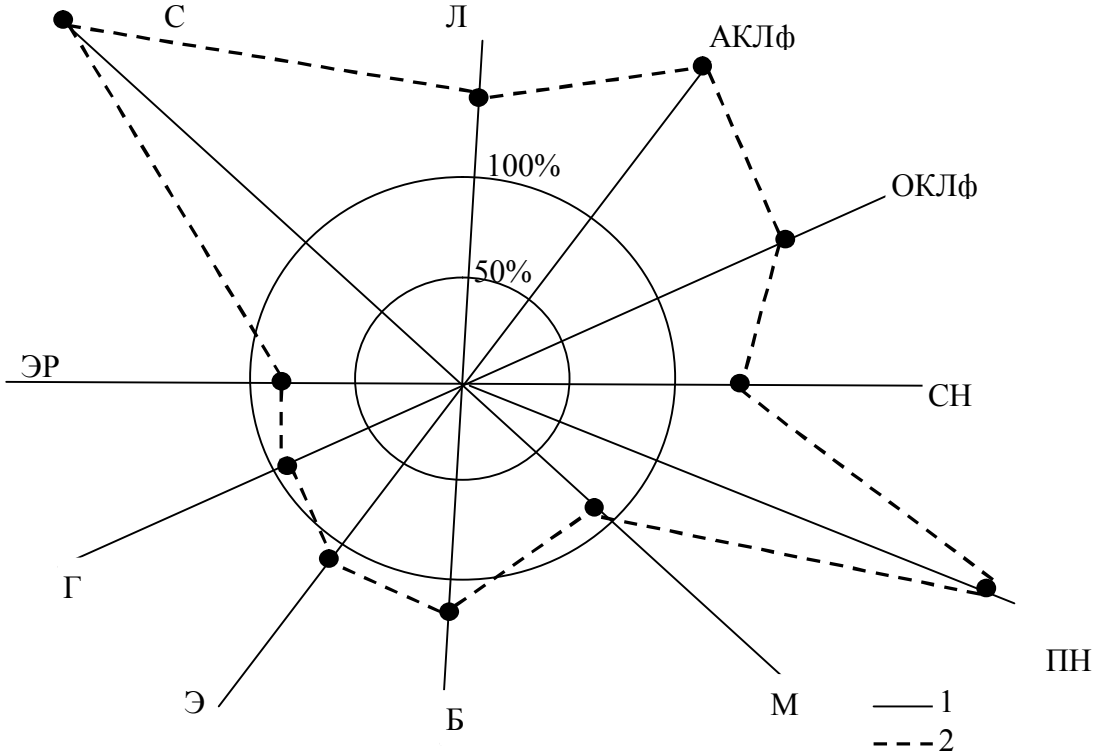


Рис. 1. Модель изменений параметров клеточного состава периферической крови у пациентов с пародонтитом и ортодонтической патологией по отношению к контрольной группе (%): Л – лейкоциты; АКЛф – абсолютное количество лимфоцитов; ОКЛф – относительное количество лимфоцитов; СН – сегментоядерные нейтрофилы; ПН – палочкоядерные нейтрофилы; М – моноциты; Б – базофилы; Э – эозинофилы; Г – гемоглобин; Эр – эритроциты; СОЭ – скорость оседания эритроцитов; 1 – здоровые взрослые, 2 – больные пародонтитом и ортодонтической патологией

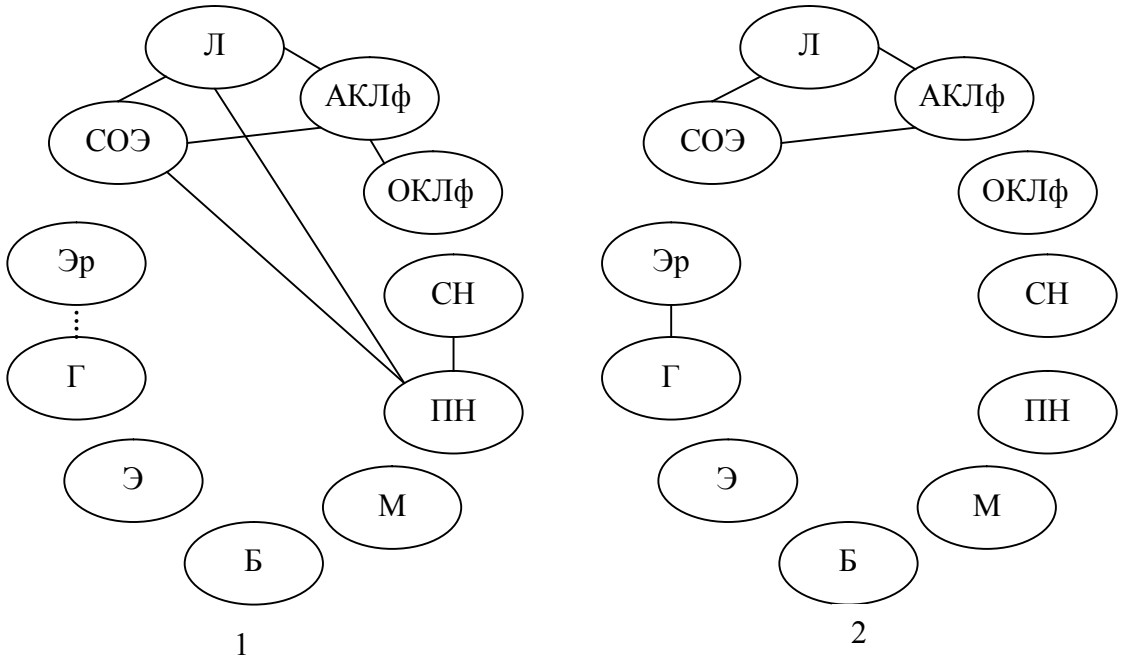


Рис. 2. Модель корреляционных связей показателей периферической крови у больных пародонтитом и ортодонтической патологией (1) и здоровых лиц (2): ——— прямая достоверная связь, --------- обратная достоверная связь, …… криволинейная достоверная связь (остальные обозначения аналогичны обозначениям рис. 1)

Диагностическое исследование параметров системного иммунитета у пациентов с пародонтитом и ортодонтической патологией позволило обнаружить гиперактивацию Т-лимфоцитов и наличие недостаточности Т-хелперов, Т-супрессоров, активности нейтрофилов в тесте нитросиневого тетразолия спонтанного и стимулированного (табл. 3). Независимо от этого, все изменения в иммунной системе организма больных носили репрезентативный характер, за исключением соотношения параметров НСТ-ст. к НСТ-сп. (P>0,05).

Воспалительный процесс в костной ткани вызвал достоверное повышение как абсолютного, так и относительного содержания Т-лимфоцитов. Изменение Т-хелперов и Т-супрессоров было однонаправленным и сопровождалось угнетением продукции данных кластеров в абсолютном и относительном выражении.

Среднее значение теста НСТ-ст. и НСТ-сп. у больных пародонтитом и ортодонтической патологией статистически существенно уменьшилось.

Математическая оценка изменений системного иммунитета посредством показателя сдвига свидетельствует о наиболее существенном сдвиге абсолютного числа Т-хелперов и Т-лимфоцитов в периферической крови больных пародонтитом и ортодонтической патологией (табл. 4).

По отношению к здоровым взрослым лицам среди рассматриваемых параметров системного иммунитета существенный сдвиг произошел и в содержании абсолютного количества Т-супрессоров, и относительного уровня Т-лимфоцитов.

Величины показателей сдвига относительного числа Т-супрессоров, Т-хелперов, теста НСТ-ст. и отношение НСТ-ст./НСТ-сп. оказались практически равными по значению и одинаковыми по знаку. Наименьший показатель сдвига у пациентов с пародонтитом и ортодонтической патологией отмечен для теста НСТ-сп. Общая сумма сдвигов показателей системного иммунитета имела отрицательный знак и составила 378,1.

Таблица 3

Иммунологические показатели на системном уровне при пародонтите и ортодонтической патологии и в контроле (M±m)

Исследуемый параметр, единица измерения	Основная группа	Контрольная группа
СД3+, $x10^9$/л	1,7±0,2*	0,8±0,1*
СД3+,%	58,3±0,6*	47,6±0,7*
СД4+, $x10^9$/л	0,3±0,05*	0,8±0,06*
СД4+,%	27,8±0,5*	44,2±0,7*
СД8+, $x10^9$/л	0,3±0,02*	0,5±0,03*
СД8+,%	18,1±1,0*	29,7±0,9*
НСТ-сп., у.е.	89,7±0,6*	99,4±0,7*
НСТ-ст., у.е.	118,5±3,2*	176,8±2,9*
НСТ-ст./НСТ-сп.	1,3±0,2	1,8±0,3

Примечание. * – достоверные различия.

Таблица 4

Величина сдвига параметров системного иммунитета у пациентов с пародонтитом и ортодонтической патологией по сравнению с контрольной группой, %

Исследуемый параметр, единица измерения	Основная группа	Ранговое место
СД3+, $x10^9$/л	+212,5	2
СД3+,%	+122,5	4
СД4+, $x10^9$/л	-266,7	1

Окончание табл. 4

Исследуемый параметр, единица измерения	Основная группа	Ранговое место
СД4+,%	-62,9	8
СД8+, х10^9/л	-166,7	3
СД8+,%	-67,8	6
НСТ-сп., у.е.	-9,8	9
НСТ-ст., у.е.	-67,0	7
НСТ-ст./НСТ-сп.	-72,2	5
Сумма	-378,1	-

При осуществлении моделирования выявленных изменений параметров иммунной системы на уровне организма больных пародонтитом и ортодонтической патологией в большинстве случаев наблюдается однонаправленность сдвигов (рис. 3).

Максимальное отклонение от параметров здоровых лиц отмечается для абсолютного содержания Т-хелперов, характеризующееся выраженной супрессией данного кластера дифференцировки иммунных клеток.

Значительное отклонение присуще также другой субпопуляции Т-лимфоцитов – абсолютному количеству Т-супрессоров.

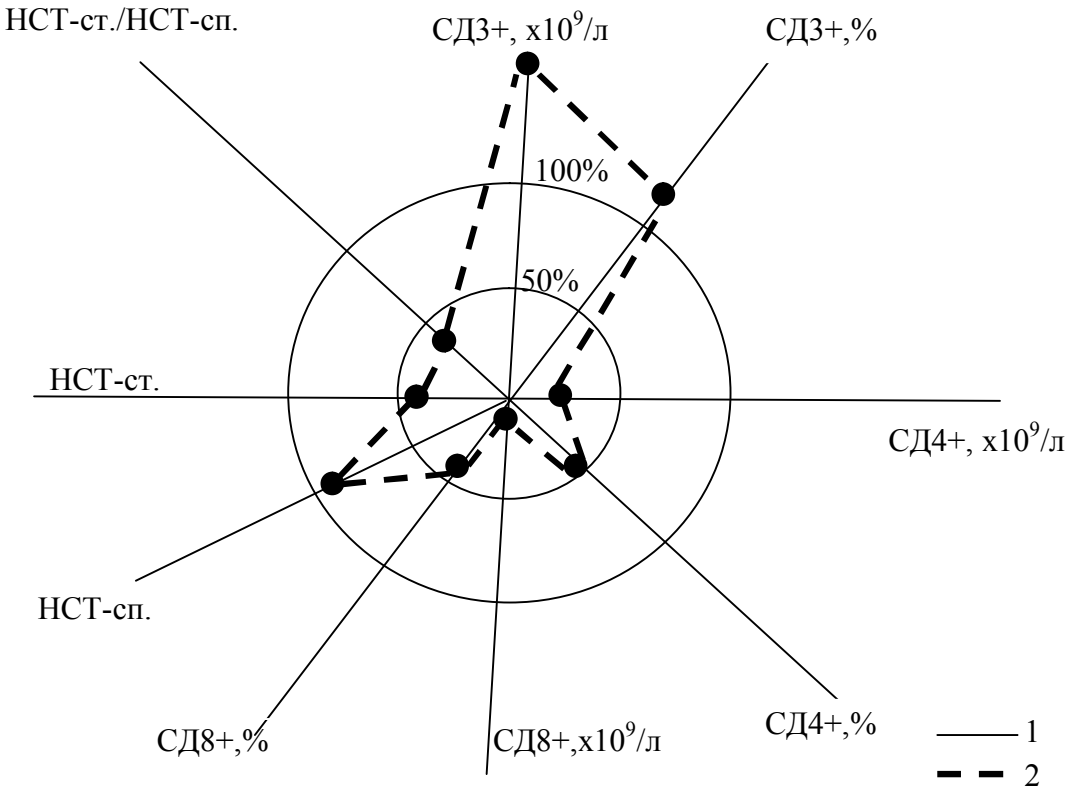


Рис. 3. Модель изменений параметров системного иммунитета у больных пародонтитом и ортодонтической патологией по сравнению с контрольной группой (%): СД3+,х10^9/л – абсолютное количество Т-лимфоцитов крови; СД3+,% – относительное количество Т-лимфоцитов; СД4+,х10^9/л – абсолютное количество Т-хелперов; СД4+,% – относительное содержание в крови Т-хелперов; СД8+,х10^9/л – абсолютное содержание Т-супрессоров; СД8+,% – относительное число Т-супрессоров; НСТ-сп. – тест восстановления нитросинего тетразолия спонтанный; НСТ-ст. – тест восстановления нитросинего тетразолия стимулированный; НСТ-ст./НСТ-сп. – соотношение тестов

Вместе с тем противоположная высокая величина отклонений отмечена для абсолютного числа Т-лимфоцитов.

Менее существенные сдвиги наблюдались для относительного числа Т-хелперов, Т-супрессоров, активности нейтрофилов в тесте НСТ-ст.

Промежуточное положение занимает изменение относительного содержания в периферической крови Т-лимфоцитов.

Практически неизменной осталась активность нейтрофилов в тесте НСТ-сп. Отмеченные изменения следует учитывать при диагностике данной нозологической формы пародонтита и ортодонтической патологии.

Соотношение иммунных клеток периферической крови среди представителей основной и контрольной групп, представленное в виде графической модели, различается как по количеству, так и по направлению связей (рис. 4).

У больных пародонтитом и ортодонтической патологией наивысшее число достоверных корреляционных связей свойственно абсолютному содержанию Т-хелперов, которые имеют с другими субпопуляциями иммунных клеток в целом пять связей.

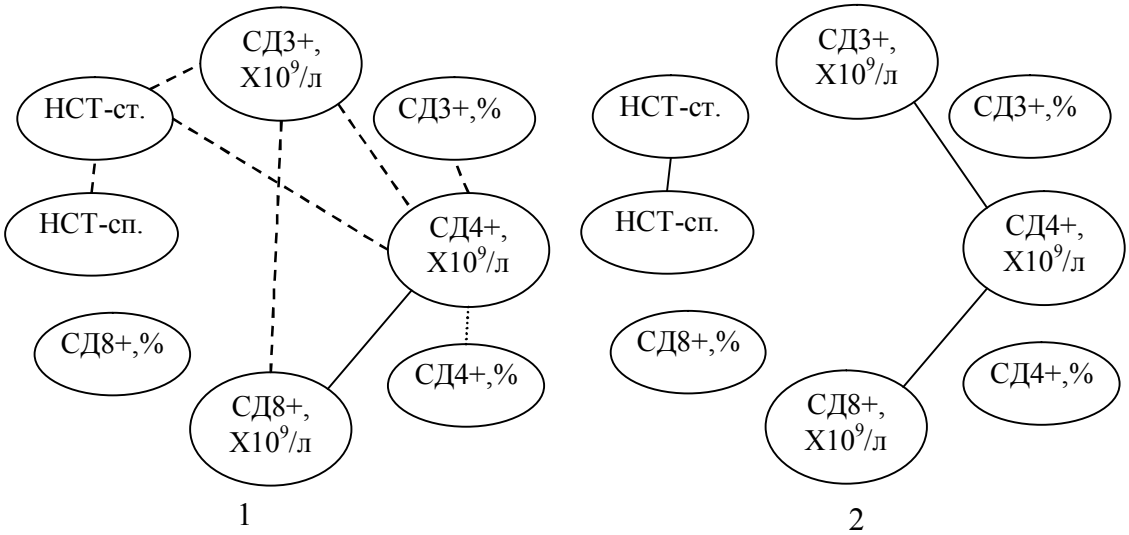


Рис. 4. Модель корреляционных связей параметров системного иммунитета у больных с пародонтитом и ортодонтической патологией (1) и здоровых лиц (2): ——— прямая достоверная связь, --------- обратная достоверная связь, …… криволинейная достоверная связь (обозначения клеток аналогичны обозначениям рис. 3)

Три обратные репрезентативные связи абсолютное количество Т-хелперов имеет с абсолютным, относительным содержанием Т-лимфоцитов и с тестом НСТ-ст. Прямая и криволинейная зависимость существует между абсолютным количеством Т-хелперов и абсолютным числом Т-супрессоров соответственно.

В корреляционной модели отчетливо выделяется абсолютное содержание на системном уровне Т-лимфоцитов, характеризующихся наличием трёх обратных зависимостей – с абсолютным числом Т-хелперов и Т-супрессоров, с тестом НСТ-ст. Последний находится в обратной взаимосвязи с тестом НСТ-сп.

В группе сравнения сопряженность показателей иммунной системы значительно ниже. Имеющиеся три корреляционные связи являются прямыми, причем две из них приходятся на кластер дифференцировки Т-хелперов в абсолютном выражении.

Диагностическое исследование на системном уровне параметров гуморального иммунитета у больных пародонтитом и ортодонтической патологией выявило достоверное снижение иммуноглобулинов класса А в крови (см. табл. 4)

(P<0,01). Более существенным оказалось уменьшение уровня Ig G вследствие развития пародонтита и ортодонтической патологии по сравнению с контрольной группой. Вместе с тем концентрация Ig E и Ig M на системном уровне среди больных с изучаемой челюстно-лицевой патологией практически осталась без существенных изменений (P>0,05). Уровень циркулирующих иммунных комплексов в крови представителей основной группы репрезентативно возрос.

Список литературы

1. Агарков Н.М., Артенян Н.В., Яковлев А.П. Диагностика нейродермита с учётом информативности показателей разного биологического качества у подростков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2011. – Т.10, №3. – С. 497-501.

2. Агарков Н.М., Будник И.В. Рационализация диагностики неспецифического сальпингоофорита на основе анализа информативности и моделирования клинико-лабораторных показателей // Российский медицинский журнал. – 2012. – №4. – С. 46-49.

3. Агарков Н.М., Будник И.В. Информативность клинических симптомов, иммунологических, гематологических показателей и проявлений эндогенной интоксикации при остром неспецифическом сальпингоофорите // Журнал акушерства и женских болезней. – 2012. – Т. LXI, вып.4. – С. 11-15.

4. Автоматизированная система поддержки решений врача-дерматолога / Н.М. Агарков, А.В. Иванов, В.А. Иванов, А.П. Яковлев // Врач и информационные технологии. – 2013. – №3. – С. 71-74.

5. Прогнозирование тяжелого гестоза на основе компьютерных технологий / Н.М. Агарков, М.В. Фролов, В.Н. Снопков, С.Н. Гонтарев, Л.В. Шульга, Е.П. Афанасова // Врач и информационные технологии. – 2013. – №5. – С. 26-30.

6. Будник И.В., Гонтарев С.Н., Шульга Л.В. Многомерный математический анализ связей сальпингоофорита с инфекциями, передающимися половым путём, в различных возрастных и территориальных группах // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2012. – Т. 11, №2. – С. 543-550.

7. Будник И.В. Математическое моделирование связей и прогнозирование гинекологической патологии // Вестник новых медицинских технологий. – 2012. – Т. XIX, №1. – С. 29-32.

8. Моделирование и информативность проявлений синдрома эндогенной интоксикации при тонзиллите у детей / Е.А. Гнездилова, С.Н. Гонтарев, А.В. Иванов, В.Н. Мишустин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 73-77.

9. Компьютерная система обеспечения принятия решений детского стоматолога / С.Н. Гонтарев, А.П. Яковлев, Л.В. Шульга, В.А. Иванов // Врач и информационные технологии. – 2013. – №3. – С. 64-69.

10. Диагностическая значимость и моделирование параметров гемограммы и гомеостаза при остром сальпингоофорите / С.Н. Гонтарев, М.В. Фролов, В.Д. Луценко, И.В. Коломиец, Е.П. Афанасова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 106-113.

11. Поликритериальный математический отбор диагностических параметров локального кровотока и размеров яичников при остром сальпингоофорите / С.Н. Гонтарев, А.П. Яковлев, А.В. Шульга, В.А. Иванов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 157-163.

12. Информативность биомаркеров злокачественных новообразований органов желудочно-кишечного тракта и прогнозирование на индивидуальном уровне / С.Н. Гонтарев, А.В. Шульга, А.П. Яковлев, В.Н. Мишустин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 204-210.

13. Иванов А.В., Артенян Н.В., Гонтарев С.Н. Компьютерное и сетевое моделирование диагностики атопического нейродермита // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – №2-1. – С. 48-52.

14. Компьютерное моделирование ассоциаций гипертонической болезни с заболеваемостью и смертностью от других болезней системы кровообращения / А.В. Иванов, В.Н. Мишустин, Е.В. Стародубцева, А.П. Яковлев // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11 (154), вып. 22/1. – С. 114-121.

15. Иванов В.А. Организация и ведение компьютерного банка данных по заболеваемости дерматозами у детей // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2012. – Т. 11, №4. – С. 1058-1061.

16. Мочекаменная болезнь: информативность методов визуализации конкрементов мочеточника / А.Г. Коцарь, С.П. Серегин, А.В. Новиков, В.Н. Снопков, Л.В. Шульга // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 122-126.

17. Синтез нечетких решающих правил прогнозирования эффективности литолиза уратных камней почек / А.Г. Коцарь, С.П. Серегин, А.В. Новиков, Л.В. Шульга, А.П. Яковлев // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 138-139.

18. Анализ и прогнозирование качества жизни после хирургического лечения / В.Ф. Луценко, Т.Н. Татьяненко, Е.В. Стародубцева, В.Н. Мишустин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 78-83.

19. Дифференциация острого тонзиллита у детей на основе математических моделей / В.Ф. Луценко, Е.А. Гнездилова, Е.В. Стародубцева, А.В. Иванов, В.Н. Мишустин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 84-88.

20. Серёгин С.П., Забровский А.Н., Мишустин В.Н. Многокритериальное математическое моделирование и прогнозирование распространенности злокачественных новообразований // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 2-1. – С. 41-49.

21. Математический прогноз развития гипоксически-ишемической энцефалопатии у новорожденных детей / В.Н. Снопков, А.П. Яковлев, Л.В. Шульга, Г.И. Кислюк // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – №11(154), вып. 22/1. – С. 168-171.

22. Яковлев А.П. Дискриминантный метод в выявлении больных острым сальпингоофоритом // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 2-2. – С. 209-215.

Получено 27.03.15

I.S. Gontareva, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: vitalaxen@mail.ru)

MATHEMATICAL MODELLING FOR DIAGNOSIS PERIODONTITIS AND ORTHODONTIC PATHOLOGY IN CHILDREN

The results of mathematical modeling of combined diagnosis of periodontitis and orthodontic pathology in children based on various numerical criteria and mathematical methods, indicates an increase in the quality of the problem being solved.

***Key words**: mathematical modeling, periodontitis, orthodontic pathology.*

УДК 615.47

А.Н. Шуткин, канд. физ.-мат. наук, Воронежский институт государственной противопожарной службы (e-mail: anshutkin@mail.ru)

Е.А. Бойцова, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: elena-boitcova@mail.ru)

А.В. Бойцов, аспирант, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск)

С.Н. Кореневская, студент, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Курск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ НЕЧЁТКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ УТОМЛЕНИЯ

Рассматриваются вопросы использования теории нечёткой логики принятия решений и теории измерения латентных переменных на основе статистической модели Г. Раша для решения задач оценки степени утомления.

***Ключевые слова**: степень утомления, пространство признаков, латентные переменные, функциональный резерв организма.*

***

Введение

Решение задачи оценки степени утомления является актуальной проблемой современной психологии и медицины, поскольку утомление, особенно хроническое, является важным фактором, влияющим на качество работы информационно-насыщенных человеко-машинных систем, а также «спусковым» механизмом в появлении и развитии целого ряда социально значимых заболеваний.

С математической точки зрения задача оценки уровня утомления (УУ) относится к классу плохоформализуемых задач, поскольку отсутствует чётко сформулированное понятие утомления на содержательном уровне. Различные группы специалистов дают собственные определения, удобные для решения различных прикладных задач. В таких условиях легко объясняется отсутствие достаточно точных моделей классификации и оценки уровня утомления.

В математике существуют различные подходы к решению плохоформализуемых задач, среди которых широкой популярностью пользуется технология мягких вычислений, основу которой составляют нечёткая логика принятия решений Л. Заде, теория уверенности Е. Шортлифа и ряд других математических методов. По своим исходным определениям к этой технологии можно отнести также теорию измерения латентных переменных (IRT), которая основывается на установлении связей между плохоформализуемыми понятиями (латентными переменными) и признаками, которые могут быть достаточно точно измерены и (или) рассчитаны (индикаторные переменные) [13, 17, 18, 23, 24]. В предлагаемой работе для оценки такого плохоформализуемого понятия, как степень утомления, объединяются различные подходы, принятые в технологии мягких вычислений, включая модель Г. Раша, являющуюся основной частью теории измерения латентной переменной.

Методы исследования

Практика использования математических методов в задачах классификации состояний сложных систем, включая организм человека, показала, что в условиях плохой формализации, при недостаточной статистике, при выборе типов решающих правил, объединяемых в коллективы, наиболее целесообразно использовать нечёткую логику принятия решений, диалоговые системы распознавания образов, метод группового учёта аргументов, теорию измерения латентных переменных и последовательный секвенциальный анализ А. Вальда [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 19, 20, 22].

Проведённые нами исследования показали, что для решения конкретных

задач оценки степени утомления достаточно использовать модификации теории нечёткой логики принятия решений, теорию уверенности и модель Г. Раша.

При использовании модификаций классического аппарата нечёткой логики принятия решений Л. Заде, ориентированной на решение классификационных задач, в качестве базовых элементов используются функции принадлежности $\mu_{\omega_\ell}(x_i)$ и (или) $\mu_{\omega_\ell}(Y_j)$ к исследуемым классам состояний ω_ℓ с базовыми переменными, определяемыми по шкалам информативных признаков x_i и (или) комплексных показателей Y_j, вычисляемых по информативным показателям $Y_j = f_j(x_1, x_2, ...)$, где f_j – функциональная зависимость, «связывающая» все или часть информативных признаков с Y_j.

Наиболее популярными формулами агрегации при использовании функций принадлежности являются следующие выражения:

$$UGN_\ell = \min_i\left[\mu_{\omega_\ell}(x_i)\right],\ UGN_\ell = \min_j\left[\mu_{\omega_\ell}(Y_j)\right],\ UGN_\ell = \min_{i,j}\left[\mu_{\omega_\ell}(x_i), \mu_{\omega_\ell}(Y_j)\right], \quad (1)$$

$$UGN_\ell = \max_i\left[\mu_{\omega_\ell}(x_i)\right],\ UGN_\ell = \max_j\left[\mu_{\omega_\ell}(Y_j)\right],\ UGN_\ell = \max_{i,j}\left[\mu_{\omega_\ell}(x_i), \mu_{\omega_\ell}(Y_j)\right], \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &UGN_\ell = \max_q \min_i\left[\mu_{\omega_\ell}(x_i)\right],\ UGN_\ell = \max_q \min_j\left[\mu_{\omega_\ell}(Y_j)\right], \\ &UGN_\ell = \max_q \min_{i,j}\left[\mu_{\omega_\ell}(x_i), \mu_{\omega_\ell}(Y_j)\right], \end{aligned} \quad (3)$$

где q – номер эталонных гиперобъёмов, «покрывающих» класс ω_ℓ.

Выражения типа (1) следует применять в подпространстве или пространстве признаков, если все из них таковы, что отсутствие одного из них требует отказа от ω_ℓ.

Эти правила с геометрической точки зрения можно трактовать как классификацию по попаданию исследуемого объекта в нечёткий гиперпараллелепипед, ограниченный нулевыми значениями всех используемых функций принадлежности, если эти функции одномодальны.

Выражение (2) целесообразно использовать, если наличие любого из признаков достаточно для оценки гипотезы ω_ℓ.

Если в пространстве признаков находятся группы признаков, удовлетворяющих (1) и (2), то рекомендуется использовать правила вида (3). Порядок синтеза решающих правил типа (1), (2) и (3) достаточно подробно описан в работах [3, 4, 6, 9].

Геометрически это правило соответствует аппроксимации геометрических образов, соответствующих исследуемым классам состояний наборами нечётких гиперпараллелепипедов с номерами q в классе ω_ℓ.

В рамках теории уверенности Е. Шортлифа рассматривается вариант нечёткой классификации, при которой информативные признаки x_i или комплексные показатели Y_j характеризуются такими свойствами, что каждый из них увеличивает уверенность в гипотезе (диагнозе ω_ℓ). В таком варианте частную и (или) общую уверенность UGS_ℓ в ω_ℓ рекомендуется определять по следующим формулам:

$$\begin{aligned} &UGS_\ell(p+1) = UGS_\ell(p) + \mu_{\omega_\ell}(x_i)\left[1 - UGS_\ell(p)\right], \\ &UGS_\ell(p+1) = UGS_\ell(p) + \mu_{\omega_\ell}(Y_j)\left[1 - UGS_\ell(p)\right], \\ &UGS_\ell(p+1) = UGS_\ell(p) + US_\ell(p+1)\left[1 - UGS_\ell(p)\right], \end{aligned} \quad (4)$$

где p – номер итерации в расчёте UGS_ℓ;

$US_\ell(p+1)$ – частная уверенность в ω_ℓ по пространству с номером p+1 многомерного пространства признаков.

Исходными данными для теории измерения латентных переменных является положение о том, что информативные признаки, с помощью которых оценивается состояние исследуемых систем, получают путём прямого измерения либо вычисляют по результатам прямых измерений. Результат оценки состояний сложных систем (подсистем) определяется не прямыми измерениями, а в ходе анализа исходных признаков и (или) комбинированных показателей, получаемых расчётным путём [13, 23]. Это позволяет сделать вывод о том, что теория латентных переменных является адекватной по отношению к решаемому классу задач.

В терминологии теории измерения латентных переменных исходные медицинские признаки и чётко вычисляемые параметры определяются как индикаторные переменные, а неопределённые априори результаты – как латентные (скрытые) переменные.

Многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых показали, что для решения задач, аналогичных решаемым в работе, наиболее адекватной является модель Г. Раша, определяемая логистической функцией вида:

$$P_{ij} = \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}}, \qquad (5)$$

где P_{ij} – вероятность достижения медицинской цели (прогноз, диагноз, эффективное лечение) у пациента с номером i при использовании индикаторных переменных S_{ij} (информационные признаки, составляющие схему лечения и т.д.);

θ_i, – эффективность достигаемой цели у пациента i;

β_j – информативность (эффективность) использования j-го признака (воздействия) при решении поставленной задачи.

Как следует из определения, θ_i, и β_j по своей природе являются латентными переменными.

Все латентные переменные измеряются в логитах, которые формируются при переходе от количественных шкал X_i к качественным интервальным шкалам K_i.

Для перевода количественных шкал $X_i\ (i = 1,...,n)$ в шкалы качественные используется формула

$$K_i = \begin{cases} \operatorname{int}\left(\dfrac{X_i - X_{i,\min}}{R}\right), & \text{при} \quad X_i < X_{i,\max}, \\ n-1, & \text{при} \quad X_i = X_{i,\max}. \end{cases} \qquad (6)$$

где X_i – текущее натуральное значение i-го индикатора;

$X_{i,\min}$ – наименьшее значение i-го индикатора;

$X_{i,\max}$ – наибольшее значение i-го индикатора;

n – основание качественной шкалы (n =2,3,..), выбираемой в соответствии с рекомендациями [13];

int(M) – целая часть числа M.

При этом длина интервала качественной шкалы определяется по формуле

$$R_i = \frac{X_{i,\max} - X_{i,\min}}{n}.$$

Исследование роли индикаторных переменных в измерении латентных переменных удобно производить с помощью стандартного пакета диалоговых прикладных программ RUMM 2020 (*Rasch Unidimensional Measurement Models*) [13,16]. Используя значения индикаторных переменных, переведенных в логиты, пакет RUMM 2020 строит теоретические кривые модели Г.Раша (характеристические кривые), по которым судят о соответствии индикаторных переменных модели Г. Раша и в ходе итерационных процедур формируют пространство информативных признаков. Пример такого графика приведен на рисунке 1. Осью абсцисс этого графика является шкала логитов латентной переменной, а осью ординат является шкала логитов индикаторных переменных.

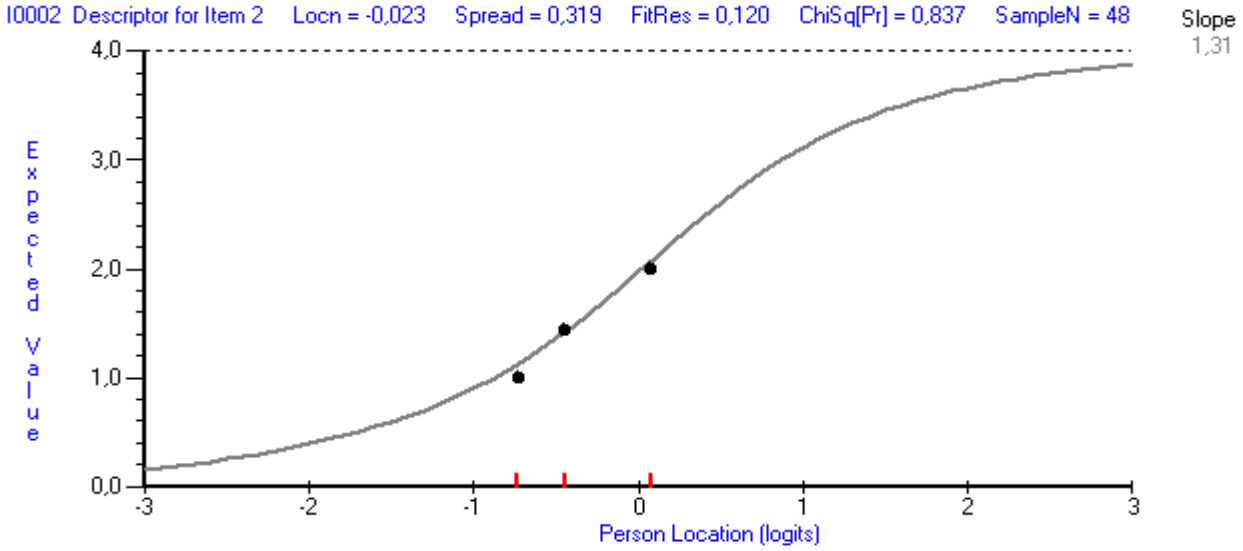


Рис. 1. Характеристическая кривая для индикатора X_{2i} информационного признака (индикатора)

Относительно теоретической кривой по обучающей выборке формируются три примерно равные группы – с низким, средним и высоким уровнем исследуемых состояний человека, для которых определяются координаты их средних значений (три точки на рисунке 1). Считается, что если индикатор (информативный признак) хорошо соответствует общему набору индикаторов, то точки, соответствующие "слабым", "средним" и "сильным" уровням, близко располагаются относительно характеристической кривой.

Мера близости координат средних значений к теоретической кривой Г. Раша определяется по критерию Хи-квадрат.

В ходе реализации пакета RUMM 2020 рассчитываются:

– степень соответствия индикаторных переменных модели измерения (латентной переменной «утомление» – *ChiSq Prob* ($\chi^2_{\text{критич.}}\,\text{Pr}ob$);

– местоположения индикаторной переменной, измеряемой в логитах – *Location*;

– погрешность измерения местоположения индикаторной переменной измеряемой в логитах *SE;*

– величина, характеризующая суммарное отклонение значений данного индикатора от ожидаемых значений на основе модели – *FitResid.*

Считается, что индикаторная переменная, для которой $\chi^2_{\text{критич.}}\,\text{Pr}ob \geq 0{,}05$ (при доверительной вероятности 0,95), удовлетворяет модели Г. Раша и может быть использована для описания исследуемой переменной [10, 23, 24].

Пакет RUMM 2020 формирует график соответствия между уровнем интегрального показателя латентной переменной и значимостью индикаторных переменных (рис. 2).

На рисунке 2 осью абсцисс является шкала исследуемой латентной переменной L. По оси ординат в верхней части рисунка откладывается число объектов (людей из обучающей выборки), попадающих в полученные интервалы латентной переменной. То есть фактически этот рисунок представляет собой гистограмму распределения объектов наблюдения по шкале L. По оси ординат в нижнем рисунке откладывается число информативных переменных, приходящихся на выделенные интервалы латентной переменной.

Средняя значимость информативных признаков (индикаторов) не должна отличаться от среднего уровня интегрального показателя более чем на 0,5 логит

[10]. Если это условие выполняется, то можно сделать вывод о том, что система информативных признаков (индикаторов) соответствует измеряемой латентной переменной и набор используемых информативных признаков (индикаторов) является эффективным для целей измерения обобщенной латентной переменной.

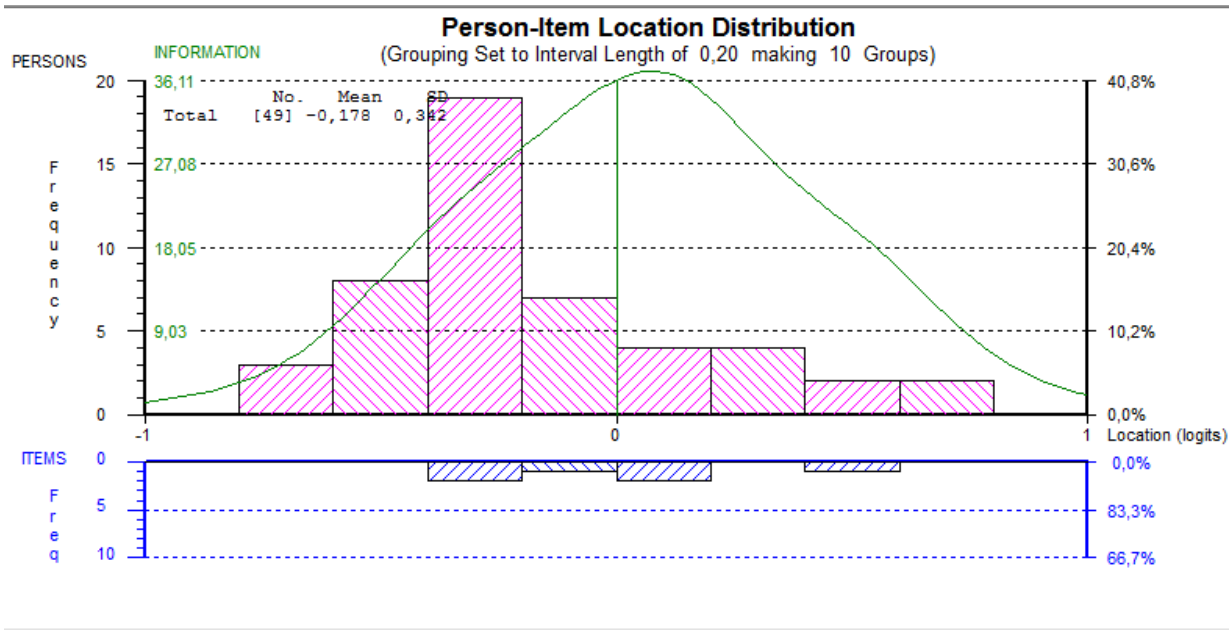


Рис. 2. Соответствие между уровнем интегрального показателя латентной переменной (вверху) и местоположением информативных признаков (индикаторов) (внизу)

В пакете RUMM 2020 предусмотрена возможность определения функциональной связи между латентной переменной L, определяемой в логитах, и выбранным набором индикаторных переменных S_j:

$$L = f_L(S_j), \qquad (7)$$

где f_L – вид функциональной зависимости L от S_j (L измеряется в логитах).

При оценке состояния сложных систем в качестве латентной переменной могут выступать уверенность в прогнозе перехода системы из одного состояния в другое; уверенность в том, что система находится в одном из классов состояний ω_ℓ, и т.д.

При переходе к принятым в работе механизмам нечёткой классификации целесообразно использовать функции принадлежностей к исследуемым классам состояний $\mu_{\omega_\ell}(L)$ с базовой переменной L.

Для перехода от L к $\mu_{\omega_\ell}(L)$ удобно использовать такую обобщённую характеристику, определяемую пакетом RUMM 2020, как гистограмма распределения объектов исследования на шкале латентной переменной L. При этом функции удобно строить, используя рекомендации работ [5, 20].

Таким образом, модель Г. Раша может быть использована для нечёткой оценки состояния объекта исследования с расчётом уверенности в классификации в соответствии с выражением

$$UGR_\ell = \mu_{\omega_\ell}(L). \qquad (8)$$

Синтез гибридных правил оценки степени утомления

В работах [1, 2, 10, 11, 12] были получены математические модели оценки степени (уровня) утомления, использующие показатели энергетического разбаланса биологически активных точек (БАТ), состояния зрительного внимания

и субъективные оценки утомления по тестовым методикам.

Практическое использование этих моделей для оценки текущего и хронического уровней утомления показало, что не все специалисты адекватно относятся к методам, опирающимся на современную акупунктуру. Многие специалисты не владеют методами рефлексодиагностики, а соответствующее аппаратно-программное обеспечение не выходит на широкий российский медицинский рынок.

В связи с этим в данной работе решается вопрос о замене составляющей БАТ на другие физиологические методы оценки уровня утомления. Как показал анализ исследований, проводимых в России и за рубежом, широкой популярностью для оценки уровня утомления пользуются показатели, характеризующие величину функционального резерва организма.

В данной работе исследуется показатель функционального резерва (ФР), который ориентирован на оценку риска возникновения заболеваний, вызываемых хроническим утомлением и называется показателем адаптационного соответствия ПАС [14].

Этот показатель рассчитывается по формуле

$$ПАС=0{,}011(P-P^*)+0{,}014(S-S^*)+ +0{,}008(D-D^*)+0{,}009(W-W^*), \qquad (9)$$

где P,S,D,W – диагностически значимые частоты пульса (уд/мин) в среднем за сутки, систолическое и диастолическое давление среднее за сутки (мм рт.ст.), масса тела (кг) соответственно;

P^*,S^*,D^*,W^* – идеальные значения составляющих показателей, определяемые по следующему набору правил.

Для P^*: 20-29 лет 79±10; 30-49 лет 78±7; 50-59 лет 76±9; 60-69 лет 77±9; 70-79 лет 72±9; 80-99 лет 73±10.

Для S^* возраст, равный или меньший 50 лет, – 120 мм рт.ст.; больше 50 лет – 140 мм рт.ст.

Для D^* возраст, равный или меньший 50 лет, – 80 мм рт.ст.; больше 50 лет – 90 мм рт.ст.

Для W^*: мужчины –

$$W^*=50+0{,}32(p-150)+(B-21)/4;$$

женщины –

$$W^*=50+0{,}75(p-150)+(B-21)/4;$$

p – рост на момент обследования, см;

B – количество полных лет на момент обследования.

Решение о величине функционального резерва принимается в соответствии со следующим алгоритмом.

1. Если $ПАС \le 0$, то функционирование организма не нарушено;

2. Если $0 < ПАС \le 0{,}3$, то функционирование организма компенсировано за счёт собственных резервов или за счёт медицинской помощи.

3. Если $ПАС > 0{,}3$, то функционирование организма нарушено, собственные ресурсы истощены, медицинская помощь не полностью компенсирует нарушения.

По показателям внимания уровень утомления определяется с использованием метода диалогового конструирования двумерных отображающих пространств по координатам $\{Y_1,Y_2\}$ в его нечёткой интерпретации [5, 21].

В соответствии с этим методом

$$YU_B = \max(YU_B, YU_B^2), \qquad (10)$$

где $\begin{cases} YU_B^1 = \min[YU_B^{1*}(Y_1), YU_B^{1*}(Y_2)]; \\ YU_B^2 = \min[YU_B^{2*}(Y_1), YU_B^{2*}(Y_2)]; \end{cases}$

$$YU_B^{1*}(Y_1) = \begin{cases} 0{,}8, & если \quad Y_1 < -100; \\ -0{,}008У_1, & если \quad 100 \le Y_1 < 0; \\ 0, & если \quad Y_1 > 0. \end{cases}$$

$$YU_B^{1*}(Y_2) = \begin{cases} 0, & если \quad Y_2 < -100; \\ 0{,}02Y_2 + 1{,}2, & если \quad -100 \le Y_2 < -60; \\ 0{,}8, & если \quad -60 \le Y_2 < 0; \\ -0{,}04Y_2 + 0{,}8, & если \quad 0 \le Y_2 < 20; \\ 0, & если \quad Y_2 \ge 20. \end{cases}$$

$$YU_B^{2*}(\mathrm{Y}_1)=\begin{cases}0, & если \quad Y_1<0;\\ 0{,}0067Y_1, & если \quad 0\le Y_1<120;\\ 0{,}8, & если \quad \mathrm{Y}_1\ge 120.\end{cases}$$

$$YU_B^{2*}(\mathrm{Y}_2)=\begin{cases}0{,}8, & если \quad Y_2<-140;\\ -0{,}0057Y_2, & если \quad -140\le Y_2<0;\\ 0, & если \quad \mathrm{Y}_2\ge 0.\end{cases}$$

$Y_1=X_n+X_k$; $Y_2=X_y$; $X_n=ПВ-ПВ_0$; $X_k=КВ-КВ_0$; $X_y=УВ-УВ_0$; $ПВ$ и $ПВ_0$ – текущая переключаемость внимания и переключаемость внимания, измеренная в состоянии спокойного бодрствования;

$КВ$ и $КВ_0$ – соответствующие показатели концентрирования внимания;

$УВ$ и $УВ_0$ – соответствующие показатели устойчивости внимания.

По тестовым методикам длительное утомление определяется по шкале индекса хронического утомления (ИХРУ):

$$YU_T=\begin{cases}0, & если \quad ИХРУ<20;\\ (ИХРУ\text{-}35)^2/563, & если \quad 20\le ИХРУ<35;\\ 1-2(ИХРУ\text{-}50)^2/563, & если \quad 35\le ИХРУ<50;\\ 0{,}8, & если \quad ИХРУ\ge 50.\end{cases} \tag{11}$$

Подробное описание методик определения индикаторных переменных YU_B, YU_T можно найти в работах [1, 2, 10, 11, 12].

Для использования диалогового пакета RUMM 2020 в ходе специально проводимых исследований формировалась таблица индикаторных переменных. Фрагмент данных представлен таблицей.

В таблице N – номер обследуемого, IP – индикаторные переменные.

Для запуска пакета RUMM 2020 исходные данные таблицы 1 по формуле (2) были переведены в безразмерные шкалы. В ходе расчётов был получен скриншот степени соответствия индикаторных переменных модели Г. Раша (рис. 3).

Расчетное критическое значение уровня значимости, характеризующее соответствие данного набора индикаторов модели Раша, при числе степеней свободы df=12, $\chi^2_{\text{критич.}}\,\mathrm{Prob}$=0,978 это больше 0,05 (при доверительной вероятности равной 0,95). Индекс сепарабельности (*Separation Index*) достаточно высокий и равен 0,987. Коэффициент альфа Кронбаха (*Cronbach Alpha*) также высок и равен 0,988. Мощность (оценка) системы индикаторов (*Power of Test-of-Fit*) оценивается как превосходная (*excellent*).

В процессе работы диалоговой системы RUMM 2020 была получена таблица индикаторных переменных, ранжированная по убыванию значений *ChiSq Prob* (Хи-квадрат) (рис. 4).

Из этой таблицы следует, что все индикаторные переменные имеют показатель $\chi^2_{\text{критич.}}\mathrm{Prob}>0{,}05$. Это означает, данный набор индикаторов удовлетворяет модели Г. Раша и может быть использован для определения латентной переменной YU – уровень утомления.

Используя значения индикаторных переменных, пакет RUMM 2020 строит теоретические кривые модели Г. Раша, по которым судят о соответствии индикаторных переменных модели Г. Раша. Набор характеристических кривых для индикаторов $ПАС$, YU_B, YU_T приведен на рисунках 5-7.

Значения показателей индикаторных переменных для латентной переменной YU_F

N / IP	1	2	3	4	5	6	…	98	99	100
$ПАС$	-0,1	-0,15	-0,03	-0,12	-0,04	-0,06	…	0,45	0,52	0,5
YU_B	0,15	0,12	0,1	0,13	0,11	0,15	…	0,72	0,9	0,85
YU_T	0,15	0,07	0,11	0,12	0,14	0,16	…	0,95	0,85	0,96

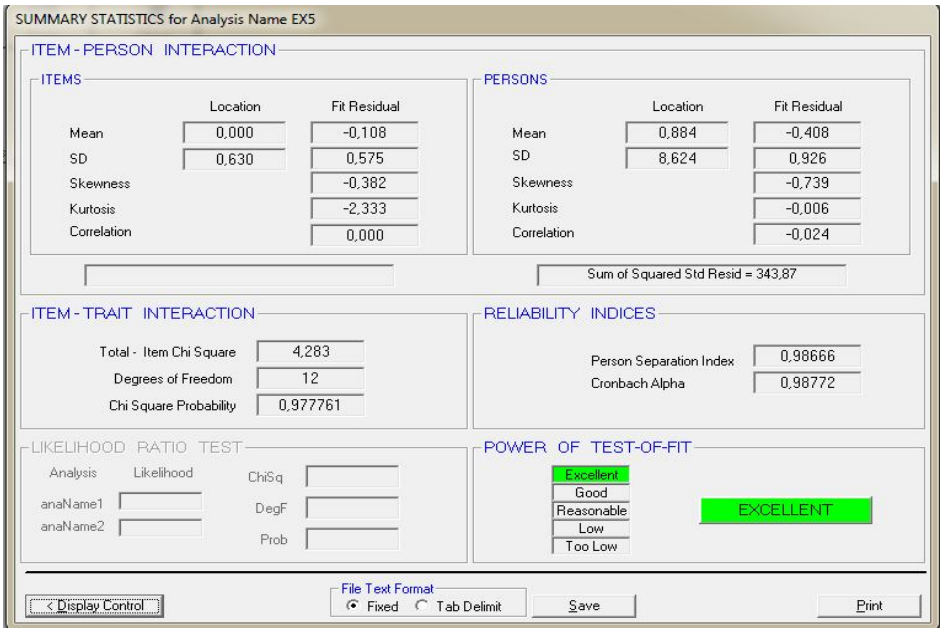


Рис. 3. Скриншот степени соответствия

	Seq	Item	Type	Location	SE	FitResid	DF	ChiSq	DF	Prob
3	3	I0003	Poly	0,468	0,183	0,202	58,33	0,727	4	0,947926
2	2	I0002	Poly	0,248	0,184	0,246	58,33	1,746	4	0,782328
1	1	I0001	Poly	-0,716	0,186	-0,771	58,33	1,810	4	0,770625

Рис. 4. Скриншот таблицы индикаторных переменных

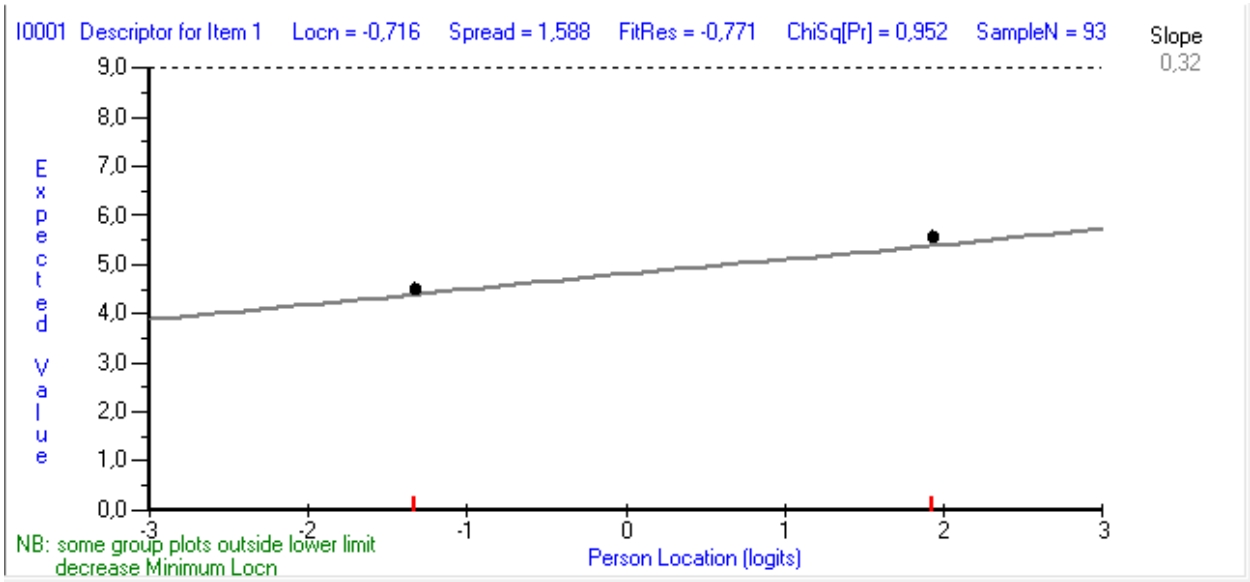


Рис. 5. Характеристическая кривая для индикатора *ПАС*

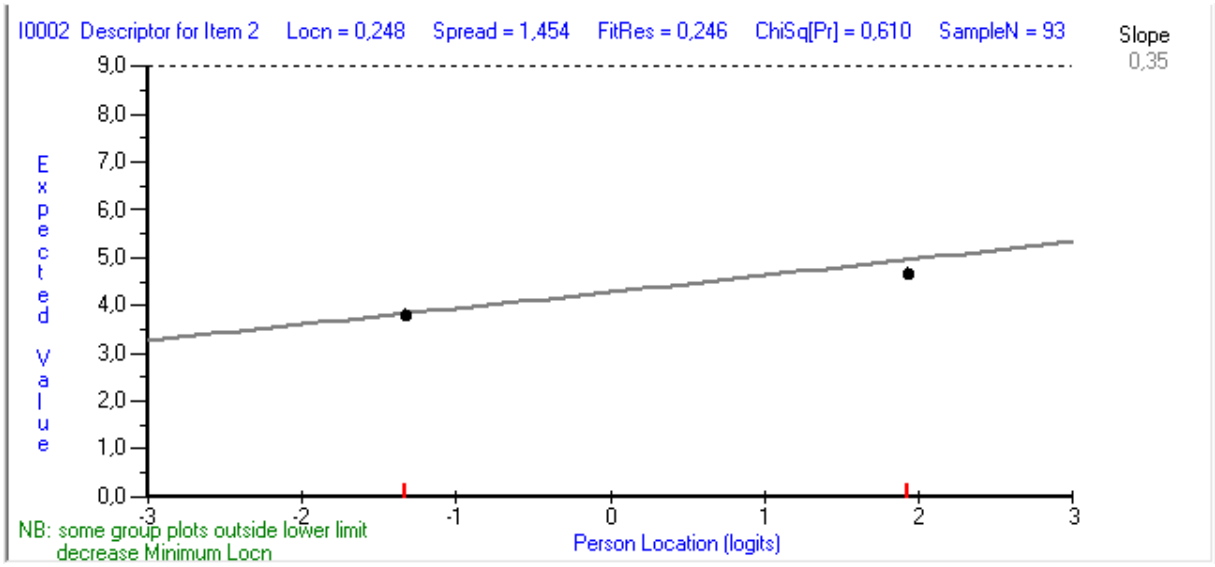


Рис. 6. Характеристическая кривая для индикатора YU_B

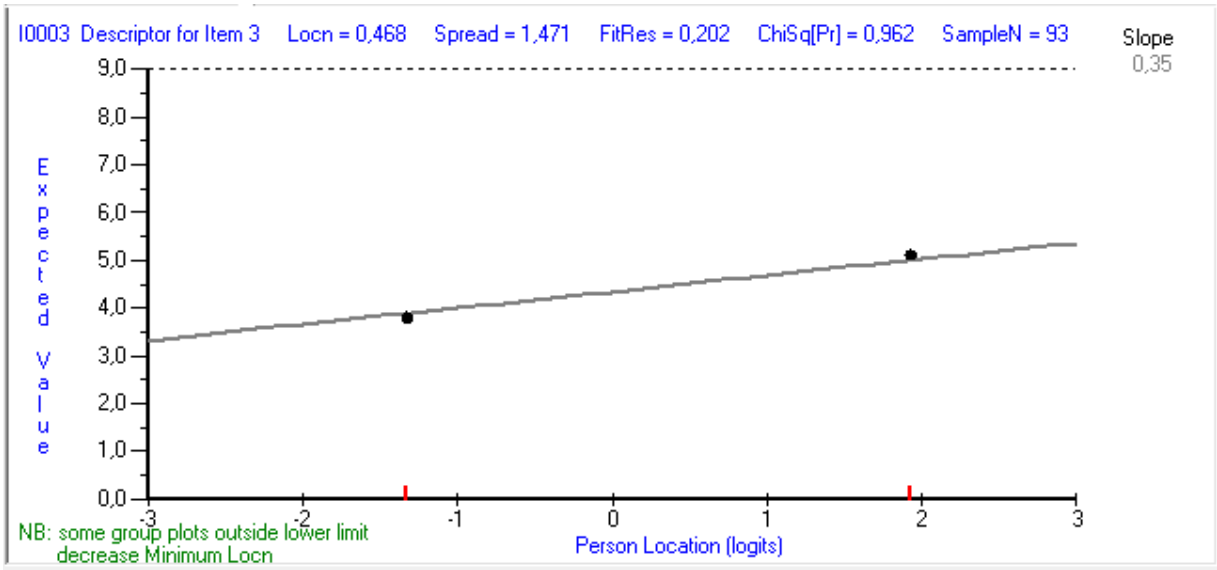


Рис. 7. Характеристическая кривая для индикатора YU_T

Обобщенной характеристикой соответствия между интегральной латентной переменной и системой индикаторов служат гистограммы распределения.

На рисунке 8 представлена гистограмма распределения по шкале интегрального показателя «YUL_F – уровень утомления в логитах».

Отметим, что интегральный показатель – «YUL_F – уровень утомления» изменяется в достаточно широком диапазоне от -14 до 14 логит, т.е. размах составляет 28 логит.

Анализ распределения обследуемых по шкале YUL_F позволяет сделать вывод о том, что полученные данные практически равномерно заполняют всю эту шкалу, сформированную из шкал индикаторных переменных, причём большим значениям индикаторных переменных соответствует большее значение индикаторной переменной.

Такое распределение позволило экспертам сделать вывод о существовании связи индикаторных переменных с латентной переменной линейного типа:

$$YU_F = f_L\left(YUL_F\right) = f_L\left(YU_Б, YU_B, YU_T\right). \quad (7)$$

График этой зависимости приведён на рисунке 9.

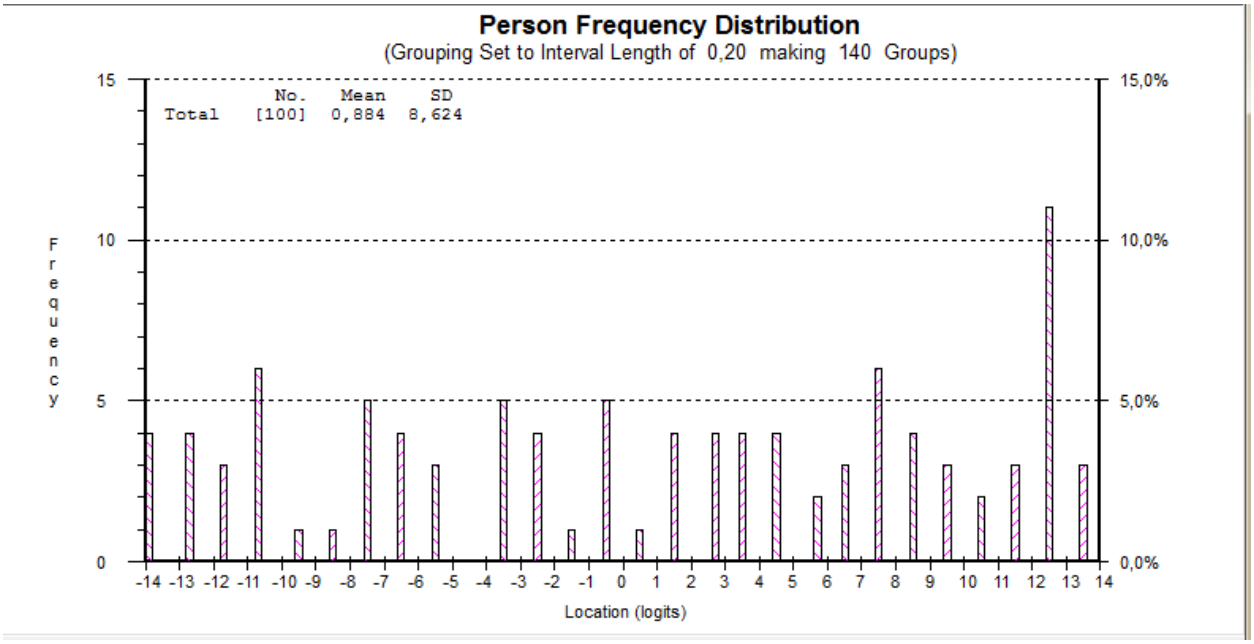


Рис. 8. Распределения интегрального показателя «YUL_F – уровень утомления»

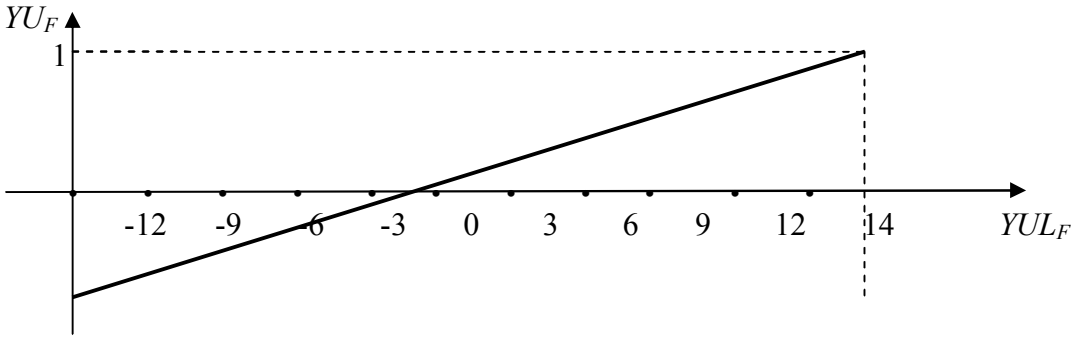


Рис. 9. График уровня утомления YU_F в зависимости от YUL_F

Аналитически эта зависимость определяется выражением

$$YU_F = 0{,}036 YUL_F + 0{,}5.$$

Таким образом, в работе показано, что использование теории измерения латентных переменных, и в частности модели Г. Раша, позволяет получать математические модели для количественной оценки уровня утомления.

Заключение

В работе показано, как, используя модель Г. Раша, можно синтезировать нечёткие решающие правила для оценки такой характеристики организма, как уровень утомления. В серии специально проведённых исследований было показано, что числовые значения показателя YU_F могут найти своё применение при решении задач прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики различных заболеваний при его использовании в качестве дополнительного информативного признака.

Эффективность использования показателя YU_F для решения задач прогнозирования и ранней диагностики исследовалась на таких заболеваниях, как патология желудочно-кишечного тракта, нервной системы, костно-мышечной системы и соединительных тканей. Исследования проводились в экологически неблагоприятном регионе Курской магнитной аномалии [15] и на задаче прогноза обострения генитального герпеса [13].

В ходе контрольных проверок на репрезентативных выборках было установлено, что использование дополнительного признака YU_F совместно с традиционно используемыми в медицине показателями улучшает качество прогноза на 13±2%, что позволяет сделать вывод о его достаточно большой информативности.

Список литературы

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

2. Бойцов А.В., Филатова О.И., Кореневская С.Н. Классификация функциональных состояний человека с использованием правил нечеткого принятия решений // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание – 2012: сб. матер. X Междунар. науч.-техн. конф. – Курск, 2012. – С. 311-313.

3. Кореневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2015. – №1. – С. 33-35.

4. Кореневский Н.А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – №2. – С. 99-103.

5. Интерактивный метод классификации в задачах медицинской диагностики / Н.А. Кореневский, С.В. Дегтярев, С.П. Серегин, А.В. Новиков // Медицинская техника. – 2013. – №4. – С. 1-3.

6. Кореневский Н.А., Разумова К.В. Синтез коллективов гибридных нечётких моделей, оценки состояния сложных систем // Наукоёмкие технологии. – 2014. – Т. 15, №12. – С. 31-40.

7. Кореневский Н.А., Крупчатников Р.А., Аль-Касасбех Р.Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 528 с.

8. Кореневский Н.А., Крупчатников Р.А., Горбатенко С.А. Синтез нечетких сетевых моделей, обучаемых по структуре данных для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2008. – №2. – С. 18-24.

9. Кореневский Н.А., Руцкой Р.В., Долженков С.Д. Метод прогнозирования и диагностики состояния здоровья на основе коллективов нечетких решающих правил // Системный анализ и управление в биомедицинских системах – 2013. – Т. 12, №4. – С. 905-909.

10. Кореневский Н.А., Лукашов М.И., Чурсин Г.В. Нечёткая оценка роли физического утомления в рецедиве хронических заболеваний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2009. – Т.8, №3. – С. 692-696.

11. Определение уровня длительного физического утомления как фактора риска рецидивов хронических заболеваний / М.И. Лукашов, Н.А. Кореневский, А.В. Ерёмин, О.И. Филатова // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2009. – №5. – С. 10-15.

12. Использование информационных технологий для прогнозирования и диагностики инфекционных заболеваний (на примере генитального герпеса) / М.И. Лукашов, Н.А. Кореневский, В.И. Серебровский [и др.]. – Курск, 2011. – 123 с.

13. Маслак А.А. Измерение латентных переменных в социально-экономических системах: монография. – М., 2006. – 333 с.

14. Пат. 2342900 Рос. Федерация. Способ оценки функциональных резервов организма / Курникова Н.А. –

№2007(38472/14/042084); заявл. 18.10.2007; опубл. 10.01.2009, Бюл. №1. –693 с.

15. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами, на основе гетерогенных моделей / Н.А. Кореневский, В.И. Серебровский, Н.А. Коптева, Н.А. Говорухина. – Курск, 2012. – 231 с.

16. Филатова О.И. Метод, модели и алгоритм анализа и управления функциональным состоянием человека на основе нечётких гетерогенных правил принятия решений: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.17. – Курск, 2011.

17. Andrich D. Advanced Social and Education Measurement. – Perth:Murdoch Univerity, 2001. – 128 p.

18. Getting Started RUMM 2010/ Rasch Unidimensional Measurement Models. – Pert: RUMM Laboratory Ltd, 2001. – 87 p.

19. Korenevskiy N.A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert Systems // Biomedical Engineering. – 2015. – Vol. 49. – Issue 1. – P. 46-49.

20. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems / N.A. Korenevsky, S.A. Gorbatenko, R.A. Krupchatnikov, M.I. Lukashov // Biomedical Engineering. – 2009. - Vol. 43, №4. – P. 187-190.

21. Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis / N.A. Korenevsky, S.V. Degtyarev, S.P. Seregin, A.V. Novikov // Biomedical Engineering. – 2013. – Vol. 47. – Issue 4. – P. 169-172.

22. Korenevskiy N.A., Krupchatnikov R.A., Gorbatenko S.A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems // Biomedical Engineering Journal. – Vol. 42. – №2. – P. 67-72.

23. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence anent tests (Expanded edition, with foreword and afterword bu Benjamin D. Wright). – Chicago: University of Chicago Press, 1980. – 199 p.

24. Smith E.V., Smith M.S. Introduction to Rasch Measurement Theory, Models and Applications. – Marle Grove, Minnesota: JAM Press, 2004. – 689p.

Получено 02.04.15

A.N. Shutkin, Candidate of Physico-mathematical Sciences, Voronezh Institute of State fire service (e-mail: anshutkin@mail.ru)

E.A. Boitcova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State university (Kursk) (e-mail: elena-boitcova@mail.ru)

A.V. Boitcov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)

S.N. Korenevsky, Student, Southwest State University (Kursk)

THE USE OF HYBRID FUZZY MODELS TO ASSESS THE DEGREE OF FATIGUE

Discusses the use of fuzzy logic decision making and the theory of measurement of latent variables based on statistical models G. rush for the tasks of evaluating the degree of fatigue.

***Key words**: the degree of fatigue, the feature space, La-worked variables and functional reserve of the organism.*

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. К публикации в «Известиях ЮЗГУ» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2. Объем статьи не должен превышать 8 страниц печатного текста, включая иллюстрации и таблицы.

3 Авторы статей должны представить в редакцию журнала:

– статью, оформленную в соответствии с правилами оформления статей, представляемых для публикации в журнале;

– рекомендацию кафедры или научно-исследовательского отдела учреждения, в котором выполнена данная работа;

– разрешение на опубликование в открытой печати статьи от учреждения, в котором выполнена работа (обязательно для статей по техническим специальностям, по экономическим – по требованию редколлегии);

– сведения об авторах (фамилия, имя отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, почтовый адрес, телефон, e-mail);

– электронный носитель (CD-диск).

4. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами, что означает их согласие на передачу Университету прав на распространение материалов статьи с помощью печатных и электронных носителей информации.

5. Редакция не принимает к рассмотрению рукописи, оформленные не по правилам.

6. **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается (если автор один и им представлена справка с места учебы).**

7. Основной текст рукописи статьи (кроме аннотации и ключевых слов) набирают в текстовом редакторе MS WORD шрифтом «Times New Roman» размером 14 пт с одинарным интервалом, выравнивание по ширине. Поля с левой стороны листа, сверху и снизу – 2,5 см, с правой стороны – 2 см. Абзацный отступ – 1,5 см.

8. Схема построения публикации: УДК (индекс по универсальной десятичной классификации), фамилия и инициалы автора(ов) с указанием ученой степени, звания, места работы (полностью), электронного адреса (телефона), название (полужирный, прописные), аннотация и ключевые слова, текст с рисунками и таблицами, литература. Авторы, название, аннотация и ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

Перед основным текстом печатается краткая аннотация курсивом, отражающая краткое содержание статьи.

Например:

> УДК 004.9:519.8
>
> **А.Л. Иванов**, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: ivanov@gmail.com)
>
> **ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ КАДРАМИ ГРАДООБРАЗУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ**
>
> В статье рассматривается агентная модель прогнозирования обеспеченности кадрами градообразующего предприятия, основанная на структуризации поведения агента и определения влияния его внутреннего представления об окружающем мире на его деятельность.
>
> **Ключевые слова:** агентное моделирование, градообразующее предприятие, событие.

9. При формировании текста не допускается применение стилей, а также внесение изменения в шаблон или создание собственного шаблона. Слова внутри абзаца следует разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; не допускаются разрядки слов.

10. Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул MathType версии 5.2 и выше с размерами: обычный – 12 пт; крупный индекс 7 пт, мелкий индекс – 5 пт; крупный символ – 18 пт; мелкий символ – 12 пт.

Необходимо учитывать, что **полоса набора – 75 мм**. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**

Все русские и греческие буквы (Ω, η, β, μ, ω, υ и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций (sin, cos, tg и т.д.) – прямым шрифтом. Латинские буквы – прямым шрифтом.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться.

11. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

12. Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF, JPEG, PNG) с разрешением не ниже 300 *dpi* и публикуются в черно-белом (градации серого) варианте. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MS Word, недопустимы**.

Рисунки встраиваются в текст через опцию «Вставка-Рисунок-Из файла» с обтеканием «В тексте» с выравниванием по центру страницы без абзацного отступа. Иные технологии вставки и обтекания **не допускаются.**

13. **Список литературы к статье обязателен** и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. Пристатейные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

14. В материале для публикации следует использовать только общепринятые сокращения.

Все материалы направлять по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94. ЮЗГУ, редакционно-издательский отдел.

Тел.(4712) 50-48-19, тел/факс (4712) 50-48-00.

E-mail: rio_kursk@mail.ru

Изменения и дополнения к правилам оформления статей и информацию об опубликованных номерах можно посмотреть на официальном сайте журнала: **http://www.swsu.ru/izvestiya/index.php.**