

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

**МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – 2021**

Сборник научных статей по материалам
XXIV Международной научно-технической конференции
20-21 мая 2021 года

**MEDICAL-ECOLOGICAL
INFORMATION TECHNOLOGIES – 2021**

The Compilation of Articles of the
24 International Scientific and Technical Conference
May 20-21th, 2021

Ответственный редактор д-р техн. наук,
профессор Н.А. Корневский

Курск 2021

УДК 615.47(063)

ББК К761я431

М 42

Рецензент

Доктор технических наук, профессор *Е.Н. Коровин*

Редакционная коллегия:

Н. А. Корневский, д-р техн. наук, профессор (*отв. ред.*), ЮЗГУ

С. А. Филист, д-р техн. наук, профессор (*зам. отв. ред.*), ЮЗГУ

В. С. Титов, д-р техн. наук, профессор, ЮЗГУ

В. Г. Буданов, д-р филос. наук, профессор,

Риад Таха Аль-Касабех, д-р техн. наук, профессор, ПУ Аль-Балка

К. В. Зайченко, д-р техн. наук, профессор, ИАП РАН, Санкт-Петербург

А. А. Маслак, д-р техн. наук, профессор, КубГУ

Г. В. Сипливый, д-р мед. наук, профессор, КГМУ

Л. П. Лазурина, д-р биол. наук, профессор, КГМУ

Т. Н. Конаныхина, канд. техн. наук, доцент, ЮЗГУ

М. В. Артеменко, канд. биол. наук, доцент (*ученый секретарь*), ЮЗГУ

М 42 **Медико-экологические информационные технологии – 2021**: сб. науч. ст. по материалам XXIV Междунар. науч.-техн. конф. = Medical-ecological information technologies – 2021: the compilation of articles of the 24 Intern. sci. and technic. conf. / редкол.: Н. А. Корневский (отв. ред.); Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2021. – 235 с.

ISBN 978-5-7681-1527-2

Сборник содержит научные статьи по материалам XXIV Международной научно-технической конференции «Медико-экологические информационные технологии – 2021». Представлены результаты теоретических исследований и практических приложений, отражающие достижения в области информационных технологий и применяемых в медико-экологических и социально-философских исследованиях, посвященных проблемам анализа и управления здоровьем человека как элемента социума в России и за рубежом.

Предназначен для ученых и специалистов в области анализа, разработки и применения информационных технологий в медико-экологических и социальных научно-практических кластерах, а также может быть полезен аспирантам и студентам.

УДК 615.47(063)

ББК К761я431

ISBN 978-5-7681-1527-2

© Юго-Западный государственный университет, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО	7
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ	8
<i>Чемезов С. А., Сахновская Е. Г., Хожиев Д. Я., Мусатаева И. Ю.</i> Развитие телемедицины Узбекистана	8
<i>Белозеров В. А., Корневский Н. А., Артеменко М. В.</i> Исследование информативности эхографической текстуры очаговых образований поджелудочной железы для дифференциальной диагностики хронического панкреатита и протоковой аденокарциномы	13
<i>Гуревич Б. С., Киселева К. Р., Исаев Н. К.</i> Исследование спектра отражения света от кожи для создания спектрофотометрического метода диагностики кожных новообразований	25
<i>Наумова А. А., Коржук Н. Л., Коржук В. Н.</i> Система параметрического анализа электроэнцефалограммы	30
<i>Kvachnina G. A., Kalugina N. M., Artemenko M. V.</i> Diagnosis of asthmatic bronchitis in the process auscultations the lungs based on the bispectral matrix of the recorded signal	36
<i>Титов А. А., Митихина М. С., Маркелова Е. А.</i> Эффекты антигипертензивной хромотерапии у пожилых больных на фоне метаболического синдрома.....	40
<i>Зайченко К. В., Кордюкова А. А.</i> Первые этапы основополагающей укрупненной методологии функциональной электрокардиографии ишемии сердца при проведении экспериментальных исследований	46
<i>Primenko D. V., Chernetskaya I. E.</i> Moving object tracking algorithm	52
<i>Георг Кесаобака Веду</i> Применение антиоксидантов при лечении мужского бесплодия	54

<i>Ильина А. С.</i> Влияние метаболического синдрома и сахарного диабета на сексуальное здоровье мужчины	57
<i>Коровин Е. Н., Полукарова В. А., Сергеева М. А.</i> Методика организации обслуживания населения в противотуберкулезном диспансере	59
<i>Безродных А. С., Артеменко М. В.</i> Бионический подход к проектированию фундаментов	69
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ.....	76
<i>Копанюкhin А. У., Копанюкhina Т. N.</i> Processing of mri data for oncological diseases prediction.....	76
<i>Логачев Е. П., Гросберг К. А.</i> Методы автоматизации обработки ЭЭГ-данных для диагностики патологий головного мозга и центральной нервной системы человека	83
<i>Зайченко К. В., Кордюкова А. А., Логачев Е. П.</i> Подходы к вторичной цифровой обработке электрокардосигналов сверхвысокого разрешения.....	89
<i>Коптев Д. С., Мухин И. Е.</i> Определение уровня фракционной сатурации крови на основе использования четырех длин волн.....	95
<i>Применко Д. В., Панищев В. С., Чернецкая И. Е.</i> Анализ методов предварительного распознавания объектов на изображениях	99
<i>Серегин С. П., Ключникова В. А.</i> Специфика диагностирования мужского бесплодия и выбора тактики лечения по этиологическим факторам заболевания.....	103
<i>Коптев Д. С.</i> Математическая модель неинвазивного оптического метода определения уровня насыщения крови кислородом	110
<i>Крикунова Е. В., Сафронов Р. И., Серебровский А. В., Филист С. А.</i> Модели самоорганизующих систем для анализа адаптационных возможностей организма.....	119

<i>Стародубцева Л. В., Стародубцев В. В., Корневская Е. Н.</i> Исторические предпосылки разработки гибридных нечетких интеллектуальных технологий для медицинских исследований.....	126
<i>Родионов Д. С.</i> Особенности диагностики форм пиелонефрита при мочекаменной болезни	131
<i>Ebiet Chioma Deborah, Zhukova M. A.</i> Use of medical decision support systems in neurology.....	134
<i>Обади Мехдхар Фадхль Ахмед</i> Моделирование процесса выборки данных видеодатчика	140
<i>Aksenov V. V.</i> Development of decisive rules for the diagnosis of acute endometritis and the study of classification quality indicators.....	144
<i>Корневский Н. А., Родионова С. Н., Аль-Касасбех Р. Т., Аксёнов В. В.</i> Контроль нарушений функций внимания у операторов человеко- машинных систем на основе технологии мягких вычислений.....	148
<i>Корневский Н. А., Родионова С. Н., Аль-Касасбех Р. Т., Сурнина А. И.</i> Оценка нарушений когнитивных функций по энергетическому разбалансу биологически активных точек	154
<i>Долматов С. С., Коровин Е. Н.</i> Разработка экспертной системы диагностики острого нефритического и нефротического синдромов на основе Сети Петри	162
<i>Мбуи Мукади Р. Л., Панищев В. С.</i> Исследование методов Data Mining для анализа болезни Альцгеймера	166
<i>Данилова Ю. С., Новикова Е. А.</i> Прогнозирование развития болезней печени на основе метода экспоненциального сглаживания	173
<i>Медников Д. А., Протасова З. У., Шаталова О. В., Серебровский А. В.</i> Системы поддержки принятия решений в кардиологической области: обзор.....	178
<i>Климкина Ю. В.</i> Математические модели, скрининг, диагностика рака желудка.....	189

СОЦИОГУМАНИТАРНЫЕ РИСКИ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК ФАКТОР НАПРЯЖЕННОСТИ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ	193
<i>Аршинов В. И.</i> Конвергентный подход в науке как метод изучения сложности.....	193
<i>Буданов В. Г.</i> К вопросу о гетерогенности социотехнического ландшафта антропотехносферы	196
<i>Маякова А. В.</i> Социокультурный процесс в условиях цифрового переворота.....	201
<i>Каменский Е. Г., Гримов О. А.</i> Социальная онтология «цифровой реальности»: к проблеме методологии исследований	205
<i>Артеменко М. В.</i> Проблемы экспертных систем управления социотехническими ландшафтами и квантовая механика	209
<i>Fedyanin V. I., Kvachnina G. A., Artemenko M. V.</i> Lockdown-initiated expansion of digital technologies into education	214
<i>Егельский И. В., Казначеев В. Е., Катунина Л. Н.</i> Влияние компьютерных игр на детскую психику и поведение	224
<i>Артеменко М. В.</i> Идентификация кластеров кривых Гартнера востребованности в процессе интеллектуального мониторинга социотехнического ландшафта	228

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

Современный этап развития информационного общества обуславливается как конвергенцией технических и гуманитарных направлений, так и революционным ростом приложений цифровых технологий и искусственного интеллекта в медицине и других социально значимых практиках, вызванного локдауном в большинстве стран мира. Указанная экспансия обуславливает как возникновение новых проблем, так и иное восприятие и решение ранее существовавших. К таковым, например, относятся:

- несостоятельность доказательной медицины и математического моделирования в условиях плохо структурированной и нечеткой информации, характерных для ситуации «Черного Лебедя»;
- распространение ботовых интерфейсов в дистанционной медицине, образовании, телемедицине;
- необходимость качественной обработки больших и плохо структурированных информационных потоков;
- развитие ЗП – медицины и виртуальных лечебно-профилактических учреждений;
- разработка новых технологий исследований человеческого организма и экологического умвелта, методов и приборов медицинского и экологического предназначений с применением средств искусственного интеллекта;
- развитие псевдосетевых технологий, приводящее к снижению итогового качества медицинского обслуживания населения.

К основным направлениям, отраженным в статьях сборника, относятся: информационные технологии в медико-биологических и экологических системах, биомедицинские и биотехнические системы, системы поддержки принятия врачебных решений, прикладное математическое моделирование, анализ поведения социотехнических ландшафтов в условиях цифровой реальности, особенности развития медицины и образования как жизнеобеспечивающих функционирование социальных практик в постлокдаунических условиях и рисках.

Докладчики конференции представляли такие страны, как: Россия, Узбекистан, Казахстан, Украина, Молдова, Иордания, Нигерия, Эквадор.

Материалы конференции будут полезны научным работникам, инженерам, аспирантам, магистрантам, студентам старших курсов, ученым и практикам, занимающимся теоретическими и прикладными вопросами использования современных информационных и компьютерных технологий в медико-биологической практике.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИКО- БИОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

УДК 61:004

С. А. Чемезов¹ ✉, Е. Г. Сахновская^{1,2}, Д. Я. Хожиев¹, И. Ю. Мусатаева³

¹ Бухарский государственный медицинский институт имени Абу Али ибн Сино, Бухара, Узбекистан

² Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

³ Медицинский университет Семей, Семей, Казахстан

✉ e-mail: diverdoc78@gmail.com

РАЗВИТИЕ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ УЗБЕКИСТАНА

Пандемия COVID-19 создала напряженную эпидемиологическую ситуацию во всем мире и потребовала новых решений от органов управления здравоохранения в обеспечении инфекционной безопасности врачей первичного звена практического здравоохранения России и Узбекистана. Внедрение информационных технологий в здравоохранение РУ в виде телемедицинских консультаций, медицинских информационных систем, выписывание электронных рецептов, ведение электронных медицинских карт в поликлиниках позволит значительно уменьшить риск инфицирования врачей и провизоров.

Ключевые слова: телемедицина; электронные медицинские карты; здравоохранение; пандемия COVID-19; информационные технологии.

Введение. Под телемедициной (ТМ), согласно определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) (1997), принято понимать оказание медицинской помощи там, где расстояние является критическим фактором [1; 2; 3]. Пандемия COVID-19 придала мощный импульс развитию и внедрению телемедицины во всем мире, в Узбекистане (РУ), в России и заставила по новому осмыслить определение ВОЗ – ТМ фактически гарантирует социальную дистанцию как критический фактор, многокилометровые расстояния между пациентом и врачом стали вторичны.

Данная статья представляет хронологический обзор по развитию телемедицины в Узбекистане на основе анализа информации на новостных порталах и анализа постановлений Президента и решений Кабинета Министров (РУ) для поиска отправной точки по появлению ТМ и ее нормативно-правовому обеспечению в Узбекистане.

Результаты и их обсуждение. Датой появления в Узбекистане новой отрасли медицины – телемедицины, позволяющей дистанционно консульти-

ровать пациентов и назначать им лечение, можно считать 2002 г., когда был издан Указ Президента И. Каримова от 30 мая 2002 г. «О дальнейшем развитии компьютеризации и внедрении информационно-коммуникационных технологий» и постановление Кабинета министров от 6 июня 2002 г. «О мерах по дальнейшему развитию компьютеризации и внедрению информационно-коммуникационных технологий» [4; 5]. Эти документы позволяли дистанционно консультировать пациентов и назначать им лечение, проводить видеоконсилиумы и повышать квалификацию специалистов как в режиме онлайн, так и оффлайн.

Согласно проекту Постановления Кабинета министров, размещенного на портале СОБАЗ, в Узбекистане разрабатывается Концепция «Развитие «Умной медицины» и «Центра единой медицинской информации», позволяющих раннее определение и дистанционное лечение болезней с применением телемедицинских технологий. Планируется, что «в Узбекистане будет создана единая телемедицинская сеть, нацеленная на повышение качества оказания диагностической и лечебно-профилактической помощи населению путем оптимизации и рационализации процессов, а также эффективности административного управления, в частности путём создания сети между центральным аппаратом Министерства и его территориальными подразделениями» [6].

Указ Президента Республики Узбекистан от 7 декабря 2018 г. № Уп-590 предусматривает «широкое внедрение системы "электронного здравоохранения", создание комплекса информационных систем и баз данных, интегрированных на основе единых национальных стандартов», развитие телемедицины в учреждениях здравоохранения для обмена информацией между медицинскими организациями и проведения дистанционных медицинских и образовательных услуг (консультаций, консилиумов, операций, мастер классов и т.д.), создание единой сети видеоконференцсвязи для оперативного соединения центрального аппарата Министерства здравоохранения РУ с региональными органами управления здравоохранением [7].

По сообщению корреспондента Podrobno.uz, в РУ планируется открыть обучающий Центр телемедицины с использованием оборудования индийской компании WTPL, это предусмотрено меморандумом о взаимопонимании, подписанным Национальной палатой инновационного здравоохранения Узбекистана, а также индийскими WatchWitz Technologies Pvt Ltd (WTPL) и MedMonks. Для апробации проекта в Джизаке был организован тестовый сеанс телемедицины, в ходе которого местные врачи провели обследование нескольких пациентов, результаты которых в онлайн-режиме направлялись к специалистам, находящимся в Индии. На основе полученных данных врачами совместно ставился диагноз и назначалось лечение. Как показал этот первый опыт, применение метода телемедицины с привлечением профессионалов высокого класса позволяет местным врачам обследовать и лечить боль-

шее количество пациентов с улучшением качества предоставляемых медицинских услуг» [8].

По сообщению «Даракчи», Национальной палатой инновационного здравоохранения РУ совместно с партнерами из Индии организован ряд сеансов телемедицины в регионах страны в Джизаке, городе Термезе. В ходе проведения теледиагностики были организованы обследования нескольких пациентов, результаты которых в онлайн-режиме направлялись к специалистам, находящимся в Индии. На основе полученных данных обследования врачами ставился диагноз и назначалось лечение. «Онлайновая процедура теледиагностики позволит гражданам Узбекистана, не покидая пределы страны, получать необходимую консультацию от лучших зарубежных экспертов. Это позволит пациентам экономить время, средства, а также не обременять человека, который нуждается в лечении, поездкой, требующей к тому же затраты немалых физических сил», – рассказал председатель Национальной палаты инновационного здравоохранения Равшан Изамов [9].

Как сообщил премьер-министр А. Арипов на заседании Законодательной палаты Олий Мажлиса 22 января 2020 г., проект «Электронное здравоохранение» по цифровизации системы здравоохранения Узбекистана оценивается в 600 млн долларов [10].

Лабораторно-диагностический и медицинский консультативный центр в Ташкенте Bravo Pharma «чтобы доставить наилучшее медицинское обслуживание в отдаленные части мира, предлагает подключать пациентов, живущих на окраинах, к докторам из различных больниц Индии через сети. Это сэкономит время, а также расходы на поездку в Индию для медицинских консультаций» [11].

Совместный проект в сфере практической телемедицины начинают Национальная палата инновационного здравоохранения РУ и Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр кардиологии (РЦК). Соответствующий меморандум о сотрудничестве был подписан 23 февраля 2021 г. руководителями Национальной палаты Ровшаном Изамовым и РЦК Хуршидом Фазиловым. На основе меморандума запускается пилотный проект по оказанию медицинских услуг с использованием телеметрического оборудования в ряде регионов страны. Проект начинается с Ташкентской области, городов Карши, Джизак, а также с Чиланзарского района столицы. С этой целью Национальной палатой передан РЦК на 3 месяца в безвозмездное пользование комплект кардиологического телеметрического оборудования, куда входят комплекс UNET и 15 электрокардиографов Usard-100. С помощью электрокардиографов Usard-100 из различных областей Узбекистана ЭКГ пациентов будут передаваться в инновационный центр телемедицины РЦК, оснащенный телеметрическим комплексом UNET. Здесь оценкой поступивших ЭКГ займутся высококвалифицированные врачи. Дан-

ное телеметрическое оборудование позволит организовать в областях на уровне современных стандартов скрининг, профилактический осмотр и диагностику сердечно-сосудистых заболеваний. Население регионов страны получит возможность, не выезжая в Ташкент, получать медицинскую помощь от лучших столичных специалистов, при этом значительно повысится качество оказания медицинских услуг на уровне первичного звена здравоохранения [12].

Заключение. Телемедицина даёт возможность не только своевременно поставить диагноз и начать незамедлительное лечение любого пациента, но и экономит время и силы врачей, которые могут помочь больному здесь и сейчас, не выезжая в области, находясь на своём рабочем месте, где гораздо больше возможности собрать необходимый консилиум, подключить к обсуждению состояния пациента других высококвалифицированных специалистов. «Сегодня о телемедицине много говорится, признаются её преимущества и инновационность, однако, чтобы в реальности оказывать передовые медицинские услуги в любой точке страны, телемедициной необходимо практически пользоваться. Только реальная практика её использования позволит врачам отточить свои навыки по применению этой современной методики, даст возможность не только им, но и пациентам почувствовать, что здравоохранение может и должно быть на высоком уровне в любом регионе страны, независимо от его удаленности от центра.

Развитие в Узбекистане телемедицины также позволит расширить возможности медицинского туризма в республику, привлекая граждан соседних государств, таких, к примеру, как Туркменистан, Афганистан, Кыргызстан.

Список литературы

1. Алексеева А. Ю., Балкизов З. З. Медицинское образование в период пандемии COVID-19: проблемы и пути решения // Медицинское образование и профессиональное развитие. 2020. Т.11, №2. С. 8–24.
2. Пандемия изменит медицинское образование // Российская газета. 2020. 9 июля. URL: <https://rg.ru/2020/07/09/pandemiia-izmenit-medicinskoe-obrazovanie.html> (дата обращения: 03.04.2021).
3. WHO Telemedicine: opportunities and developments in Member States // Report on the second global survey on eHealth 2009. 2012. Vol. 2. P. 9. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44497> (дата обращения: 13.05.2021).
4. Указ Президента Республики Узбекистан от 30.05.2002 г. «О дальнейшем развитии компьютеризации и внедрении информационно-коммуникационных технологий». URL: <https://lex.uz/docs/152472> (дата обращения: 12.05.2021).
5. Постановление Кабинета министров Республики Узбекистан от 06.06.2002 г. № 200 «О мерах по дальнейшему развитию компьютеризации и

внедрению информационно-коммуникационных технологий». URL: <https://lex.uz/docs/267046> (дата обращения: 12.05.2021).

6. В Узбекистане планируют запустить систему телемедицины. URL: https://www.tihe.uz/ru/mediacentre/novosti.php?ELEMENT_ID=38139 (дата обращения: 12.05.2021).

7. Указ Президента Республики Узбекистан от 07.12.2018 № УП-590 «О комплексных мерах по коренному совершенствованию системы здравоохранения Республики Узбекистан». URL: <https://lex.uz/ru/docs/4096199> (дата обращения: 12.05.2021).

8. В Узбекистане появится Центр телемедицины на основе индийского опыта // АН Podrobno.uz. 2019. URL: <https://podrobno.uz/cat/obchestvo/v-uzbekistane-royavitsya-tsentri-telemeditsiny/> (дата обращения: 12.05.2021).

9. В Узбекистане вовсю осваивают телемедицину // Sputnik Узбекистан. 2021. 12 апр. URL: <https://uz.sputniknews.ru/20190412/V-Uzbekistane-vovsyu-osvaivayut-telemeditsinu-11207675.html> (дата обращения: 13.05.2021).

10. Проект электронного здравоохранения оценивается в \$600 млн // Газета.uz. URL: <https://www.gazeta.uz/ru/2020/01/28/e-health/> (дата обращения: 12.05.2021).

11. Программа Телемедицина с Bravo // Bravo Pharma. 2021. URL: <http://bravopharma.uz/index.php/telemedicine/> (дата обращения: 13.05.2021).

12. Нацпалата: телемедицина в действии // Новостное Агентство UzDaily.uz. 2021. 24 февр. URL: <https://www.uzdaily.uz/ru/post/59249> (дата обращения: 13.05.2021).

S. A. Chemezov¹✉, E. G. Sakhnovskaya^{1,2}, D. Y. Khozhiev¹, I. S. Mussataeva³

DEVELOPMENT OF TELEMEDICINE OF UZBEKISTAN

¹ Bukhara State Medical Institute named after Abu Ali ibn Sino, Bukhara, Uzbekistan

² Ural State University of Railways, Ekaterinburg, Russia

³ Semey Medical University, Semey, Kazakhstan

✉ e-mail: diverdoc78@gmail.com

The COVID-19 pandemic has created a tense epidemiological situation all over the world and demanded new decisions from health authorities in ensuring the infectious safety of primary care physicians in Russia and Uzbekistan. The introduction of information technologies in the healthcare of the Republic of Uzbekistan in the form of telemedicine consultations, medical information systems, writing electronic prescriptions, maintaining electronic medical records in polyclinics, will significantly reduce the risk of infection for doctors and pharmacists.

Keywords: telemedicine; electronic health records; healthcare; COVID-19 pandemic; information technology.

УДК 616.37-006.6+616-072.1+57.087

В. А. Белозеров¹, Н. А. Корневский¹ ✉, М. В. Артеменко¹

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ЭХОГРАФИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ ОЧАГОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ХРОНИЧЕСКОГО ПАКРЕАТИТА И ПРОТОКОВОЙ АДЕНОКАРЦИНОМЫ

Метод эндоскопической ультрасонографии является наиболее информативным в детальной визуализации паренхимы поджелудочной железы и используется как уточняющий в диагностике очаговой патологии органа. Ключевым критерием дифференциальной диагностики изучаемой патологии является эхографическая текстура. Анализу подвергнуты результаты эндоскопической ультрасонографии 109 пациентов с опухолевыми солидными образованиями поджелудочной железы и 40 пациентов с хроническим панкреатитом. Построена шкала эхографических текстур рассматриваемой патологии. Выделены десять основных типов эхографической текстуры, соответствующих хроническому очаговому панкреатиту и протоковой аденокарциноме с различной степенью дифференцировки. Приведены результаты статистического анализа, которые позволили построить диаграмму риска принятия диагностических решений по предлагаемой шкале эхографических текстур и доказать перспективность формализации предлагаемой методики дифференциальной диагностики панкреатита и протоковой аденокарциномы для синтеза соответствующих решающих правил интеллектуализированных систем поддержки автоматизированных рабочих мест врача.

Ключевые слова: эндоскопическая ультрасонография; эхографическая текстура; хронический панкреатит; протоковая аденокарцинома; статистический анализ.

Введение. Дифференциальная диагностика хронического очагового панкреатита и аденокарциномы поджелудочной железы (ПЖ) проблематична и часто окончательный диагноз возможно установить только по данным панкреатодуоденальной резекции. Эндоскопическая ультрасонография (ЭУС) является наиболее чувствительным методом визуализации паренхимы ПЖ, однако ультразвуковые критерии дифференциальной диагностики очаговой патологии в научной литературе не описаны, диагностика патологии ПЖ является сложной проблемой клинической медицины и до настоящего времени крайне актуальна [1; 2; 3].

Одним из наиболее информативных методов отображения паренхимы и протоковой системы ПЖ является ЭУС [4; 5; 6]. Метод используется для уточняющей и дифференциальной диагностики при опухолях, кистозных новообразованиях ПЖ и панкреатитах, а также определяет показания к оперативному вмешательству и его характер [7].

Одним из ключевых критериев дифференциальной диагностики патологии ПЖ является эхографическая текстура, визуально отображающая внутреннюю структуру объекта. Анализ параметров текстуры является полезным способом увеличения информации, получаемой из медицинских изображений [8]. Именно в оценке эхотекстуры максимально реализуются достоинства ЭУС, которая обладает уникальной способностью отображать детали паренхимы ПЖ и не полагается исключительно на косвенные признаки объемных образований (увеличение размеров, асимметрию железы или расширение протоков) [9]. При этом в литературе отсутствуют описание дифференциально-диагностических признаков очаговых образований ПЖ на основе данных эхографической текстуры. Часто характеристики эхопризнаков, определяющие принадлежность образования к какой-либо патологии, противоречивы. В литературе можно встретить описание протоковой аденокарциномы, характеризующейся как однородным строением, так и гетерогенным.

Неоднозначна интерпретация значимости четкости и характера контуров очагового образования. Придавая большое значение характерному панкреатическому рисунку очага как отображению нормальной текстуры паренхимы ПЖ [7; 10], описания его не приводится. В связи с этим детализация эхографической текстуры очаговых образований ПЖ является актуальной проблемой, а ее решение позволит улучшить качество дифференциальной диагностики патологии органа и объективизировать данные эндосонографии.

Цель работы: повышение качества диагностики очаговой патологии поджелудочной железы на основе анализа эхографической текстуры и оценка ее информативности.

Материалы и методы. С 2014 г. в Курской областной клинической больнице выполнялась ЭУС как уточняющий метод исследования в лечебно-диагностическом алгоритме у пациентов с очаговой патологией органов панкреатодуоденальной зоны. Использовалась эндоскопическая видеосистема фирмы «Olympus» (Япония) EVIS EXERA II с ультразвуковым процессором EU-ME1. Эндосонография выполнялась ультразвуковыми видеогастроскопами GF UM160 с радиальным датчиком и GF UC140P-AL5 с конвексным. Подготовка пациентов к исследованию включала отказ от приема пищи в течение 8 час, от приема жидкости – в течение 4 час. Все исследования выполнялись в условиях общей анестезии. Методика проведения исследования соответствовала стандартной эндосонографии панкреатобилиарной зоны, принятой в Японии [11].

В исследование включены все пациенты, поступившие в клинику с очаговыми солидными образованиями ПЖ, которым выполнялась ЭУС. Критериями исключения было наличие кистозного компонента и ограничения к выполнению исследования в виде ранее выполненных резекционных вмешательств, или патологии, препятствующей проведению аппарата в двенадцатиперстную кишку.

По поводу очаговых образований панкреатодуоденальной зоны обследовались 272 пациента. Женщин было 112 (41,2%), мужчин – 160 (58,8%).

Возраст больных варьировался от 37 до 88 лет (средний возраст $54 \pm 6,75$ года). Солидные опухолевые образования ПЖ выявлены у 109 пациентов (40,1%), локальные формы хронического панкреатита (ХП) диагностированы у 40 (14,7%) больных. Данное соотношение выявленной патологии не отражает истинного в общей популяции, поскольку выборка пациентов не являлась репрезентативной вследствие того, что ЭУС выполнялась только при подозрении на хирургическую патологию органов панкреатобилиарной зоны.

Окончательный диагноз устанавливался на основании данных гистологического исследования материала, полученного интраоперационно. Учитывались также данные цитологических исследований клеточного материала, полученного при перкутанной аспирационной биопсии и ЭУС контролируемой тонкоигольной пункции очаговых образований, при условии наблюдения за пациентами не менее 12 мес после исследования. Кроме того, принимались во внимание результаты щипковой биопсии из слизистой двенадцатиперстной кишки в случаях инвазии опухоли в стенку органа. С целью анализа первичных данных производилась видеофиксация всех исследований с последующей архивацией информации на электронных носителях.

Результаты и их обсуждение. В связи с целью исследования фокусом внимания являлась дифференциальная диагностика очаговой формы ХП и протоковой аденокарциномы ПЖ, поскольку данная патология вызывает наибольшие диагностические трудности в связи со схожестью сонографических характеристик этих образований. При этом основополагающим критерием считали эхографическую текстуру очаговых образований.

При проспективном и ретроспективном анализе видеоизображений ультразвуковых исследований пациентов с очаговой патологией ПЖ нами сформирована шкала эхотекстур, состоящая из совокупности эндосонограмм всех обследованных пациентов. Для достижения однородности результатов из области интересов ROI были извлечены прямоугольные фрагменты, максимально отображающие особенности текстуры диагностируемой патологии у каждого конкретного пациента (рис. 1).

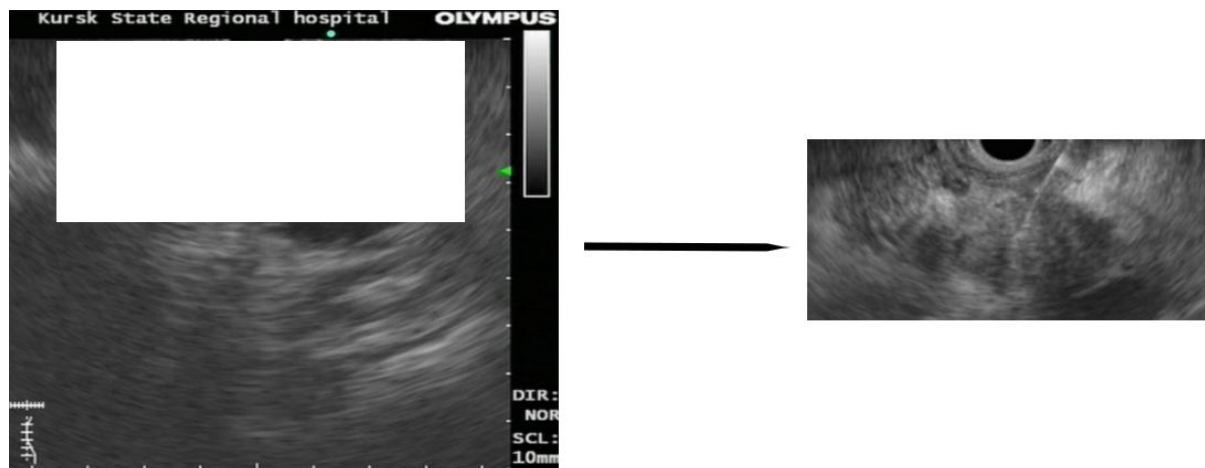


Рис. 1. Формирование эндосонограммы из области интереса

При этом для формирования эндосонограммы из видеоизображений использовались разработанные универсальные алгоритмы, позволяющие выделять фрагменты максимально однородные и отвечающие требованиям разрабатываемой классификации эхотекстур. В область интереса старались включить участок паренхимы железы, содержащий как можно больше признаков патологии ПЖ обследуемого пациента. Прямоугольные изображения извлекались как можно большего размера для достижения максимальной однородности результатов. Сонографические изображения на шкале эхографических текстур расположили в порядке нарастания патологических изменений паренхимы ПЖ от нормальной, через хронический очаговый панкреатит до аденокарциномы с низкой степенью дифференцировки.

Собственные исследования и экспертный анализ показали, что анализируя сонограмму, врач визуализирует некоторую интегральную картину единого целостного изображения, практически не разделяя его на составляющие, что относится и к эхографической текстуре. Для надежной классификации объектов информативными считали следующие признаки, описывающие текстуру: яркость, форму, размеры и пространственное соотношение элементов, составляющих текстуру. Все эти элементы единой текстуры оценивали как целое. Поскольку формальной процедуры задания исходной системы признаков пока не существует, признаки, используемые при решении, в нашем случае задачи дифференциальной диагностики очаговых образований ПЖ, задаются на основании опыта экспертов ультразвуковой диагностики, ориентированных в патологии органов панкреатобилиарной зоны. Визуальный анализ полученных изображений показал, что опытный врач ультразвуковой диагностики достаточно надежно выделяет десять основных характерных типов эхографической текстуры ПЖ, позволяющих осуществлять искомую классификацию. При этом меньшая детализация, по мнению экспертов, приводит к снижению качества диагностики, а большая детализация вызывает перенапряжение функции селективности внимания и потере четкости восприятия врача, принимающего диагностические решения.

Таким образом, из совокупности изображений шкалы эндосонограмм нами выделены усредненные типовые эндосонограммы, которые включают и характеризуют соответствующую дифференцируемую нами патологию ПЖ. Выделенные типы эхотекстуры соответствуют нормальной паренхиме органа, ХП, в том числе очаговому, и протоковой аденокарциноме.

Учитывая особенности восприятия зрительных образов и различный опыт будущих пользователей, типовые эхотекстуры мы представили двумя изображениями. Первое изображение представляет собой типовую (эталонную) сонограмму, а второе – искусственно созданное, идеализированное изображение (репер), позволяющий исследователю сосредоточиться на том, какую реальную сонограмму он увидит для той или иной диагностической ситуации. Такое двойное отображение типовой эхотекстуры, на наш взгляд, позволит исследователю более точно акцентировать свое внимание на диагностируемой патологии, обеспечив в дальнейшем более точную диагностику.

Приводим примеры эталонных эндосонограмм и реперных изображений, описывающих основные экотекстуры.

1. Эхографическая текстура нормальной ПЖ. Равномерно чередующиеся округлые, линейные и извитые гипо- и гиперэхогенные экоструктуры, размеры которых не превышают 2 мм. Экоструктуры ориентированы в различных направлениях относительно плоскости изображения (рис. 2).

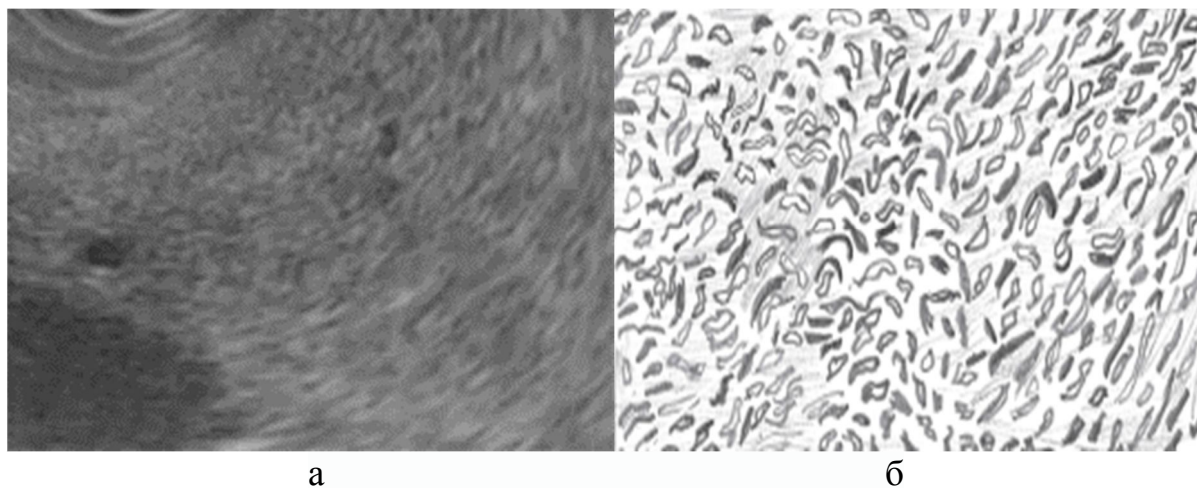


Рис. 2. Эхографическая текстура нормальной ПЖ: а – эталонная эндосонограмма;
б – реперная схема

2. Эхографическая текстура при ХП. Панкреатический рисунок характеризуется преобладанием гиперэхогенных экоструктур, размеры которых увеличиваются и превышают 2 мм. Формируется дольчатая структура железы за счет гипозэхогенных лобул, подчеркнутых гиперэхогенными тяжами (рис. 3).

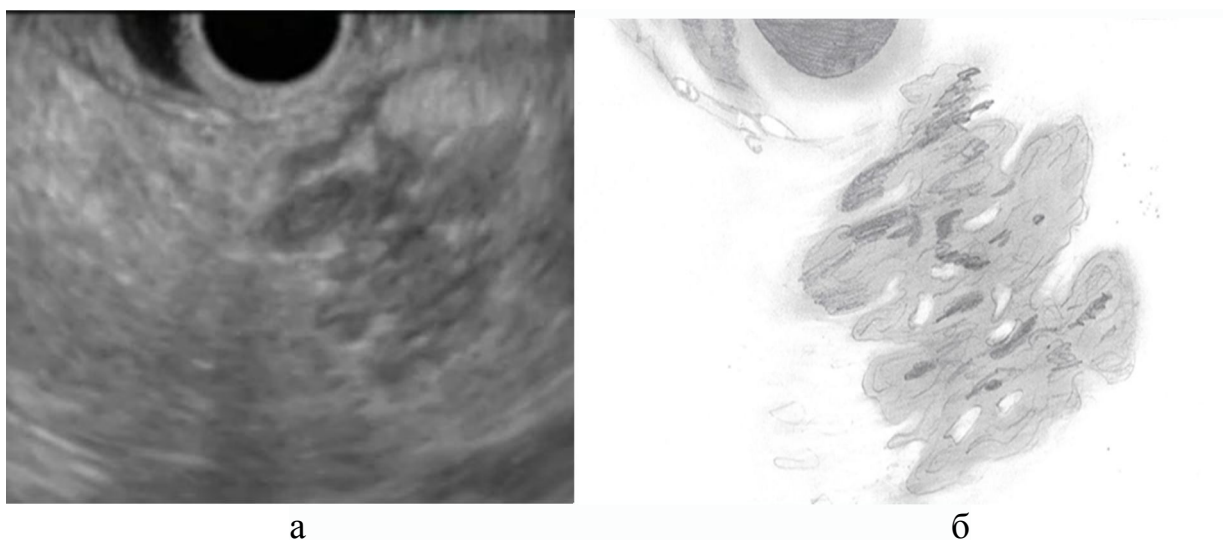


Рис. 3. Эхографическая текстура при ХП: а – эталонная эндосонограмма;
б – реперная схема

3. Эхографическая текстура при ХП с очаговым характером изменений. Панкреатический рисунок характеризуется неоднородной текстурой в очаге с преобладанием гипоэхогенных структур со сливным характером распределения, частично маскирующих гиперэхогенные эхоструктуры. Размеры гипоэхогенных структур преобладают (рис. 4).

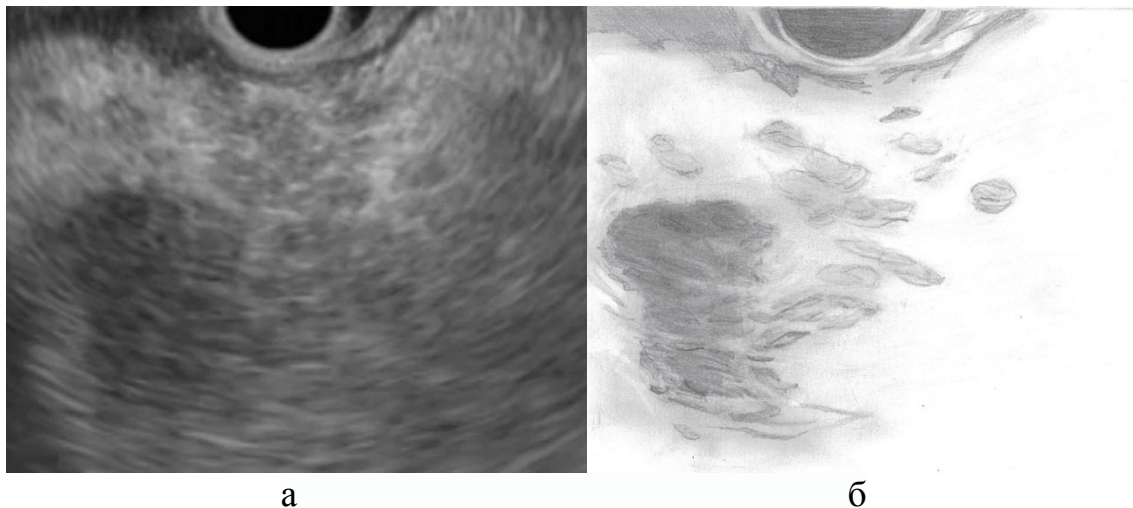


Рис. 4. Эхографическая текстура при ХП с очаговым характером изменений:
а – эталонная эндосонограмма; б – реперная схема

4. Эхографическая текстура при высококодифференцированных злокачественных новообразованиях ПЖ. Панкреатический рисунок в очаге деформирован, теряется равномерное чередование эхопозитивных и эхонегативных структур, нарушается соотношение их размеров, формируются сливные области с различной эхогенностью с нечеткими границами неправильной формы между ними в пределах очага (рис. 5).

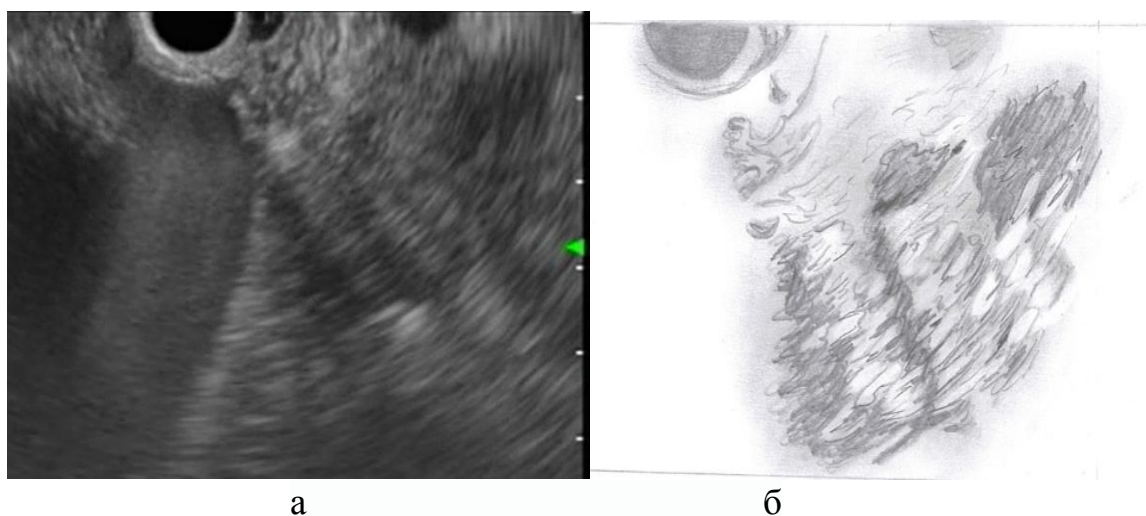


Рис. 5. Эхографическая текстура при высококодифференцированных злокачественных новообразованиях ПЖ: а – эталонная эндосонограмма; б – реперная схема

5. Эхографическая текстура при умеренно дифференцированных злокачественных новообразованиях ПЖ. Панкреатический рисунок в очаге отсутствует, эхоструктуры теряют идентичность по форме и размерам, теряется равномерное чередование эхопозитивных и эхонегативных структур, формируются сливные области со значительным преобладанием гипоэхогенных с нечеткими границами неправильной формы между ними в пределах очага (рис. 6).

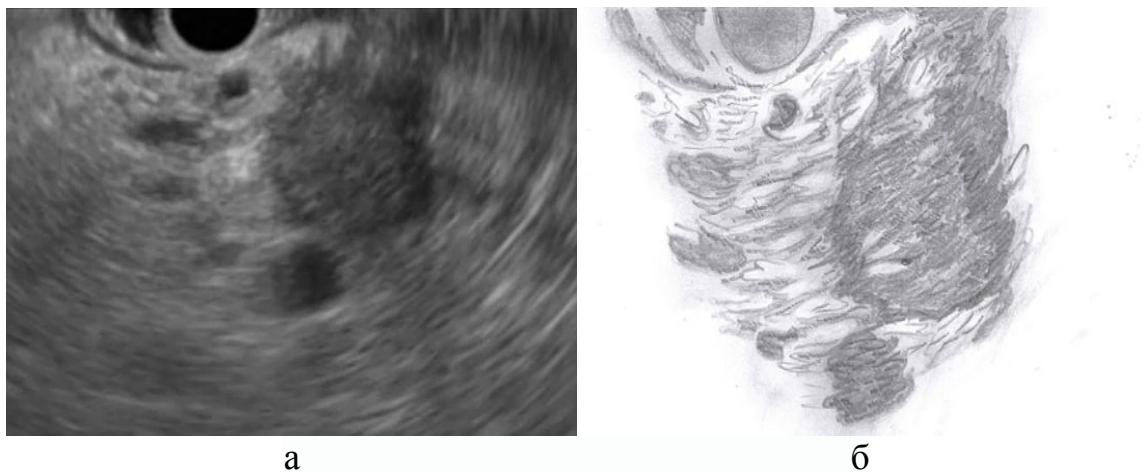


Рис. 6. Эхографическая текстура при умеренно дифференцированных злокачественных новообразованиях ПЖ: а – эталонная эндосонограмма; б – реперная схема

6. Эхографическая текстура низкодифференцированной аденокарциномы ПЖ. Эхографическая текстура при низкодифференцированных злокачественных новообразованиях ПЖ. Текстурированный рисунок в очаге отсутствует, эхоструктуры в очаге не дифференцируются. Формируются сливные гипоэхогенные области, которые занимают практически весь очаг с преобладанием однородной гипоэхогенной массы (рис. 7).

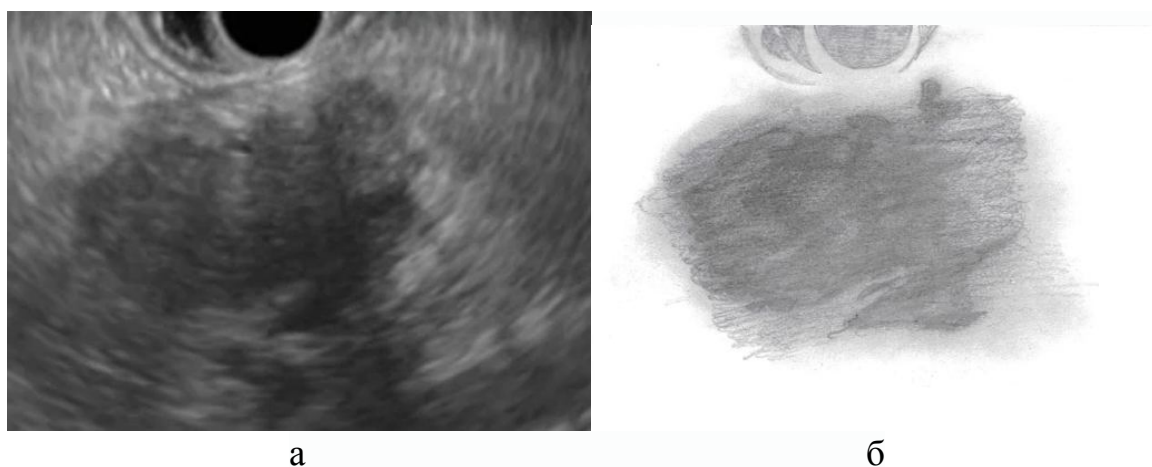


Рис. 7. Эхографическая текстура низкодифференцированной аденокарциномы ПЖ: а – эталонная эндосонограмма; б – реперная схема

С целью анализа эффективности и корректности работы полученной классификации изображений проведен ретроспективный анализ видеоматериалов результатов ЭУС пациентов с патологией ПЖ и распределением всего массива графических материалов по основным типам эхографической текстуры. Результаты проверочного анализа отображены в таблице. Также в таблице приведены условные названия типовых эхографических текстур, выделенных из шкалы. Названия эхотекстур не являются диагнозом или самостоятельной нозологической формой и призваны улучшить ориентировку в сонографических изображениях шкалы и облегчить работу экспертов и пользователей алгоритма.

Распределение пациентов с ХП и раком ПЖ по основным типам эхографической текстуры

Типовые эхотекстуры	ХП		Рак ПЖ	
	абс.	частость	абс.	частость
1. ХП с диффузными изменениями	3	0,07	-	-
2. ХП с дольчатой паренхимой	6	0,15	-	-
3. ХП с очаговыми изменениями паренхимы	7	0,17	-	-
4. Хронический очаговый панкреатит	8	0,20	6	0,05
5. ХП с выраженной очаговостью изменений	8	0,20	8	0,07
6. Высокодифференцированная аденокарцинома 1	4	-	9	0,08
7. Высокодифференцированная аденокарцинома 2	4	0,10	19	0,17
8. Умеренно дифференцированная аденокарцинома	-	0,10	21	0,19
9. Низкодифференцированная аденокарцинома	-	-	24	0,22
10. Низкодифференцированная аденокарцинома с максимальными изменениями	-	-	22	0,20

Полученные данные позволили построить гистограмму на шкале упорядоченных рисунков (видеоряда) S с последующим статистическим анализом полученных результатов (рис. 8).

Хорошо видны «зоны перекрытия» диагностического видеоряда S: 5-6-7. Парный коэффициент корреляции Пирсона между анализируемыми подвыборками частот равен 0,75, что на уровне ошибки первого рода $p = 0,006 \ll 0,05$ позволяет предположить об их принадлежности подобным законам распределения с различными параметрами. Определенные по методике [12; 13; 14] вероятности сходства по коэффициентам Фишера и Стьюдента составили соответственно 0,67 и 0,5, что ниже критического уровня (ошибка первого рода $p < 0,001$). Таким образом, приходим к заключению,

что предлагаемая шкала видеоряда в градации 1-10 позволяет дифференцировать онкологические заболевания от панкреатита на определенных видеобразцах.

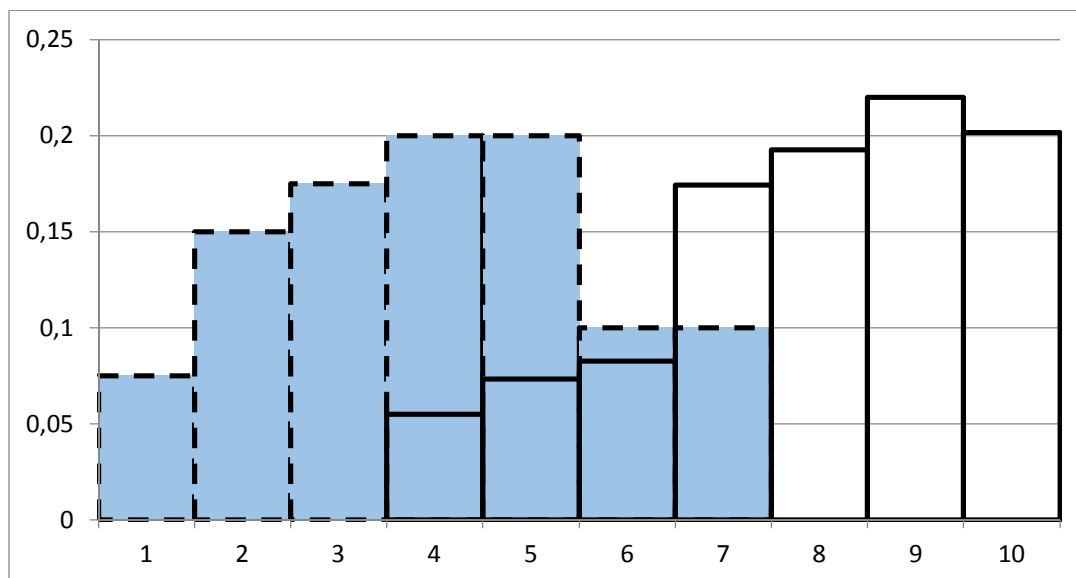


Рис. 8. Гистограмма структур видеоряда S (пунктирная линия – панкреатит, сплошная линия – рак ПЖ)

Для определения риска $R(s)$ правильности принятого в процессе дифференциальной диагностики по предлагаемой методике решения выбрана формула, предложенная для применения в подобных случаях в [3]:

$$R(s) = \frac{f(s)}{1-F(s)},$$

где $f(s)$ – плотность распределения; $F(s)$ – функция распределения (интеграл $f(s)$ на интервале $[1, s]$ (или $[s, 1]$ – в зависимости от анализа левой или правой частей гистограммы как образа функции плотности распределения).

Исходя из визуального анализа гистограммы и рассматриваемых в работах [15; 16] похожих ситуаций, выбираем в качестве закона распределения функцию Вейбулла [3] $f(s) = \frac{c}{b} \left(\frac{s}{b}\right)^{c-1} \cdot e^{-\left(\frac{s}{b}\right)^c}$, где b – параметр масштаба; c – параметр формы.

По методике, предлагаемой в работе [17], осуществлена аппроксимация функции $f(s)$ на гистограмме средствами Excel и получены следующие функции распределения Вейбулла для панкреатита и онкологических заболеваний соответственно:

$$f(s) = 0,667 \cdot \left(\frac{s}{4,5}\right)^2 \cdot e^{-\left(\frac{s}{4,5}\right)^3},$$

$$f(s) = 0,51 \cdot \left(\frac{s}{9}\right)^{4,4} \cdot e^{-\left(\frac{s}{9}\right)^{5,4}}.$$

Соответствие полученных законов распределения с эмпирическими результатами составило на уровне статистической значимости ошибки первого рода $p = 0,003$ для панкреатита и $p = 0,001$ для рака ПЖ, что подчеркивает адекватность полученных законов. Соответствующие им риски представлены на рисунке 9.

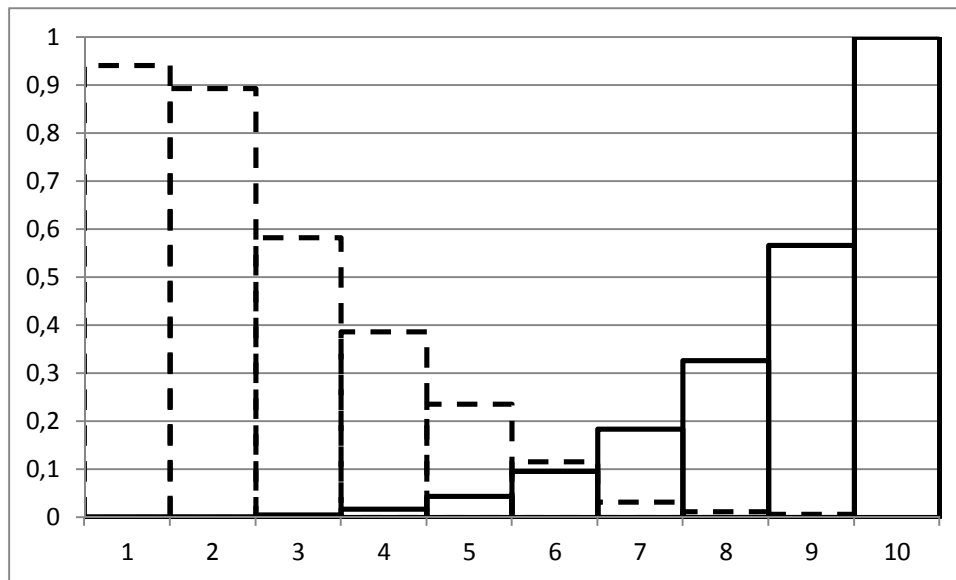


Рис. 9. Функция риска дифференциальной диагностики по видеоряду S (пунктирная линия – панкреатит, сплошная линия – рак ПЖ)

Выводы и рекомендации:

1. Проведенный статистический анализ показывает перспективность предлагаемой методики дифференциальной диагностики панкреатита и протоковой аденокарциномы и синтеза гибридных решающих правил для соответствующих SMART экспертных систем в составе АРМ врача (подобных представленным, например, в работах [18; 19]).

2. Сформированная шкала эхографической текстуры очаговых образований ПЖ в перспективе позволит описывать и дифференцировать другие солидные образования органа, а также выявлять различия в пределах определенной патологии, например, анализировать степень дифференцировки протоковой аденокарциномы.

3. Полученные обнадеживающие результаты свидетельствуют о том, что разработка и применение удобных и неинвазивных систем дифференцировки изображений ЭУС может значительно улучшить качество диагностики патологии ПЖ.

Список литературы

1. Костина Ю. Д., Павелец К. В. Диагностика и лечение рака поджелудочной железы: современное состояние проблемы // Медицина: теория и практика. 2018. Т. 3, №3. С. 16–26.

2. Возможности эндоскопической ультрасонографии в диагностике солидных новообразований поджелудочной железы / Н. С. Рябин, А. Н. Катрич, М. И. Быков, Р. Г. Сташ // Кубанский научный медицинский вестник. 2018. Т. 25, № 6. С. 177–183.

3. Neural network analysis of EUS images to differentiate between pancreatic malignancy and pancreatitis / I. D. Norton, Y. Zheng, M. S. Wiersema [et al.] // *Gastrointest Endosc.* 2001. Vol. 54, is. 5. P. 625-9. <https://doi.org/10.1067/mge.2001.118644>.

4. International Cancer of Pancreas Screening (CAPS) Consortium. International Cancer of the Pancreas Screening (CAPS) Consortium summit on the management of patients with increased risk for familial pancreatic cancer / M. I. Canto, F. Harinck, R. H. Hruban [et al.] // *Gut.* 2013. Vol. 62, is. 3. P. 339-47. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2012-303108>.

5. Impact of endoscopic ultrasonography on diagnosis of pancreatic cancer. / M. Kitano, T. Yoshida, M. Itonaga [et al.] // *J. Gastroenterol.* 2019. Vol. 54, is. 1. P. 19–32. <https://doi.org/10.1007/s00535-018-1519-2>.

6. Welinsky S., Lucas A. L. Familial pancreatic cancer and the future of directed screening // *Gut Liver.* 2017. Vol. 11, is. 6. P. 761–770. <https://doi.org/10.5009/gnl16414>.

7. Эндосонография в диагностике заболеваний органов гепатопанкреатобилиарной зоны / Ю. Г. Старков, Е. Н. Солодина, К. В. Шишин [и др.] // *Хирургия.* 2009. №6. С. 10–16.

8. Texture analysis of medical images / G. Castellano, L. Bonilha, L. M. Li [et al.] // *Clin Radiol.* 2004. Vol. 59, is. 12. P. 1061-9. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2004.07.008>.

9. Hawes R. H., Fockens P. *Endosonography.* Elsevier Inc., 2006. 329 p.

10. Неустроев В. Г., Ильичева Е. И., Владимирова А. А. Эндоскопическая ультрасонография в дифференциальной диагностике хронического панкреатита и опухолей поджелудочной железы // *Клиническая эндоскопия.* 2007. № 3 (12). С. 31–43.

11. Нечипай А. М., Орлов С. Ю., Федоров Е. Д. ЭУСбука. Руководство по эндоскопической ультрасонографии. М.: Практическая медицина, 2013. 129 с.

12. Боровиков В. П. Популярное введение в современный анализ данных и машинное обучение на STATISTICA. М.: Горячая линия – Телеком, 2019. 354 с.

13. Наследов А. Д. SPSS 15: профессиональный статистический анализ данных. СПб.: Питер, 2008. 415 с.

14. Зубов Н. Н., Кувакин В. И., Умаров С. З. Статистика в биомедицине, фармации и фармацевтике. М.: ООО ДиректМедиа, 2020. 383 с.

15. Анализ выживаемости по медицинской базе данных больных раком предстательной железы / В. М. Буре, Е. М. Парилина, А. И. Рубша [и др.] // Вестник СПбГУ. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2014. № 2. С. 27–35.

16. Осовец С. В. Теоретическая оценка функции риска и коэффициента общей смертности на основании распределения Вейбулла // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2017. Т. 62, № 2. С. 35–38.

17. Карташов Л. Е., Копп В. Я., Заморёнов М. В. Аппроксимация закона Вейбулла // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. № 7. С. 229–247.

18. Артеменко М. В., Серебровский В. В., Бабков А. С. Информационно-аналитическая модель поддержки принятия решений в процессе диагностики рака желудка // Фундаментальные исследования. 2014. Т. 1, № 6. С. 18–23.

19. Screening diagnosis of gastric cancer based on fuzzy models of blood composition and on patient's anamnesis / N. M. Agarkov, M. V. Artemenko, V. V. Dmitrieva [et al.] // Biomedical Engineering. 2015. Vol. 49, no. 2. P. 94–97.

V. A. Belozerov¹, N. A. Korenevsky¹ ✉, M. V. Artemenko¹

Southwest State University, Kursk, Russia,

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

STUDY OF THE INFORMATIVITY OF THE ECHOGRAPHIC TEXTURE OF THE FOCAL FORMATIONS OF THE PANCREAS FOR DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF CHRONIC PARCREATITIS AND VALUABLE ADENOCARCINOMA

The method of endoscopic ultrasonography is the most informative in the detailed visualization of the pancreatic parenchyma and is used as a clarifying method in the diagnosis of focal organ pathology. The key criterion for the differential diagnosis of the pathology under study is the echographic texture. The results of endoscopic ultrasonography of 109 patients with solid tumors of the pancreas and 40 patients with chronic pancreatitis were analyzed. A scale of echographic textures of the pathology under consideration has been constructed. Ten main types of echographic texture have been identified, corresponding to chronic focal pancreatitis and ductal adenocarcinoma with varying degrees of differentiation. The results of statistical analysis are presented, which made it possible to construct a risk diagram of the risk of making diagnostic decisions according to the proposed scale of echographic textures and to prove the prospects of formalizing the proposed method for differential diagnosis of pancreatitis and ductal adenocarcinoma for the synthesis of the corresponding decision rules of intellectualized support systems for automated workplaces. doctor.

Keywords: endoscopic ultrasonography; echographic texture; chronic pancreatitis; ductal adenocarcinoma; statistical analysis.

УДК 615.47:621.37.39

Б. С. Гуревич¹ ✉, К. Р. Киселева, Н. К. Исаев

¹ *Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург, Россия*

✉ e-mail: kvz235@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА ОТ КОЖИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ КОЖНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ

В данной работе предлагается использовать мультиспектральную обработку изображений для выявления признаков злокачественных новообразований кожи на основе данных о спектрах отражения основных хромофоров кожи. Представлена и обсуждена функциональная схема устройства, обеспечивающего обработку изображений предложенным методом.

Ключевые слова: мультиспектральная обработка изображения; оптические методы диагностики; рак кожи; меланома; спектрофотометрический метод.

Введение. Рак кожи – одна из самых распространенных форм онкологических злокачественных опухолей. Согласно данным [1], только в 2020 г. было зафиксировано более 1,5 млн новых случаев заболеваний данной патологией. Большой рост числа заболеваний сопряжен с поздней диагностикой и выявлением злокачественного новообразования. Связано это с тем, что при профилактическом осмотре специалистом, а именно визуальной диагностике заболеваний кожи по цветовым характеристикам отраженного и рассеянного света от исследуемого участка, возможности врачей сильно ограничены. К сожалению, человеческий глаз не может отличить чистые спектральные цвета от цветов, образованных смешением красного, зеленого и синего в определенных пропорциях. В то же время инвазивные методы исследования новообразований обычно не используются, поскольку в случае наличия злокачественных клеток, это может привести к метастазированию опухоли.

В связи с этим в последние годы активно развиваются оптические методы диагностики состояния кожи. Интересные результаты были получены при исследованиях приложения рамановской спектроскопии в диагностике рака кожи [2; 3]. Другой активно развивающийся подход к оценке состояния кожи пациента основывается на явлении автофлуоресценции [4; 5; 6]. Существуют также альтернативные подходы – компьютерная томография [7] и магнитно-резонансная томография. Перечисленные методы позволяют в большинстве случаев, успешно диагностировать заболевания кожных покровов, но обладают некоторыми недостатками. Основной проблемой для обоих методов является потеря части информации из-за ограниченности диапазона длин волн, на которых производятся измерения. Данные, находящиеся вне

исследуемого диапазона, могут содержать важную информацию о характере кожных новообразований.

Чтобы исключить этот недостаток, нами предложено использовать метод многоспектральной обработки изображения новообразования [8; 9; 10]. Главной особенностью этого метода является преобразование полихромного изображения в последовательность монохромных субизображений, каждое из которых содержит только цвета определенного спектрального интервала. Таким образом, чем больше число используемых длин волн, тем больший объем спектральной информации можно получить наряду с пространственной информацией.

При разработке данной идеи необходимо осуществить первые экспериментальные исследования, направленные на подтверждение актуальности использования спектрофотометрического метода для анализа характера кожных новообразований, что и является целью данной работы. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: разработать структурную схему экспериментальной установки, описать принцип ее действия, получить первые результаты и обработать их.

Материалы и методы. Как было отмечено ранее, основной целью многоспектральной обработки является получение дополнительной информации о характере кожных новообразований. Для этого необходимо произвести измерения различных участков кожи в диапазоне 450...815 нм (видимый свет). Стоит отметить, что на этом диапазоне длин волн основными хромофорами кожи являются меланин и гемоглобин [11]. Существование подобного окна прозрачности биологических тканей позволяет применять оптическое излучение видимого диапазона для исследования внутренней структуры поверхностного слоя ткани.

На рисунке 1 приведена структурная схема экспериментальной установки для многоспектральной обработки исследуемого участка кожи.

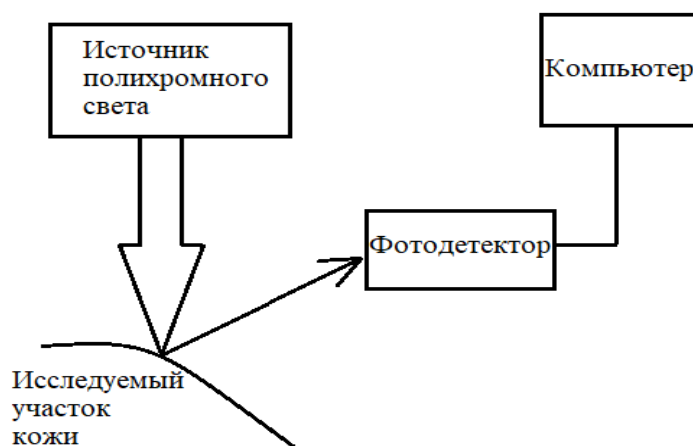


Рис. 1. Структурная схема установки

Для формирования светового пучка, освещающего исследуемый участок, используется полихромный источник света – галогенная лампа с противоильтрафиолетовым рефлектором. Свет, отраженный от объекта, поступает на вход спектрофотометра, информация с которого далее поступает на компьютер. Измерения производились с помощью спектрометра STS-Vis Ocean Optics с использованием оптического полимерного кабеля сечением 1 мм и коллиматора на линзе с фокусным расстоянием 8 мм. Коллиматор создает коллимированный луч диаметром 5 мм с малой расходимостью (менее 2 градусов).

Результаты. Используя установку, изображенную на рисунке 1, были получены результаты в диапазоне длин волн 450...815 нм (видимый свет).

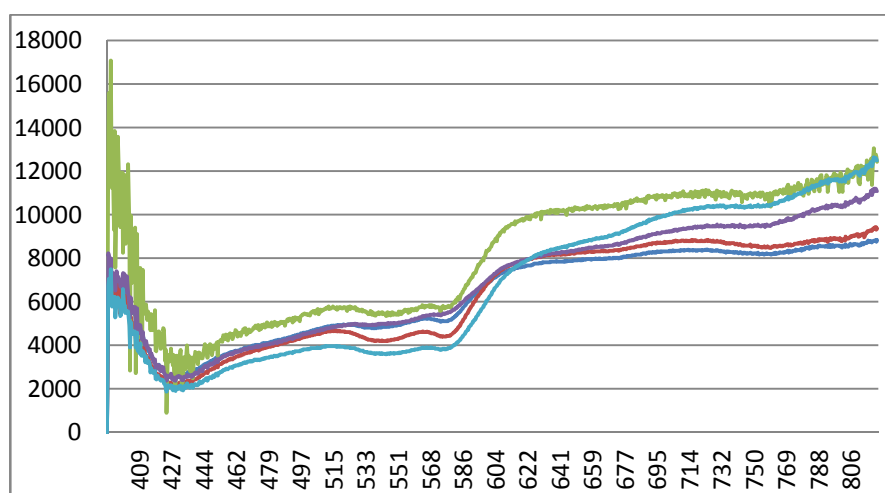


Рис. 2. Полученные спектральные данные отражения света при исследовании кожи

На рисунке 2 изображены спектры, снятые в ходе серии пробных экспериментов, которые производились на участке кожи руки. Измерения производились *in vivo*, в одинаковых температурных условиях, освещенности помещения и при определенной геометрии установки. Сбор экспериментальных данных производился с участка кожи 3x3 см. В эксперименте участвовало 5 человек, из которых 3 женщины и 2 мужчин. Время, необходимое для получения спектральной информации одного испытуемого, составило приблизительно 10 с. При обработке результатов были учтены спектры белого и черного цветов. Для этого в качестве эталонных образцов использовались пластины соответствующего цвета.

Каждая цветовая линия на рисунке 2 соответствует определенному испытуемому. Рассмотренный участок кожи у каждого испытуемого не имеет новообразований, видимых человеческому глазу. Из полученных результатов можно сделать вывод, что полученные спектры имеют характерную форму, но различную амплитуду. На особенности спектра могли повлиять: возраст человека, степень загара, наличие/отсутствие пигментных пятен, родинок на руках и прочие факторы. Однако на диаграмме присутствуют шумы, что особенно заметно в диапазоне 400...450 нм.

Было обнаружено, что использованный в данном эксперименте спектрофотометр обладает недостаточно высокой чувствительностью, что накладывает дополнительные ограничения на диагностические способности установки. Это может привести к значительным потерям полезной информации.

Выводы. Для того чтобы избежать информационных потерь во время экспериментов, предлагаются следующие решения: использование спектрофотометров с большей чувствительностью; использование других источников полихромного света.

В качестве источника излучения использовалась галогенная лампа, спектральный состав и интенсивность излучения которой нестабильны, а срок годности сравнительно невелик. Все эти обстоятельства способствуют ограничению производительности и надежности проведения анализов, так что возникает практическая необходимость в разработке более надежных и быстродействующих спектральных приборов для проведения биохимических анализов. Возникает необходимость в создании комплексного источника света, обеспечивающего полихромное освещение биологических проб, подлежащих анализу.

Основой для создания такого устройства может послужить источник света с управляемым спектром на базе набора светодиодов и последовательно подключенного акустооптического перестраиваемого фильтра, разработанный и описанный ранее в [12, 13], с внесением необходимых изменений, касающихся применения более мощных и экономичных светодиодов, а также расширения спектрального диапазона до пределов, обеспечивающих захват всех необходимых зон спектра.

Список литературы

1. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries / H. Sung, J. Ferlay, R. L. Siegel [et al.] // *CA Cancer J. Clin.* 2021. Vol. 71, is. 3. P. 209–249.
2. Real-time Raman spectroscopy for automatic in vivo skin cancer detection: an independent validation / J. Zhao, H. Lui, S. Kalia, H. Zeng // *Analytical and Bioanalytical Chemistry.* 2015. Vol. 407. P. 8373–8379.
3. Austin L. A., Osseiran S., Evans C. L. Raman technologies in cancer diagnostics // *Analyst.* 2016. Vol. 141. P. 476–503.
4. Combined Raman and autofluorescence ex vivo diagnostics of skin cancer in near infrared and visible regions / I. Bratchenko, D. Artemyev, O. Myakinin [et al.] // *J. Biomed. Opt.* 2017. Vol. 22, no.2. P. 027005.
5. Portable spectroscopic system for in vivo skin neoplasms diagnostics by Raman and autofluorescence analysis / Y.A. Khristoforova, I.A. Bratchenko, O.O. Myakinin [et al.] // *J. Biophotonics.* 2019. Vol. 12, no.4. P. e201800400.

6. Autofluorescence spectroscopy of cutaneous neoplasia under ultraviolet, visible and near infrared excitation / E. Borisova, D. Ivanov, B. Kolev [et al.] // Proc. SPIE. 2020. Vol. 11363. P. 113630Z-1 – 113630Z-5.

7. Ганцев Ш. Х., Юсупов А. С. Плоскоклеточный рак кожи // Практическая онкология. 2012. Т. 13, № 2. С. 80–91.

8. Зайченко К. В., Гуревич Б. С. Применение спектрально селективных акустооптических устройств для задач медицинской диагностики// Научная сессия ГУАП: сб. докл.: в 3 ч. Ч. II: Технические науки. СПб.: ГУАП, 2016. С. 50–54.

9. Evaluating the aging of the scars after cancer removal by using multispectral diagnostic device / M. Lange, A. Lihachev, E. Plorina [et al.] // OSA Biophotonics Congress: Biomedical Optics. Hollywood, FL, US, 2018.

10. Zaichenko K. V., Gurevich B. S. Skin lesions diagnostics by means of multispectral acousto-optic image processing with complexing by X-ray image data // AIP Conference Proceedings. 2020. Vol. 2250. P. 020033-1 – 020033-4.

11. Zonios G., Bykowski J., Kollias N. Skin melanin, hemoglobin, and light scattering properties can be quantitatively assessed in vivo using diffuse reflectance spectroscopy // Journal of Investigative Dermatology. 2001. Vol. 117, no. 6. P. 1452–1457.

12. Пат. Рос. Федерация, 2287736 МПК F 21 S 2/00, Y 101/02. Универсальный источник полихромного оптического излучения / Андреев С. В., Беляев А. В., Гуревич Б. С. [и др.]. №2004105078/28; заявл. 17.02.2004, опубл. 20.11.2006. Бюл. № 32.

13. Зайченко К. В., Гуревич Б. С. Принципы измерений информационных и технических характеристик акустооптических систем многоспектральной обработки изображений // Датчики и системы. 2015. №2. С. 61–64.

B. S. Gurevich¹ ✉, K. R. Kiseleva¹, N. K. Isaev¹

¹ Institute for Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences (IAI RAS), Saint Petersburg, Russia

✉ e-mail: kvz235@mail.ru

RESEARCH OF THE SPECTRUM OF LIGHT REFLECTION FROM THE SKIN TO CREATE A SPECTROPHOTOMETRIC METHOD FOR THE DIAGNOSIS OF SKIN TUMORS

In this paper, we propose to use multispectral image processing to detect signs of skin malignancies based on data of the reflection spectrum of the main chromophores of the skin. The functional scheme of the device providing image processing by the proposed method is presented and discussed.

Keywords: multispectral image processing; optical diagnostic methods; skin cancer; melanoma; spectrophotometric method.

А. А. Наумова¹✉, Н. Л. Коржук¹, В. Н. Коржук¹

¹ Тульский государственный университет, Тула, Россия

✉ e-mail: anna.naymova.2016@mail.ru

СИСТЕМА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ

Предложена система параметрического анализа электроэнцефалограммы, позволяющая разделить фоновую (спонтанную) активность головного мозга и когнитивную реакцию на внешний стимул с применением системы самонастраивающихся селективных фильтров.

Ключевые слова: когнитивный процесс; функциональная система; селективный фильтр.

Когнитивный процесс как осознание и постижение завершает чувственное восприятие и обращение к памяти синтезом нового знания. Моделирование сложного когнитивного образа затрудняется тем, что память человека, в отличие от памяти ЭВМ, имеет свойства голографичности и фрактальности. Наука пока только исследует временные аспекты мыслительного процесса – изменения локальных потенциалов нейронных ансамблей, проявляющихся в электроэнцефалограмме (ЭЭГ). При этом электрический образ когнитивного процесса (КП) не регистрируется напрямую, поскольку сопровождается многочисленными фоновыми процессами головного мозга, имеющими на порядок большую амплитуду.

С другой стороны, перспективным направлением в исследовании биоэлектрических процессов является разработка алгоритмов выделения и интерпретации фоновой (спонтанной) активности головного мозга. Несмотря на развитие многочисленных методов обработки ЭЭГ (частотный, спектральный, биспектральный, корреляционный, когерентный, солитонный анализы) до сих пор не существует единого подхода к анализу фоновых процессов.

В статье предлагается использовать метод регистрации ЭЭГ как основу для автоматического построения (в том числе и в реальном масштабе времени) математической модели (ММ) фоновой ЭЭГ и определения графика когнитивного процесса (КП) как разницы между ЭЭГ и выходом ММ.

В ходе эксперимента была проведена регистрация ЭЭГ с применением компьютерной диагностической системы «Нейрокартограф-5» (фирма МБН, г. Москва), установленной в Клинико-диагностическом центре Тульской областной клинической больницы. Получены записи фоновой активности и записи с когнитивной нагрузкой. Испытуемым на экране ноутбука предъявлялись две фигуры – квадрат и круг. Задание состояло в том, чтобы оценить, какая из фигур занимает большую площадь и мысленно назвать ее. В резуль-

тате оценки испытуемый мысленно произносил слово «круг» или «квадрат». В эксперименте участвовали студенты-спортсмены.

В момент предъявления стимула импульсный генератор по команде с ноутбука выдает синхроимпульс, который отображается на ЭЭГ.

Основу ММ составляет рекуррентное уравнение цифрового селективного фильтра с настраиваемой резонансной частотой. Параметры фильтра автоматически изменяются в зависимости от частоты доминирующего ритма ЭЭГ.

Фильтрация происходит следующим образом: сигнал ЭЭГ подается на три последовательно соединенных селективных фильтра Баттерворта БФ1, БФ2, БФ3. Каждый из фильтров имеет исходную частоту настройки, соответствующую середине анализируемого частотного диапазона, например: тета, альфа, бета. Селективные фильтры БФ1, БФ2, БФ3 автоматически настраиваются на частоту доминирующего ритма в выбранном частотном диапазоне периодометрическим методом: счетчики измеряют временные интервалы между моментами прохождения выходными сигналами фильтров максимумов и минимумов. Частота настройки рассчитывается как обратная величина по нескольким значениям измеренного периода.

На рисунке 1 представлена структурная схема одного из трех селективных фильтров.

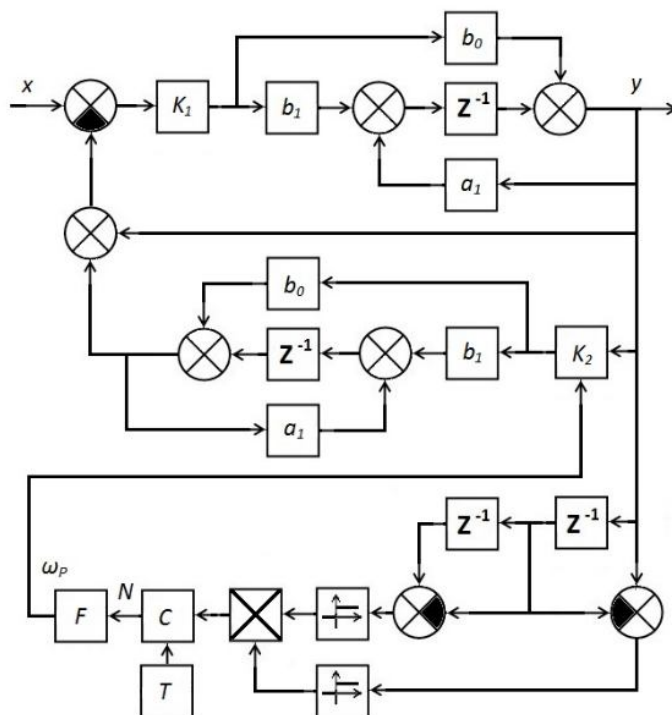


Рис. 1. Структурная схема цифрового селективного самонастраивающегося фильтра:
 x – входной сигнал; y – выходной сигнал; b_0, b_1, a_1, K_1, K_2 – коэффициенты;
 T – таймер; C – счетчик; F – функциональный преобразователь

После окончания процесса настройки фильтров БФ1–БФ3 и затухания переходных процессов их параметры (количество их будет зависеть от соотношения амплитуд основных гармоник сигнала) с заданным уровнем точно-

сти будут представлять сигнал фоновой ЭЭГ в том смысле, что белый шум, пропущенный через построенный фильтр, будет иметь спектральные характеристики, совпадающие с характеристиками фоновой ЭЭГ. В этот момент определяется дисперсия сигналов на их выходах. Спектр сигналов во всех диапазонах определяется как квадрат передаточной функции селективных фильтров БФ1–БФ3.

Оценка спектра сигнала в каждом отведении ЭЭГ получается по формуле

$$S(\omega) = A_1(\omega)^2 \cdot D_1 + A_2(\omega)^2 \cdot D_2 + A_3(\omega)^2 \cdot D_3,$$

где $A_1(\omega)$, $A_2(\omega)$, $A_3(\omega)$ – амплитудные характеристики фильтров; D_1 , D_2 , D_3 – дисперсии выходных сигналов фильтров.

Для полученных оценок спектров определяются максимальные значения, относительно которых они нормируются. Количественная оценка уровня связности двух процессов получается по формуле

$$K(\omega) = S_{H1}(\omega) \cdot S_{H2}(\omega),$$

где $S_{H1}(\omega)$, $S_{H2}(\omega)$ – нормированные оценки спектров двух отведений.

На рисунке 2 показаны процессы фильтрации и результаты расчетов уровней синхронизации для двух гипотетических отведений ЭЭГ.

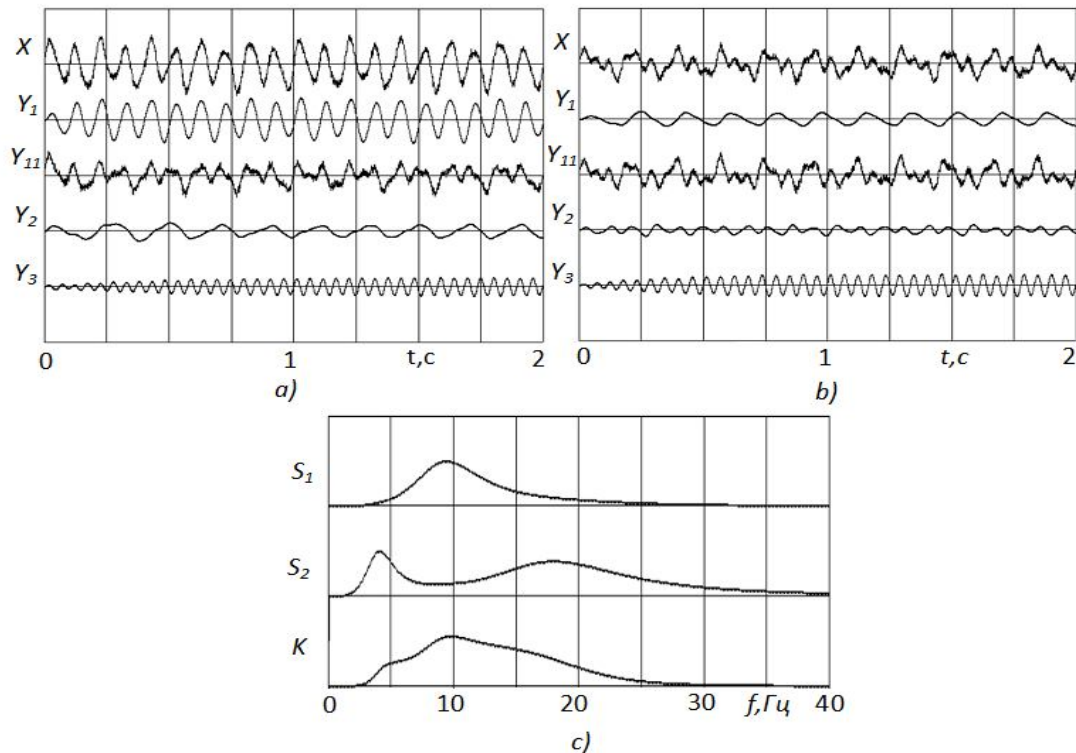


Рис. 2. Результаты математического моделирования отведений ЭЭГ: а и б – сигналы x – входной сигнал; y_1 – выходной сигнал первого фильтра; y_{11} – разность между входным сигналом и выходным сигналом первого фильтра; y_2 , y_3 – выходные сигналы второго и третьего фильтров; с – графики S_1 , S_2 – оценки спектров; K – уровень синхронизации

Затем обработка полученных данных происходит в микроконтроллере.

При прохождении через систему фильтров сигнал очищается от фоновых высокоамплитудных ритмов и на выходе представляет собой когнитивный отклик КГМ на внешний сигнал. Традиционный метод исследования КП предполагает использование вызванных потенциалов (ВП), основанных на многократном предъявлении стимула.

Применение предложенной системы позволяет регистрировать единичные реализации отклика на стимул и проследить локализацию максимума вызванной активности в различные моменты времени после подачи внешнего стимула и выявлять области КГМ, вовлеченные в наблюдаемый процесс.

Наглядно отразить распределение во времени КП можно с помощью методики нейрокартирования. Процесс картирования осуществляется в каждый дискретный момент времени записи ЭЭГ после цифровой фильтрации сигнала. Для определения значений сигналов ЭЭГ в межэлектродном пространстве последовательно применяется метод сплайн-интерполяции по четырем точкам.

Значения сигналов во всех последовательных сечениях сохраняются в квадратной матрице размером 200×200 элементов. После заполнения матрицы осуществляется поиск глобального максимума и минимума. Интервал между максимумом и минимумом разбивается на шесть равных промежутков, в соответствии с которыми элементу присваивается соответствующий код цвета. Поскольку матрица квадратная, крайние элементы, выходящие за круглую зону картирования, признаков цвета не получают. Лобная зона карты не отображается ввиду использования этих каналов усилителя для подачи синхроимпульса.

На графическое поле программы выводится цветная карта, соответствующая дискретному моменту времени вместе со шкалой цветового масштаба, граничными значениями максимума и минимума сигнала для данного момента времени, а также время относительно момента подачи стимула.

На рисунке 3 приведены шесть последовательных карт (слева направо, сверху вниз), построенные для моментов времени, отстоящих от момента предъявления стимула с шагом $\Delta t = 0,05$ с. В опыте площадь круга была больше площади квадрата, испытываемый мысленно произносил слово «круг».

На рисунке 4 приведены аналогичные карты для случая, когда площадь квадрата превышала площадь круга.

Обращает на себя внимание то, что первые две карты, представленные на рисунках 3 и 4, имеют большое сходство. Эти карты соответствуют времени обработки сигнала в зрительной коре, причем вторые карты (100 мс) – времени положительного максимума зрительного ВП у здорового человека. Несмотря на внешние различия предъявляемых фигур информация до зрительной зоны КГМ доходит практически одновременно. Следует отметить достаточно широкую область информационного взаимодействия в правом полушарии, что обусловлено, по всей видимости, спецификой задания.

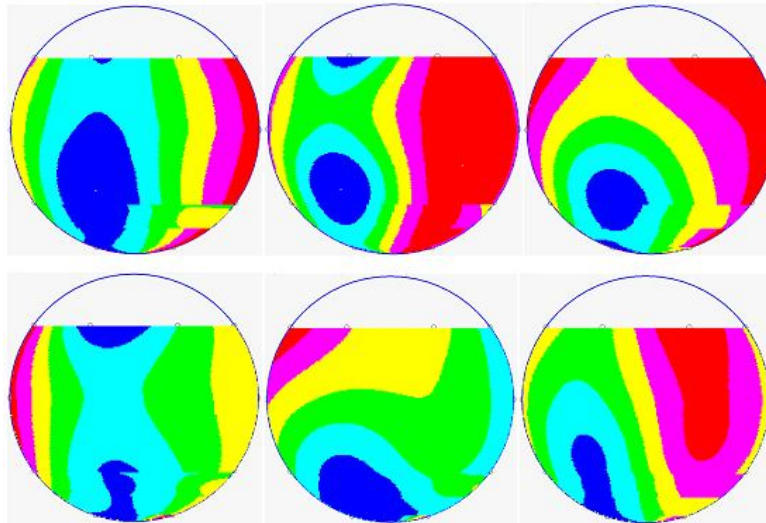


Рис. 3. Карты вызванной активности КГМ с шагом по времени 0,05 с при предъявлении большого круга и малого квадрата

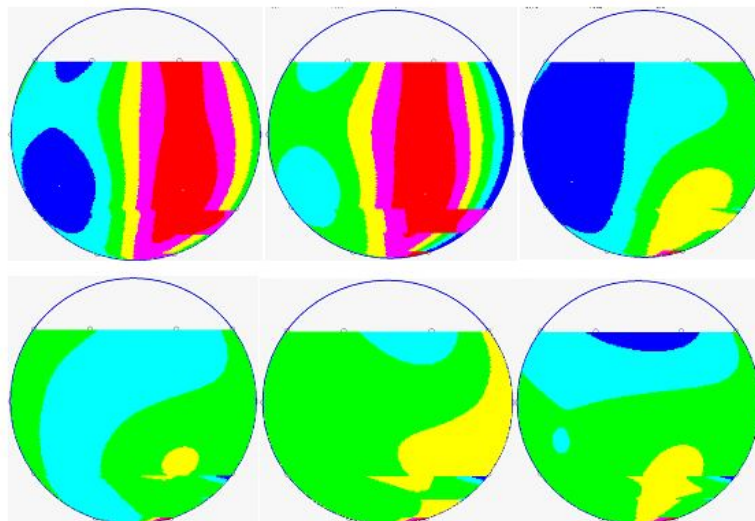


Рис. 4. Карты вызванной активности КГМ с шагом по времени 0,05 с при предъявлении большого квадрата и малого круга

Как видно из рисунка 3, максимум когнитивного ВП (P300) достигается к указанному в литературе времени при опознании простой фигуры (круг). При этом область максимума отмечается не только в теменных отведениях, но в гораздо большей области правого полушария (ответственно за анализ образов). Осознание «квадрата» занимает больше времени, аналогичная картина наблюдается ко времени 0,45 с, что не противоречит данным других исследователей, полученным по традиционному методу [1].

Представляют интерес наблюдаемые в процессе развития отклика КГМ моменты активации центров формирования и распознавания речи, позволяя локализовать нейролингвистические феномены и оценить эффективность различных методик обучения.

Предлагаемая система параметрического анализа электроэнцефалограммы позволяет автоматически разделить фоновую и вызванную активность КГМ, что позволяет использовать данную систему в двух областях исследований.

С одной стороны, анализ когнитивного отклика на внешние стимулы может быть использован при разработке тренажера нового типа для летчиков и космонавтов, позволяющий выявить способности человека предвидеть поведение сложной системы и принимать правильные решения в экстремальной ситуации. Также в описываемом эксперименте работа ФС имеет лингвистический выход в виде фонем и слов. В последнее время такие исследования, находящиеся на стыке нейролингвистики и электрофизиологии, проводятся опережающими темпами [2–4] ввиду их большого значения для развития методов коммуникации людей с ограниченными возможностями.

С другой стороны, параметры фоновой активности головного мозга могут быть применены для оценки степени синхронизации ЭЭГ расчётным путём (без спектральных преобразований, что имеет место при определении функций когерентности) во всех возможных парах отведений, что позволит диагностировать наличие неврологических нарушений.

Список литературы

1. Effects of a Phonological Reading and Writing Remediation Program in Students with Dyslexia: Intervention for Specific Learning Disabilities / E. Ferraz, T.D.S. Gonçalves, T. Freire [et al.] // *Folia Phoniatr Logop.* 2018. Vol. 70, no. 2. P. 59–73. <http://doi.org/10.1159/000489091>.

2. Cooney C., Folli R., Coyle D. Neurolinguistics research advancing development of a direct-speech brain-computer interface // *Science.* 2018. Vol. 8. P. 105–125.

3. Бахтин О. М., Кривко Е. М., Кирой В. Н. Электромиографические компоненты, ассоциированные с внутренней речью // *Журнал медико-биологических исследований.* 2020. Т. 8, № 2. С. 111–120. <http://doi.org/10.37482/2542-1298-Z001>.

4. Cortical auditory evoked potential in babies and children listeners / A. C. Leite Romero, A. C. Figueiredo Frizzo, E. F. Baisi Chagas, M. de Lima Isaac // *Braz. J. Otozhinol arynol.* 2020. Vol. 86, is. 4. P. 395–404. <http://doi.org/10.1016/j.bjorl.2019.01.007>.

A. A. Naumova¹ ✉, N. L. Korzhuk¹, V. N. Korzhuk¹

¹ *Tula State University, Tula, Russia*

✉ e-mail: anna.naymova.2016@mail.ru

PARAMETRIC ELECTROENCEPHALOGRAM ANALYSIS SYSTEM

A system of parametric analysis of the electroencephalogram is proposed, which makes it possible to separate the background (spontaneous) activity of the brain and the cognitive response to an external stimulus using a system of self-adjusting selective filters.

Keywords: cognitive process; functional system; selective filter.

G. A. Kvachnina¹, N. M. Kalugina², M. V. Artemenko² ✉

¹ Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

² Southwest State University, Kursk, Russia

✉ e-mail: artem1962@mail.ru

DIAGNOSIS OF ASTHMATIC BRONCHITIS IN THE PROCESS AUSCULTATIONS THE LUNGS BASED ON THE BISPECTRAL MATRIX OF THE RECORDED SIGNAL

The invention relates to medicine, in particular to pulmonology and functional diagnostics. The invention is a method for diagnosing asthmatic bronchitis during auscultation of the lungs by recording for 30 seconds with an electronic stethoscope (and subsequent automatic processing of respiratory noise) at a point above the larynx region. Mathematical processing of the recorded signal using a computer consists in the application of bispectral transformation - obtaining a bispectrum matrix in the frequency range from 10 to 2000 Hz (signal sampling is carried out at a frequency of 4000 Hz) and calculating the indicator variable I_d , which is the average value of the squares of the values of the main diagonal of the product of the specified matrix to the reference matrix, which is the inverse matrix of the bispectrum of a healthy person with certain "shift" values (0, 50, 80, 100, 140, 190). Comparing the I_d value with the intervals $I_1 = [0; 4]$ and $I_2 = [32; 50]$, it is concluded that the state of the respiratory system belongs to the groups: if the value of I_d falls within the interval I_1 , then there is a high probability that the patient will not have asthmatic bronchitis; if the I_d value falls within the I_2 interval, then there is a high probability that the patient has asthmatic bronchitis; if the I_d value does not fall within the specified intervals I_1 and I_2 , then a conclusion is made about the need for further examination for the presence of another lung disease. Thus, the technical result of increasing the noise immunity of recording respiratory noise during auscultation of the lungs using an electronic stethoscope and the effectiveness of automated diagnostics of asthmatic bronchitis is achieved. The method can be used in a medical institution when examining a patient with an electronic stethoscope, which allows registering and transmitting to a computing device for subsequent processing of respiratory noise signals during auscultation of the lungs.

Keywords: atmatic bronchitis; diagnostics; auscultation; respiratory noise signal; bispectrum; decision rules.

Asthmatic bronchitis has an infectious-allergic nature and is provoked by both infectious (viruses, bacteria, fungi) and allergens. Timely diagnosis of the disease allows you to stop and treat it in a shorter time and with greater efficiency. During preventive and primary examinations, auscultation of the lungs is used. On auscultation, the doctor identifies, as a rule, hard breathing, accompanied by wheezing or wet wheezing. The primary diagnosis in this case has a low sensitivity (of the order of 0.7-0.75 or less for a doctor who is not specialized in pulmonology) and, as a rule, requires further examination of the patient by instrumental

methods in a clinical setting. In this regard, the diagnosis of asthmatic bronchitis using a non-electronic stethoscope is not the most effective method.

The use of electronic stethoscopes makes it possible to automate the diagnostic process using computer programs that implement various signal transformations, significantly increasing diagnostic sensitivity, specificity and efficiency. A significant increase in diagnostic capabilities occurs when using electronic stethoscopes with subsequent processing of the recorded information [1].

There is a known method for the diagnosis of broncho-obstructive syndrome (RU 2 731 389, Malinina S.V. and Furmanova E.G., 2019), which consists in registering a respiratory noise signal at certain points for 25 seconds, with the use of further fast Fourier transform to obtain pseudospectrum, calculating further defined, characterizing the pseudospectrum, "wheezing coefficients" and comparing the obtained values with thresholds for diagnosis. The disadvantage of using the method of the invention for the diagnosis of asthmatic bronchitis is the need for auscultation at several points with the identification of the values of wheezing coefficients on the training sample and the presence of systematic shifts in the values of these coefficients when using the fast Fourier transform. To eliminate this and other disadvantages, it is proposed to use a bispectrum. Its use as an indicator variable was first described in [2].

It is proposed to recognize asthmatic bronchitis at a minimum of the Euclidean distance from the reference bispectrum. The following advantages of the bispectrum are used: the function allows you to recover information about the phase shifts of the analyzed signal, the bispectrum of Gaussian noise is zero (noise immunity improves), the bispectrum is invariant to the displacement of the original signal, the calculation of a discrete spectral function requires less computing resources (than the calculation of integral indicators).

The use of bispectrum for diagnostic purposes for solving medical problems is described, for example, in [3, 4, 5] (the possibilities of using bispectrum as a classifier in the analysis of a biological EEG signal in order to identify various ischemic disorders of the brain are analyzed) In particular, in [5] a method for analyzing respiratory noise in healthy people and patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) based on calculations of the bicoherence function by analyzing breath sounds for classification identification of the state of health of the respiratory system (for COPD) is proposed.

The main disadvantage of the proposed approaches is the calculation of bispectral matrices of large dimensions, which leads to the need to store large amounts of data that do not have indicator characteristics for a specific disease (in particular, asthmatic bronchitis). In addition, this approach is not applicable for the automatic diagnosis of asthmatic bronchitis using an electronic stethoscope. The use of auscultation, without subsequent computer processing of respiratory noise, is currently used in propaedeutics, predictive, preventive diagnostics with mandatory subsequent examination of the patient by instrumental methods.

The aim of the proposed method is to increase the diagnostic efficiency of diagnosing asthmatic bronchitis using an electronic stethoscope by improving noise immunity when registering respiratory noise and forming an indicator variable by forming bispectral matrices of the analyzed and reference signals.

With the help of an electronic stethoscope, a respiratory noise signal is recorded in a point above the larynx region for 30 seconds in a patient, for which an indicator coefficient is calculated (subsequently compared with the threshold). It is the mean of the squared deviation of the main diagonal of the product of the obtained bispectrum matrix of the respiratory noise signal of the examined patient and the reference inverse matrix of the bispectrum of the signal of a person who does not have respiratory diseases.

The method is carried out as follows. With the help of an electronic stethoscope (for example, 3M™ Littmann with Bluetooth 3200BK27 - manufacturer: 3M Littmann, USA), a breathing noise is recorded in the area of point above the larynx for 30 seconds. This signal is transmitted to the computing device, which performs the following actions to relate the patient's condition to one of the groups - "the patient is healthy" or "the presence of asthmatic bronchitis is highly probable" - according to the algorithm:

1. Sampling of the signal with a frequency of 4 kHz is carried out - to form a discrete signal ($x(t)$).

2. The bispectrum matrix is determined by the formula:

$$\hat{R}_x(k, l) = \sum_{i=0}^{l-1} x(i) \cdot x(i+k) \cdot x(i+l), \quad (1)$$

where: $\hat{R}_x(k, l)$ is a sample moment of the third order (element of the bispectrum matrix), $x(i)$ is the i -th discrete of the signal $x(t)$, k and l are the indices of time shifts samples, i is the number of samples of the discrete signal $x(t)$. The shift parameters k and l are elements of the set $\{0, 50, 80, 100, 140, 190\}$.

3. The resulting matrix is $\hat{R}_x(k, l)$ multiplied by the reference matrix Re (which is a bispectral matrix of the respiratory noise signal for a healthy person) $RR = \hat{R}_x(k, l) \cdot Re$:

$$Re = \begin{bmatrix} -1,11 & 2,40 & -0,57 & 1,55 & 0,40 & 1,35 \\ 2,40 & 15,35 & -1,46 & -1,26 & 41 & 8,72 \\ -0,57 & -1,46 & -1,00 & 1,79 & -2,84 & -3,00 \\ 1,55 & -1,26 & 1,79 & 4,83 & 3,70 & 1,90 \\ 0,40 & 2,41 & -2,84 & 3,70 & 1,31 & 2,14 \\ 1,35 & 8,72 & -3,00 & 1,90 & 2,14 & 4,53 \end{bmatrix}.$$

4. The indicator Id is calculated as the mean value of the squares of the main diagonal of the matrix RR : $Id = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (RR_i)^2$.

5. The value of Id is compared with the intervals $I1 = [0;4]$ and $I2 = [32;50]$. If the Id value falls within the $I1$ interval, then it is concluded that there is a high probability that the patient will not have asthmatic bronchitis. If the Id value falls within the $I2$ interval, then it is concluded that the patient is highly likely to have asthmatic bronchitis. If the Id value does not fall within the specified intervals $I1$ and $I2$, then a conclusion is made about the need for further examination for the presence of another lung disease.

The resulting indicator variables can be used both directly in the proposed decision diagnostic rules and in dynamic expert systems based on the analysis of hierarchies [6].

The method can be used in a medical institution when examining a patient with an electronic stethoscope, which allows registering and transmitting to a computing device for subsequent processing of respiratory noise signals during auscultation of the lungs. The resulting decision rules make it possible to design and operate an appropriate smart-expert medical diagnostic system as part of a pulmonologist's workstation.

Reference

1. Zaitseva E. G., Chernetsky M. V., Shevel N. A. On the possibility of remote diagnosis of the human respiratory system by auscultation // Instruments and measurement methods. 2020. Vol. 11, is. 2. P. 148-154. <https://doi.org/10.21122/2220-9506-2020-11-2-148-154>
2. Alesenko V. V. Vibrations in engineering: handbook: in 6 vol. Vol. 5: Measurements and tests. M.: Mechanical Engineering, 1981. 496 p.
3. Khabarova M. Yu., Indyukhin A. F. The possibilities of polyspectral analysis of electroencephalograms in the study of cognitive processes // Izvestiya of the Southern Federal University. Technical sciences. 2008. Vol. 6(83). P. 34–37.
4. Zhang Ji-Wu, Zheng Chong, Xie Au. Bispectrum analysis of focal is chemic cerebral EEG signal using third-order recursion method // IEE Trans.Biomedical Engntntring. 2000. Vol. 47, is. 3. P. 118-127
5. Application of polyspectral analysis to determine diagnostic signs in the breathing sounds of COPD patients / A. S. Poreva [et al.] // Visnik of the National Technical University of KhPI. Series: New technologies in suchasnih technologies. 2014. No. 36. P. 49–55.
6. Indicators of differential diagnostics in classification decision support systems using the hierarchy analysis method / M. V. Artemenko, I. I. Dobrovolsky, N. M. Kalugina, M. V. Pisarev // Fundamental Research. 2016. No. 11, pt. 1. P. 15–22.

А. А. Титов¹✉, М. С. Митихина¹, Е. А. Маркелова²

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

² ФГБУ «Информационно-методический центр по экспертизе, учёту и анализу средств медицинского применения», Курск, Россия

✉ e-mail: anton-titov-2001@mail.ru

ЭФФЕКТЫ АНТИГИПЕРТЕНЗИВНОЙ ХРОНОТЕРАПИИ У ПОЖИЛЫХ БОЛЬНЫХ НА ФОНЕ МЕТАБОЛИЧЕСКОГО СИНДРОМА

В статье рассматривается эффективность антигипертензивной хронотерапии фиксированной комбинации амлодипина, лизиноприла и розувастатина на динамику субъективных симптомов у пожилых больных с артериальной гипертензией при метаболическом синдроме. Анализ субъективных симптомов у пожилых пациентов через 6 месяцев после антигипертензивной хронотерапии показал практически одинаковую результативность по влиянию на частоту неврологических и когнитивных жалоб. Это говорит о том, что превентивная хронотерапия фиксированной комбинацией «Эквимер» даёт положительный эффект на данную группу субъективных симптомов и, безусловно, важна для геронтологического контингента больных с рассмотренными заболеваниями.

Ключевые слова: артериальная гипертензия; метаболический синдром; фиксированная комбинация; амлодипин; лизиноприл; розувастатин; пожилые люди.

Ассоциированный с артериальной гипертензией (АГ), нарушениями липидного и углеводного обмена метаболический синдром (МС) в пожилом и старческом возрасте представляет одну из приоритетных проблем современного здравоохранения различных стран. В настоящее время некоторые исследователи рассматривают АГ именно в рамках проявления МС [1]. Анализ взаимоотношений АГ и МС – наиболее часто обсуждаемая современная проблема в области терапии, кардиологии, эндокринологии и геронтологии, что обусловлено высокой распространенностью данного симптомокомплекса в популяции пожилых пациентов.

Сочетание АГ при МС в большинстве стран встречается у 50–60% пожилых людей [2], а в нашей стране в названной возрастной когорте достигает 75–80% [1]. Показано увеличение распространенности МС среди населения в связи с повышением возраста. Данные эпидемиологических исследований свидетельствуют, что частота МС увеличивается постепенно по мере старения организма, резко возрастая у лиц старше 50 лет, и достигает максимального значения в 60–69 лет. Тенденция к непрерывному повышению лиц с МС, наблюдаемая в пожилом и старческом возрасте, позволяет считать МС как возрастассоциированное заболевание. Среди лиц в возрасте 60 лет и старше МС выявляется в 50% случаев и с учетом тенденций современной де-

мографической ситуации число таких больных будет возрастать [3]. Прогнозируется повышение данной патологии в мире и в России [4].

Лечение АГ при МС у лиц пожилого возраста требует разработки особых подходов к антигипертензивной терапии, поскольку АГ у таких пациентов отличается значительной рефрактерностью к лечению. Монотерапия у данных больных редко позволяет достичь целевого уровня АД, поэтому возрастает роль комбинированной терапии с использованием фиксированных комбинаций препаратов. Потребность в комбинированной терапии АГ в России достигает 70,7% [5]. Патогенетически обоснованной для лечения пациентов с АГ на фоне сахарного диабета нарушенной толерантности к глюкозе и/или МС называется фиксированная комбинация (ФК) амлодипина, лизиноприла и розувастатина. Однако в гериатрической клинической практике этот препарат у больных АГ при МС как по традиционной схеме, так и в режиме хронотерапии не применялся, хотя указанная ФК считается перспективной [6].

В ходе исследования было обследовано 183 больных пожилого возраста с АГ при МС с выявленными нарушениями циркадианных биоритмов систолического, диастолического и пульсового АД, ЧСС и суточного профиля АД. Случайным отбором они были разделены на 1-ю основную группу (63 пациента), 2-ю основную группу (62 пациента) и контрольную группу (58 пациентов). Основные клиничко-демографические показатели больных МС с АГ пожилого возраста основной и контрольной групп до начала терапии представлены в таблице 1.

Таблица 1
Основные клиничко-демографические показатели больных МС с АГ пожилого возраста основной и контрольной групп до начала терапии

Показатель	1-я основная группа, n= 62	2-я основная группа, n=63	Контрольная группа, n=58
Возраст, годы	68,4±2,5	69,4±2,4	70,2±2,2
ИМТ, кг/м ²	32,4±1,2	29,8±1,3	31,4±1,1
Мужчины/женщины, абс. ч.	24/38	28/35	28/30
Длительность АГ, лет	10,3±2,8	9,8±2,7	10,6
1-я степень АГ, %	33,9	36,5	38,6
2-я степень АГ, %	66,1	63,5	61,4
Офисное систолическое давление, мм рт. ст.	164,3±4,3	162,8±3,7	163,8±3,8
Офисное диастолическое давление, мм рт. ст.	102,7±1,8	100,9±1,7	98,7±1,8
ЧСС, уд./мин	76,9±1,2	77,6±1,1	76,0±1,0

Во 2-й основной группе больных АГ при МС пожилого возраста реализована превентивная хронотерапия фиксированной комбинацией (ФК) амло-

дипина, лизиноприла, розувастатина («Гедеон Рихтер»), когда лекарственный препарат принимался за 2 часа до акрофазы систолического АД в дозе 5 мг + 10 мг + 10 мг один раз в сутки. В 1-й основной группе в соответствии с полученными нами результатами антигипертензивная хронотерапия ФК амлодипина, лизиноприла и розувастатина в той же дозе проводилась в вечернее время (в 20.00 часов). В контрольной группе ФК амлодипина, лизиноприла, розувастатина в той же дозе принималась утром – традиционное лечение. При недостаточной эффективности доза ФК амлодипина, лизиноприла, розувастатина корригировалось индивидуально.

На фоне реализации антигипертензивной хронотерапии у больных МС с АГ пожилого возраста через 6 месяцев в сравнении с исходными данными отмечены позитивные изменения в обеих группах (табл. 2). Применение трехкомпонентной фиксированной комбинации «Эквимер» в соответствии с принципом превентивной хронотерапии в основной группе пациентов привело к достоверному уменьшению количества больных, не предъявляющих жалобы кардиологического характера на момент завершения наблюдения. В контрольной группе пожилых больных МС с АГ, принимавших «Эквимер» в строго фиксированное время (20.00 час), через 6 месяцев лечения количество пациентов с отсутствием субъективных кардиологических симптомов снизилось, но без достоверной разницы в сравнении с исходной величиной.

Таблица 2

Распространённость кардиологических субъективных симптомов у пожилых пациентов с МС и АГ в процессе завершённого хронотерапевтического применения эквимера (на 100 пролеченных)

Кардиологические жалобы	1-я основная группа		2-я основная группа		Контрольная группа	
	исходно	после лечения	исходно	после лечения	исходно	после лечения
Одышка	39,7±6,2	15,9±4,6*	42,9±6,3	14,5±4,5*	32,8±5,2	17,2±5,0*
Сердцебиение	28,6±5,7	17,5±4,8	33,9±6,0	12,9±4,3*	27,6±5,9	18,9±5,1
Боли в области сердца в покое	66,7±5,9	7,9±3,4*	58,1±6,3	9,6±3,7*	60,3±6,4	24,1±5,6*
Боли в области сердца при нагрузке	69,8±5,8	39,7±6,2*	77,4±5,3	32,2±5,9*	72,4±5,9	41,3±6,5*
Иррадиация болей	65,1±6,0	41,3±6,2*	70,9±5,8	45,2±6,3*	34,5±6,2	39,7±6,4*
Аритмия	22,2±5,2	11,1±3,9	19,4±5,0	8,1±3,5	13,7±4,5	12,1±4,3
Чувство «замирания» сердца	9,5±3,7	4,8±2,7	14,5±5,0	6,5±3,1	12,1±4,3	6,9±3,3
Отсутствие жалоб	23,8±5,4	11,1±3,9	29,0±5,8	14,3±4,6*	27,6±5,7	13,8±4,5

* Достоверное различие в сравнении с исходной величиной.

Кроме того, преимущество превентивной хронотерапии, в отличие от приема «Эквимер» в вечернее фиксированное время, подтверждается тем, что в основной группе достоверно уменьшилась распространенность 5 кардиологических жалоб против 4 в контрольной группе. В основной группе статистически значимо снизилась частота жалоб на одышку, сердцебиение, боли в области сердца в покое, боли в области сердца при нагрузке, иррадиацию болей. Наиболее значительная разница в уменьшении кардиологических жалоб к моменту завершения наблюдения отмечена по снижению частоты сердцебиения, болей в области сердца в состоянии покоя.

Неврологическая субъективная симптоматика у больных МС с АГ пожилого возраста под влиянием фиксированной комбинации лизиноприла, амлодипина и розувастатина в течение 6 месяцев исчезла у большинства пациентов при обоих вариантах хронотерапии (табл. 3). При этом удельный вес пациентов с отсутствием рассматриваемых жалоб в контрольной группе незначительно выше, чем в основной ($P > 0,05$). Положительная динамика неврологических жалоб наблюдалась по 7 симптомам как в основной, так и в контрольной группах. В обеих обследованных группах в сравнении с числом жалоб до лечения и через 6 месяцев хронотерапевтического медикаментозного воздействия статистически значимо уменьшилась распространенность жалоб на эмоциональную лабильность, утомляемость, снижение работоспособности, головную боль, шум в голове и повышенную раздражительность. По другим неврологическим жалобам достоверных различий в динамике за 6-месячный период в сравниваемых группах не выявлено.

Таблица 3

Распространенность неврологических жалоб среди пациентов пожилого возраста с МС и АГ до и после хронотерапии (на 100 пролеченных)

Неврологические жалобы	1-я основная группа		2-я основная группа		Контрольная группа	
	исходно	после лечения	исходно	после лечения	исходно	после лечения
Эмоциональная лабильность	96,8±2,2	27,0±5,6*	96,7±2,3	30,6±5,8*	51,7±6,6	32,8±6,2
Утомляемость	88,9±3,9	42,3±6,2*	77,4±5,3	33,9±6,0*	63,8±6,3	48,3±6,6
Снижение работоспособности	69,8±5,8	36,5±6,1*	75,8±5,4	40,3±6,2*	62,1±6,4	39,7±6,4
Головная боль	79,4±5,1	44,4±6,2*	90,3±3,7	51,6±6,3*	65,5±6,2	46,6±6,5
Головокружение	85,7±4,4	31,7±5,9*	83,9±4,7	29,0±5,8*	58,6±6,5	34,5±6,2
Шум в голове	84,2±4,6	41,3±6,2*	79,0±5,2	37,1±6,1*	63,8±6,3	43,1±6,5
Повышенная раздражительность	74,6±5,5	28,6±5,7*	70,9±5,8	22,6±5,3*	55,2±6,5	29,3±6,0

Окончание табл. 3

Неврологические жалобы	1-я основная группа		2-я основная группа		Контрольная группа	
	исходно	после лечения	исходно	после лечения	исходно	после лечения
Потливость повышенная	12,7±4,2	6,3±3,1	14,5±4,5	9,7±3,7	13,8±4,5	6,8±3,3
Потеря сознания	15,8±4,6	9,5±3,7	9,7±3,7	4,8±2,0	13,8±4,5	6,8±3,3
Онемение конечностей, лица	9,5±3,7	6,3±3,1	14,5±4,5	8,1±3,5	12,1±4,3	8,6±3,7
Отсутствие жалоб	3,2±2,2	55,6±6,2*	3,3±2,3	48,4±6,3*	34,5±6,2	51,7±6,6

*Достоверное различие в сравнении с исходной величиной.

Все сказанное выше свидетельствует о практически одинаковой эффективности разных режимов дозирования фиксированной комбинации «Эквимер» на регресс субъективной неврологической симптоматики.

Антигипертензивная хронотерапия «Эквимер» по результирующему признаку – отсутствие когнитивных жалоб у пожилых больных МС с АГ – оказалась равнозначной (табл. 4), поскольку удельный вес таких пациентов не имел достоверных различий в обеих группах.

Таблица 4

Влияние различных вариантов хронотерапии эквимером на когнитивные жалобы у пожилых больных МС с АГ (на 100 пролеченных)

Когнитивные жалобы	1-я основная группа		2-я основная группа		Контрольная группа	
	до лечения	через 6 месяцев	до лечения	через 6 месяцев	до лечения	через 6 месяцев
Тревожность	30,2±5,8	12,7±4,2*	24,2±5,4	17,7±4,8	27,8±5,9	13,8±4,5
Нарушение сна	20,6±5,1	9,5±3,7	27,4±5,7	16,1±4,7	24,1±5,6	12,1±4,3*
Нарушение памяти	66,7±5,9	39,7±6,2*	62,9±6,1	37,1±6,1*	48,3±6,6	41,4±6,5
Фобии	4,8±2,7	4,8±2,7	6,5±3,1	4,8±2,7	5,2±2,9	3,4±2,4
Отказ от приема пищи	4,8±2,7	3,2±2,2	9,7±3,7	6,5±3,1	5,2±2,9	1,8±1,7
Снижение концентрации внимания	65,1±6,0	34,9±6,0*	71,0±5,8	32,2±5,9*	51,7±6,6	37,9±6,4
Отсутствие жалоб	34,5±6,0	60,3±6,2	29,0±5,8	62,9±6,1*	48,3±6,6	58,6±6,5

*Достоверное различие в сравнении с исходной величиной.

Наиболее существенно трехкомпонентная фиксированная комбинация в реализованных вариантах хронофармакотерапии оказала позитивное действие на снижение жалоб на нарушение памяти и концентрации внимания ($P < 0,001$), причем в более значительной степени на последнюю в основной группе. Однако в контрольной группе, помимо уменьшения распространенности названных выше двух субъективных симптомов, отмечалось уменьшение числа пациентов с МС и АГ с жалобой на тревожность.

Таким образом, анализ субъективных симптомов у пожилых пациентов с МС и АГ через 6 месяцев после антигипертензивной хронотерапии в двух режимах показал практически одинаковую результативность по влиянию на частоту неврологических и когнитивных жалоб. Вместе с тем у больных с анализируемой патологией, принимавших «Эквимер» с учетом превентивной хронотерапии, достоверно ниже доля больных с отсутствием кардиологических жалоб в целом и по отдельным в частности. Это говорит о том, что превентивная хронотерапия фиксированной комбинацией «Эквимер» более благоприятно влияет на данную группу субъективных симптомов и, безусловно, важно для геронтологического контингента больных МС с АГ.

Список литературы

1. Сергеева В. А., Родионова А. Ю., Михайлов А. А. Принципы антигипертензивной терапии при метаболическом синдроме // Клиническая медицина. 2013. Т. 91, № 6. С. 4–8.
2. Сатыбалдиева А. Д., Базаргазышызы Г., Насырбекова Д. К. Особенности течения эссенциальной артериальной гипертензии у лиц пожилого и старческого возраста // Вестник Алматинского государственного института усовершенствования врачей. 2017. № 1. С. 22–28.
3. Каладзе Н. Н., Ревенко Н. А., Мельцева Е. М. Динамика нейрометаболических показателей у детей с метаболическим синдромом в процессе санаторно-курортного лечения // Артериальная гипертензия 2017 как междисциплинарная проблема: сборник тезисов XIII Всероссийского конгресса. Уфа: ООО «ИнтерМедсервис», 2017. С. 14.
4. Альмуханова А. Б., Перемитина А. Д. Организация интервенционной аритмологической службы // Вестник Казахского национального медицинского университета. 2018. № 3. С. 256–259.
5. Леонова М. В., Штейнберг Л. Л., Белоусов Ю. Б. Фармакоэпидемиология артериальной гипертензии в России: анализ приверженности врачей (по результатам исследований ПИФАГОР IV) // Системные гипертензии. 2015. Т. 12, № 1. С. 19–25.
6. Подзолков В. И., Брагина А. Е., Осадчий К. К. Фиксированная комбинация лизиноприл + амлодипин + розувастатин: перспективы применения у пациентов с артериальной гипертензией и сопутствующей дислипидемией // Терапевтический архив. 2017. Т. 89, № 12. С. 133–140.

A. A. Titov¹ ✉, M. S. Mitikhina¹, E. A. Markelova²

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

² *Information and Methodological Center for the Examination, Accounting and Analysis of Medical Products, Kursk, Russia*

✉ e-mail: anton-titov-2001@mail.ru

EFFECTS OF ANTIHYPERTENSIVE CHRONOTHERAPY IN ELDERLY PATIENTS WITH METABOLIC SYNDROME

The article examines the effect of antihypertensive chronotherapy with a fixed combination of amlodipine, lisinopril and rosuvastatin on the dynamics of subjective symptoms in elderly patients with arterial hypertension with metabolic syndrome. The analysis of subjective symptoms in elderly patients 6 months after antihypertensive chronotherapy showed almost the same effectiveness in influencing the frequency of neurological and cognitive complaints. This suggests that preventive chronotherapy with a fixed combination of "Equamer" has a more favorable effect on this group of subjective symptoms and is certainly important for the gerontological contingent of MS patients with hypertension.

Keywords: arterial hypertension; metabolic syndrome; fixed combination; amlodipine; Lisinopril; rosuvastatin; elderly.

УДК 612.179: 615.47

К. В. Зайченко¹ ✉, А. А. Кордюкова¹

¹ *Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург, Россия*

✉ e-mail: kvz235@mail.ru

ПЕРВЫЕ ЭТАПЫ ОСНОВОПОЛАГАЮЩЕЙ УКРУПНЕННОЙ МЕТОДОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ ИШЕМИИ СЕРДЦА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе представлены подходы к разработке первых этапов новой авторской основополагающей укрупненной методологии функциональной электрокардиографии ишемической болезни сердца при экспериментальных исследованиях на подопытных животных на базе применения метода электрокардиографии сверхвысокого разрешения.

Ключевые слова: ишемия миокарда; моделирование искусственной патологии; электрокардиография сверхвысокого разрешения; экспериментальные исследования; базы данных.

Введение. В настоящее время при разработке приборов медицинского назначения большую роль играют экспериментальные исследования, направленные на детальное изучение различного рода патологий человека. Одной из значительных задач для медиков, физиологов и технических специалистов в области электрофизиологических систем являются исследования ишемической болезни сердца – одной из основных причин смертности и инвалидизации трудоспособного населения в большинстве стран мира.

В связи с актуальностью таких исследований коллектив лаборатории «Радио- и оптоэлектронные приборы биоинформационных и геномных технологий ранней диагностики патологий живых систем» Института аналитического приборостроения РАН (Санкт-Петербург) принимает участие в сериях экспериментов на подопытных животных в Институте экспериментальной медицины Федерального центра им. В. А. Алмазова (Санкт-Петербург). Эти исследования базируются на применении нового авторского метода электрокардиографии сверхвысокого разрешения (ЭКГ СВР), который был предложен и разрабатывается коллективом ведущей научной школы РФ «Радиоэлектронные и информационные средства оценки физиологических параметров живых систем» (РЭИС ЖС) во главе с докт. техн. наук, профессором К. В. Зайченко. Основное отличие метода ЭКГ СВР от других известных электрокардиографических методов заключается в регистрации электрокардиосигналов (ЭКС) в расширенных амплитудном и частотном диапазонах. Такой подход обеспечивает наиболее высокую разрешающую способность сигналов по амплитуде и частоте, а следовательно, и высокую степень детализации составляющих регистрируемого электрокардиосигнала со сверхвысоким разрешением (ЭКС СВР). Это позволяет исследователям получить новую, ранее недоступную для анализа информацию. В то же время авторский метод ЭКГ СВР обеспечивает регистрацию полезных ЭКС в диапазонах, характерных для всех известных ранее ЭКГ-методов [1; 2].

Цели и задачи. При изучении искусственно вызванной ишемии сердца у подопытных животных на базе метода ЭКГ СВР возникает вопрос о правильности организации всего процесса исследования, направленного на извлечение как можно большей полезной информации из каждого отдельного эксперимента. Стало ясно, что эта часть научного исследования является отдельной чрезвычайно важной и сложной проблемой, требующей разработки особых подходов к организационному, методическому и техническому обеспечению ее решения. В связи с этим целью данной работы является разработка первых этапов новой авторской основополагающей укрупненной методологии функциональной электрокардиографии ишемии миокарда при экспериментальных исследованиях на подопытных животных на базе применения метода ЭКГ СВР. Для этого необходимо решить следующие задачи: разработать методику проведения экспериментов по созданию искусственной ишемии сердца у подопытных животных, которая включает в себя работу с

подопытным животным, снятие и регистрацию ЭКС СВР, организацию хранения полученной информации для дальнейшей вторичной обработки. Главной технической задачей практического применения этих методик является осуществление постоянной и корректной записи ЭКС СВР на всем протяжении эксперимента, а также дальнейшее структурирование полученной информации. Важность задачи корректной записи всех составляющих ЭКС СВР определяется тем, что в дальнейшем, если в ходе эксперимента произошла потеря важной для исследования информации, восстановить ее невозможно.

Методика проведения экспериментов по созданию искусственной ишемии сердца у подопытных животных на базе метода ЭКГ СВР. Рассмотрим план экспериментального процесса на одном подопытном животном. На рисунке 1, а показаны все этапы как проведения самого эксперимента, так и применения частных методик – работы с подопытным животным, а также снятия, регистрации и хранения ЭКС СВР.

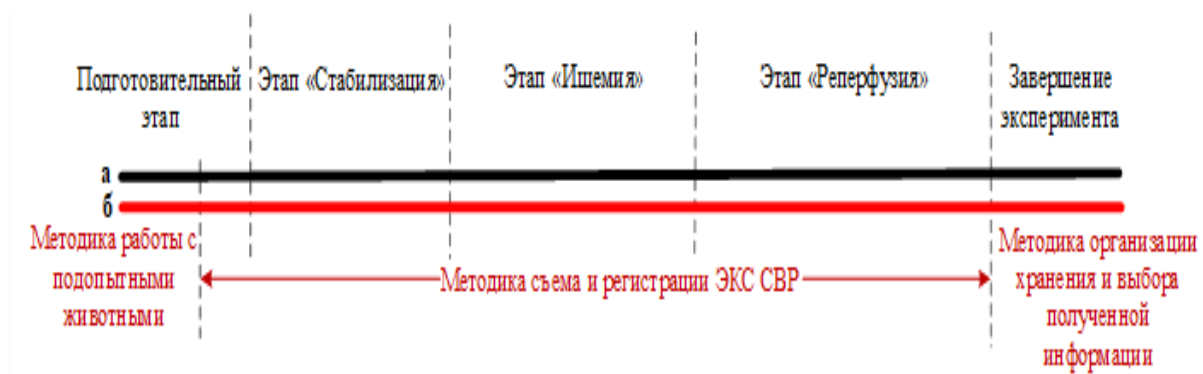


Рис. 1. План эксперимента на одном подопытном животном:
а – этапы эксперимента; б – применение разработанных методик

На начальном (подготовительном) этапе (см. рис. 1, а) каждого отдельного эксперимента подопытное животное приводят в необходимое состояние. Для этого применяется методика работы с подопытным животным, которая включает в себя: введение подопытного животного в наркоз с помощью ингаляционного анестетика; его размещение на термостатируемом операционном столе для поддержания постоянной температуры тела; подведение катетера к бедренной вене для поддержания постоянной анестезии; подключение к аппарату искусственной вентиляции легких через трахеостому; подключение к авторскому лабораторному макету «СВР», разработанному по методу ЭКГ СВР [3; 4], и контрольному устройству; проведение левосторонней торакотомии и рассечение перикарда для обеспечения доступа к левой коронарной артерии. Затем, после проведения под артерию лигатуры, формируется окклюдер, с помощью которого в дальнейшем производится моделирование ишемии [5].

По окончании подготовительных работ начинается второй этап эксперимента – «Стабилизация» (см. рис.1, а), на котором происходит восстановление показателей гемодинамики подопытного животного после хирургических вмешательств и воздействия наркоза. На этом этапе миокард еще находится в состоянии нормы (без патологических изменений). По истечении необходимого времени (в зависимости от лабораторного животного) производится затягивание окклюдера, приводящее к непроходимости потока крови к сердечной мышце. Эти действия являются началом третьего этапа эксперимента – «Ишемия». В конце этого этапа устраняется окклюдер и, следовательно, причина непроходимости, что является началом четвертого этапа – «Реперфузия». По окончании эксперимента животное отправляют на аутопсию для последующего исследования степени поврежденного миокарда.

На протяжении перечисленных выше этапов эксперимента применяется методика съема и регистрации ЭКС СВР (см. рис. 1, б). Она заключается в следующем: с помощью подключенных датчиков-электродов к подопытному животному производится съем, регистрация и запись ЭКС СВР посредством установленных на отдельном металлическом заземленном столике авторского аналого-цифрового лабораторного макета блока «СВР» и ПК, соединенные между собой кабелем передачи данных. Лабораторный макет «СВР» и ПК являются автономными от сети питания 220 В устройствами и имеют отдельные собственные блоки питания на аккумуляторах. Это предотвращает воздействие наводок сетевых помех через данные устройства на регистрируемые ЭКС СВР. Съем и регистрация ЭКС СВР протекает с трех стандартных отведений и соответствующих им двух каналов – низкочастотных (стандартных) и высокочастотных (расширенных). Такая регистрация 6 независимых каналов позволяет получить записи ЭКС как в амплитудном (0,1...10 мВ) и частотном (0,05...100 Гц) диапазонах, так и в расширенных амплитудном (10 нВ...100 мкВ) и частотном (до 2 кГц) диапазонах. С помощью специально разработанного программного обеспечения, написанного на языке программирования *Python*, полученные сигналы отображаются на мониторе ПК и записываются для дальнейшей обработки и хранения полученных данных.

По завершении каждого эксперимента полученные результаты в виде записей ЭКС СВР, необходимых для последующего анализа, сохраняются и заносятся в специально разработанную базу данных (БД). При ее разработке была выбрана компактная локальная система управления базой данных *SQLite* [6], обеспечивающая параллельное считывание данных из БД для одновременной реализации нескольких процессов или потоков. При создании интерфейса используется среда разработки *Qt* [7]. Она предоставляет возможность визуального формирования необходимого интерфейса посредством добавления виджетов на его форму. На рисунке 2 проиллюстрирован разработанный интерфейс базы данных, полученной посредством метода ЭКГ СВР. На нем реализованы кнопки выбора номера необходимого экспе-

римента, а также описание его соответствующего этапа. Добавлены кнопки переключения между вариантами данных, например, осциллограммами ЭКС СВР с необходимого канала и отведения или результатами их последующей вторичной обработки. Для удобства восприятия пользователя выведенной информации на интерфейсе организованы две временные шкалы: одна отображает время полной записи сигнала, а вторая – исследуемый временной интервал. Помимо этого, реализованы вертикальные метки, позволяющие выделять интересующий участок сигнала для его более подробного исследования.

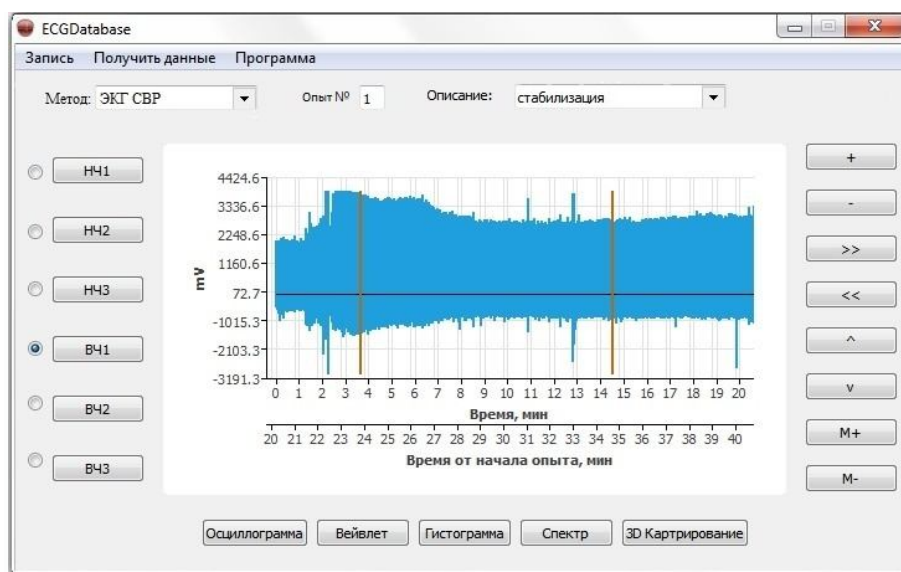


Рис. 2. Интерфейс взаимодействия пользователя с БД

Заключение. Разработанная методика проведения экспериментов по созданию искусственной ишемии сердца у подопытных животных и ее частные методики снятия, регистрации и хранения ЭКС СВР на данный момент успешно применяются на практике в ходе многочисленных серий экспериментальных исследований на подопытных крысах. Это является важным заделом для дальнейшей разработки основополагающей укрупненной методологии функциональной электрокардиографии ишемии миокарда на базе метода ЭКГ СВР. Полученные результаты работы применимы к исследованиям искусственно вызванной ишемии миокарда у любых млекопитающих, что определяет данные методики как универсальные.

Список литературы

1. Зайченко К. В. Радиоэлектронные технологии в электрокардиографии сверхвысокого разрешения для ранней диагностики кардиопатологий // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2014. Т. 57, вып.11. С. 4–14.

2. Application of modern technologies in new ultra high resolution electrocardiography method / K. V. Zaichenko, A. A. Zhmyleva, S. O. Khrapov, E. P. Logachev, B. S. Gurevich // IEEE Xplore library. Proceedings of 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT). Yekaterinburg, 2020. P. 4–7.

3. Радиолокационные методы обработки сигналов при реализации электрокардиографии сверхвысокого разрешения / К. В. Зайченко, А. А. Жмылева, Д. М. Устинова, С. О. Храпов // XIV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ’2020». Владимир: Владимир. гос. ун-т, 2020. Кн. 2. С. 394–398.

4. Медицинские аспекты применения радиолокационных методов обработки сигналов при реализации электрокардиографии сверхвысокого разрешения / К. В. Зайченко, А. А. Кордюкова, Е. П. Логачев, М. Н. Лучкова // Медицинская техника. 2021. № 1. С. 21–24.

5. Кратковременная вентиляция ксеноном в первые минуты реперфузии не защищает миокард крысы от ишемически реперфузионного повреждения / Д. Л. Сонин, Н. И. Енукашвили, Д. В. Королев, М. М. Галагудза // Бюллетень Федерального центра сердца, крови и эндокринологии им. В. А. Алмазова. 2013. Декабрь С. 54–60.

6. Неполное руководство по SQLite для пользователей Windows / перев. А. Г. Пискунов. 8 августа 2018 г. С. 155. URL: <http://docplayer.ru/91351052/> (дата обращения: 02.04.2021).

7. Иванова Г. С. Создание пользовательских интерфейсов в программах на C++ с использованием библиотеки Q. М.: Моск. гос. техн. ун-т им. Н. Э. Баумана, 2011. 52 с.

K. V. Zaichenko¹✉, **A. A. Kordukova¹**

¹ *Institute for Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences (IAI RAS), Saint Petersburg, Russia*

✉ e-mail: kvz235@mail.ru

THE FIRST STAGES OF BASIC AGGREGATED METHODOLOGY OF CARDIAC ISCHEMIA FUNCTIONAL ELECTROCARDIOGRAPHY FOR EXPERIMENTAL STUDIES PERFORMANCE

The paper presents approaches to the development of the first stages of the new author's fundamental enlarged methodology of functional electrocardiography of coronary heart disease in experimental studies on experimental animals based on the use of the ultra-high resolution electrocardiography method.

Keywords: myocardial ischemia; simulation of artificial pathology; ultra-high resolution electrocardiography; experimental studies; databases.

D. V. Primenko¹ ✉, I. E. Chernetskaya¹

¹ Southwest State University, Kursk, Russia

✉ e-mail: 94.dima-primenko777@yandex.ru

MOVING OBJECT TRACKING ALGORITHM

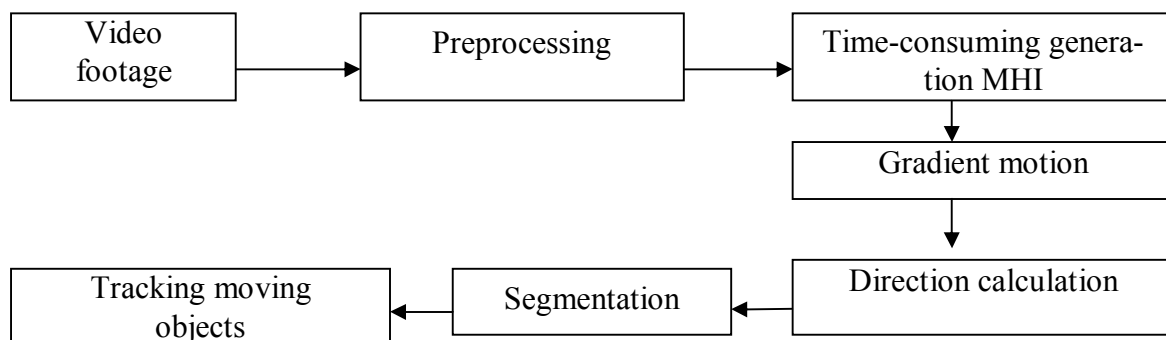
Surveillance systems and video streams are now widely distributed. The video surveillance process is reduced to recording a sequence of frames of the image of the observed scene from the output of the video cameras to media that are either periodically rewritten or stored in video archives. To maximize the use of recorded materials, it is necessary to increase the accuracy and speed of video sequence image processing methods and algorithms in order to achieve noise-resistant detection of moving objects.

Keywords: video image; moving objects; frame digitization.

Currently, video flows are widely used as a means of delivering information about the environment, objects and people, and in a number of different life support systems. The availability of hardware, as well as the performance of the hardware responsible for video signals, is constantly increasing, and this all gives rise to more interest in video surveillance and software for it [1].

At the same time, the most common algorithm for processing a sequence of frames in a video image is the method of segmentation of moving regions in real time with subtraction of the background [2, 3]. An urgent scientific and technical task is to increase the accuracy and speed of video sequence image processing algorithms in order to achieve noise-resistant detection of moving objects. This method has a number of drawbacks, namely, it has slow learning at the beginning of work when processing successive images of noisy media and is not able to distinguish between moving shadows and moving objects [4, 5].

Based on the above drawbacks, an algorithm for tracking moving objects based on image motion history (MHI) and fill gradient motion has been developed. The algorithm shows the segmentation of samples used to select part of the gradient motion.



The main stages of the moving object tracking algorithm are:

Digitizes the frame $C_t(x, y)$

Transformation of the digitized shot to brightness scale $I_t(x, y)$, receiving a shot from the image buffer, where for performance of operation of a difference of shots $I_t(x, y) - I_{t-1}(x, y)$, the result of the image is presented by the following formula:

$$B_t(x, y) = |I_t(x, y) - I_{t-1}(x, y)|$$

The brightness threshold T is applied to the image $B_t(x, y)$ as follows:

$$B_t(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } B_t(x, y) \geq T \\ 0, & \text{if } B_t(x, y) < T \end{cases}$$

The motion history of the MHI image for sequential motion is calculated by the following formula:

$$MHI_\delta(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } B_t(x, y) \geq T \\ 0, & \text{if } B_t(x, y) < T \end{cases}$$

For convolution, the Sobel gradient mask is used:

$$F_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, F_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

With the brightness gradient of the images $F_x(x, y)$ and $F_y(x, y)$ calculated by the nature of the image movement, the brightness gradient for the pixel is obtained:

$$F(x, y) = \arctan \frac{F_y(x, y)}{F_x(x, y)}$$

The calculation for the global direction is as follows:

$$\bar{\phi} = \phi_{ref} + \frac{\sum_{x,y} \text{angDiff}(\phi(x, y), \phi_{ref}) \times \text{norm}(\tau, \delta, MHI_\delta(x, y))}{\sum_{x,y} \text{norm}(\tau, \delta, MHI_\delta(x, y))}$$

where ϕ is the global direction of motion, ϕ_{ref} the angle of incidence, $\phi(x, y)$ the motion of the direction of the circuit taken from the gradient of the improved value $\text{norm}(\tau, \delta, MHI_\delta(x, y))$, $\text{ngDiff}(\phi(x, y), \phi_{ref})$ the minimum angular shift of the direction.

Based on this algorithm, a program has been developed that implements a method of tracking moving objects based on the history of image motion and the movement of the fill gradient. The program allows you to check the operability of the method, as well as conduct computational experiments.

References

1. Anstedt T., Keller I., Lutz H. Video analytics: myths and reality. M.: Sequence Focus, 2012. 176 p.
2. Kilimov M. A., Panishchev V. S. Program module for the elimination of lubricants and defocusing // Medical and environmental information technologies - 2014. Collection of materials of the XVII international scientific and technical conference dedicated to the 50th anniversary of Southwest State University. Kursk, 2014. P. 103–105.
3. Panishchev V. S., Shirabakina T. A., Arkhipov A. E. Device for entering and preprocessing images of road signs // Sensors and information converters of measurement, control and control systems. «Sensor-2003». Nuremberg, Germany, 2003. P. 186–188.
4. Dudarev V. A. Metody raspoznavaniya obrazov v komp'yuternom konstruirovanii neorganicheskikh soedinenij. M.: Sinergiya, 2014. 793 с.
5. Aguera F., Aguilar F. J., Aguilar M. A. Using texture analysis to improve per-pixel classification of very high-resolution images for mapping plastic greenhouses // ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. 2008. Vol. 63. С. 635–646.

УДК 640.422-094

Георг Кесаобака Веду¹ ✉

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

✉ e-mail: kesaobaka.george98@com

ПРИМЕНЕНИЕ АНТИОКСИДАНТОВ ПРИ ЛЕЧЕНИИ МУЖСКОГО БЕСПЛОДИЯ

В статье обсуждается эффективность приема антиоксидантов в качестве пищевой добавки и в качестве примера привыкания с помощью процедур ВРТ, источники антиоксидантов, роль антиоксидантов в лечении мужского бесплодия, различные симптомы и причины мужского бесплодия.

Ключевые слова: антиоксиданты; окислительный стресс; мужское бесплодие; активный кислород спермы.

По данным Всемирной организации здравоохранения, бесплодие – это неспособность пары достичь зачатия или довести беременность до срока после года или более регулярного незащищенного полового акта. Бесплодие – это проблема, с которой сталкиваются многие пары, почти или примерно

15% всех пар страдают от этого. Мужское бесплодие (любая проблема со здоровьем у мужчины, которая снижает вероятность того, что его партнерша забеременеет) является единственным или способствующим фактором в половине этих случаев. Мужское бесплодие в основном связано с дефицитом спермы, и качество спермы используется в качестве суррогатной меры мужского бесплодия.

Мужчины с бесплодием имеют более высокий уровень активных форм кислорода в сперме (АФК), чем фертильные мужчины. Высокий уровень спермы (АФК) может вызвать такие проблемы, как дисфункция сперматозоидов, повреждение ДНК сперматозоидов и снижение мужского репродуктивного потенциала. В связи с этим он побудил медицинские организации, клиники лечить бесплодного мужчину добавками антиоксидантов.

Антиоксиданты – это искусственные или природные вещества, которые могут предотвратить или задержать некоторые виды повреждения клеток. Антиоксидантные добавки содержат концентрированные формы антиоксидантов, которые являются веществами, стабилизирующими свободные радикалы, вырабатываемые организмом при физических упражнениях или переваривании пищи. Свободные радикалы вносят свой вклад в патогенез мужского бесплодия. Они представляют собой группу высокореактивных химических молекул с одним или несколькими неспаренными электронами, которые могут окислительно модифицировать молекулы, с которыми они сталкиваются. Реагируя почти сразу с любым веществом в окружающей их области, они начинают цепочку, ведущую к повреждению клеток (Warren et al., 1987). Для поддержания нормальных функций клеток избыток АФК должен постоянно инактивироваться антиоксидантами семенной плазмы.

Природные антиоксидантные ферментные системы включают каталазу, глутатионпероксидазу и супероксиддисмутазу (Baker et al., 1996). Когда избыток свободных радикалов подавляет антиоксидантную защиту мужского репродуктивного тракта, возникает окислительный стресс (ОС), который повреждает клетки, ткани и органы. Семенная ОС отрицательно коррелирует с концентрацией, подвижностью и функцией сперматозоидов, что отрицательно влияет на события слияния, необходимые для оплодотворения (Aitken & Clarkson, 1987; Aitken et al., 1989; Sharma & Agarwal, 1996; Sikka, 2001). АФК могут способствовать апоптозу: процессу, при котором организм удаляет старые и стареющие клетки, что приводит к снижению концентрации сперматозоидов. Уровни каспазы, протеазы, участвующей в этом процессе, коррелируют с уровнем АФК, вовлекающих ОС в повышенный апоптоз у зрелых сперматозоидов.

В исследовании дается всестороннее описание различных источников АФК, репродуктивных эффектов чрезмерного АФК и окислительного стресс-

са, а также возможных методов лечения дисбаланса АФК с использованием антиоксидантов, продуктов питания и диетических режимов для улучшения мужского бесплодия [1; 2; 3]. Антиоксиданты, особенно селен и цинк, омега-3 жирные кислоты, CoQ10 и карнитины оказывают положительное влияние на качество спермы и, следовательно, могут помочь улучшить качество мужской спермы и фертильность. Однако чрезмерное потребление антиоксидантов может быть вредным для функции сперматозоидов и многие безрецептурные добавки не доказаны научно для улучшения фертильности [4; 5]. Сбалансированная диета может быть долгосрочным и безвредным решением, т. к. использует синергию нескольких антиоксидантов.

Список литературы

1. WHO manual for the standardized investigation, diagnosis and management of infertile male / P. J. Rowe, F. H. Comhaire, T. B. Hargreave [et al.]. Cambridge, Cambridge University Press, 2000.
2. Best practice policies for male infertility / I. D. Sharlip, J. P. Jarow, A. M. Belker [et al.] // *Fertil Steril*. 2002. Vol. 77. P. 873–882.
3. Taymour Mostafa. Cigarette smoking and male infertility // *Int. J. Androl*. 1996. Vol. 19. P. 323–37.
4. Sperm morphological defects related to environment, lifestyle and medical history of 1001 male partners of pregnant women from four European cities / J. Auger, F. Eustache, A. G. Andersen [et al.] // *Human Reproduction*. 2002. Vol. 16, is. 12. P. 2710–7.
5. Kenkel S., Rolf C., Nieschlag E. Occupational risks for male fertility: an analysis of patients attending a tertiary referral center // *Int. J. Androl*. 2001. Vol. 24, is. 6. P. 318–326.

George Kesaobaka Wedu¹ ✉

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

✉ e-mail: kesaobaka.george98.com

THE USE OF ANTIOXIDANTS IN THE TREATMENT OF MALE INFERTILITY

This article explores the efficiency of antioxidants intake as a dietary supplement and as an example addictive through ART procedures, the sources of antioxidants, the role of antioxidants in the treatment of male infertility, various symptoms and causes of male infertility.

Keywords: antioxidants; male infertility; oxidative stress; semen reactive oxygen.

УДК 616-008.9-092

А. С. Ильина¹ ✉

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

✉ e-mail: anna_ilina16092001@mail.ru

ВЛИЯНИЕ МЕТАБОЛИЧЕСКОГО СИНДРОМА И САХАРНОГО ДИАБЕТА НА СЕКСУАЛЬНОЕ ЗДОРОВЬЕ МУЖЧИНЫ

Метаболический синдром – это неуклонно прогрессирующий процесс, включающий ожирение, инсулинорезистентность, нарушение системы гемостаза, а также многочисленные проблемы мужской репродуктивной системы. Вызванный метаболическим синдромом сахарный диабет также же влияет на сексуальное здоровье мужчины, включая эректильную дисфункцию гипогонадизм и эякуляторную дисфункцию.

Ключевые слова: метаболический синдром; сахарный диабет; заболевания; сексуальное здоровье.

Метаболический синдром (МС) – это комплекс изменений, связанный с нарушением обмена веществ. В связи с этим гормон инсулин перестает восприниматься клетками и не выполняет свои функции. В таком случае развивается инсулинорезистентность или нечувствительность к инсулину, что приводит к нарушению усвоения клетками глюкозы, а также патологическим изменениям всех систем и тканей.

Метаболический синдром не считается отдельным заболеванием. Это состояние, когда организм одновременно страдает от четырех болезней: гипертонии; ожирения; ишемической болезни сердца; сахарного диабета 2-го типа. Этот комплекс заболеваний приводит к очень тяжелым последствиям: атеросклерозу сосудов, снижению потенции и поликистозу яичников, инсульту и инфаркту.

Мужчины, у которых был выявлен метаболический синдром, могут страдать заболеваниями, которые влияют на его сексуальное здоровье. К ним относят:

- нейропатию; из-за плохого обмена веществ в течение длительного времени развивается нейропатия – поражение нервных окончаний половых органов;
- ангиопатию; циркуляция крови нарушается, меняется тонус сосудов, кровь не доходит в нужном количестве до половых органов;
- психологический фактор; МС вызывает депрессию, раздражительность, понижает депрессию; эти психологические факторы также способствуют развитию сексуальных проблем;

– снижение половых гормонов; при МС понижается свободный и общий тестостерон за счет накопления кетоновых тел.

Диабет – хроническое заболевание, когда организм не может вырабатывать достаточное количество инсулина или не воспринимает его должным образом, одно из последствий метаболического синдрома. Заболевание характерно как для мужчин, так и для женщин, но, в отличие от последних, представители сильного пола подвержены заболеванию чаще. Сахарный диабет у мужчин бьет изначально по потенции. Симптомы данной болезни у мужчин характеризуются в большинстве случаев преждевременным семяизвержением, расстройством полового влечения, отсутствием эякуляции и оргазма. У мужчин фертильность напрямую зависит от уровня заболевания и его протекания. Как показали последние исследования [1; 2; 3], сахарный диабет существенно воздействует на репродуктивную функцию у мужского пола.

У мужчин, болеющих сахарным диабетом, обычно развиваются такие сексуальные расстройства, как эректильная дисфункция и гипогонадизм.

Эректильная дисфункция – это неспособность в течение 6 и более месяцев достижения или поддержания эрекции полового члена для удовлетворительных половых отношений. Эректильная дисфункция может сочетаться со снижением полового влечения, уменьшением количества спермы и невозможностью достижения оргазма. Эректильная дисфункция у мужчины с сахарным диабетом встречается довольно часто. Сахарный диабет отрицательно влияет на состояние нервных окончаний гладкой мускулатуры полового члена, нарушая его нормальную эрекцию и провоцируя серьезную проблему.

Гипогонадизм – это синдром, для которого характерна недостаточная функция половых желез. При сахарном диабете этот симптом появляется из-за потери веса в связи с длительным и тяжелым протеканием диабета. После компенсации диабета половая функция может полностью восстановиться.

Эякулярная дисфункция – одна из сексуальных проблем, возникающая у мужчин с сахарным диабетом, это уменьшение количества спермы (ретроградная эякуляция). Сперма возвращается обратно. Эякуляторная дисфункция, если ее не лечить, может привести к бесплодию.

Список литературы

1. Маколкин В. И., Напалков Д. А. Метаболический синдром: современные представления. М.: Миклош, 2012. 110 с.
2. Дедов И. И., Шестакова М. В. Сахарный диабет. М.: Универсум Паблшинг, 2003. 455 с.
3. Адашева Т. В., Демичева О. Ю. Метаболический синдром – основы патогенетической терапии // Лечащий врач. 2003. № 10. С. 24–28.

S. Ilina¹ ✉

¹ Southwest State University, Kursk, Russia

✉ e-mail: Anna_ilina16092001@mail.ru

IMPACT OF METABOLIC SYNDROME AND DIABETES MELLITUS ON MALE SEXUAL HEALTH

Metabolic syndrome (MS) is a steadily progressive process that includes obesity, insulin resistance, impaired hemostasis, as well as numerous problems of the male reproductive system. Diabetes mellitus caused by metabolic syndrome also affects male sexual health, including erectile dysfunction, hypogonadism and ejacular dysfunction.

Keywords: metabolic syndrome; diabetes mellitus; diseases; sexual health.

УДК 681.3

Е. Н. Коровин¹, В. А. Полукарова¹ ✉, М. А. Сергеева¹

¹ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Россия

✉ e-mail: povial98@mail.ru

МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В ПРОТИВОТУБЕРКУЛЕЗНОМ ДИСПАНСЕРЕ

Статья посвящена организации обслуживания населения в противотуберкулезном диспансере КУЗ ВО «Борисоглебский противотуберкулезный диспансер» с использованием новой методики, а именно системы массового обслуживания.

Ключевые слова: противотуберкулезный диспансер; система массового обслуживания; канал обслуживания; поток заявок; поток обслуживания.

Введение. Туберкулез (чахотка, ТБ) – инфекционное заболевание, вызываемое микобактериями туберкулеза – палочками Коха. Без правильного лечения ТБ может привести к длительной потере трудоспособности, инвалидности и смерти.

Противотуберкулезный диспансер (ПТД) – специализированная лечебно-профилактическая медицинская организация (ЛПМО), основная цель работы которой – снижение инфицированности, болезненности, заболеваемости и смертности от туберкулеза.

Деятельность ПТД можно представить схематично, создав структурную модель, т. е. описав его организационную структуру, построив модель состава и связей между элементами системы, что, в свою очередь, поможет формализовать процесс функционирования ПТД.

Целью работы является организация обслуживания населения противотуберкулезного диспансера с использованием системы массового обслуживания.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить комплекс взаимосвязанных задач, а именно:

- построить структурную модель деятельности ПТД;
- создать СМО ПТД.

Наиболее удобным языком моделирования бизнес-процессов является IDEF0 – методология функционального моделирования, предписывающая построение иерархической системы диаграмм [1; 2].

Контекстная диаграмма деятельности КУЗ ВО «Борисоглебский противотуберкулезный диспансер» представлена на рисунке 1.

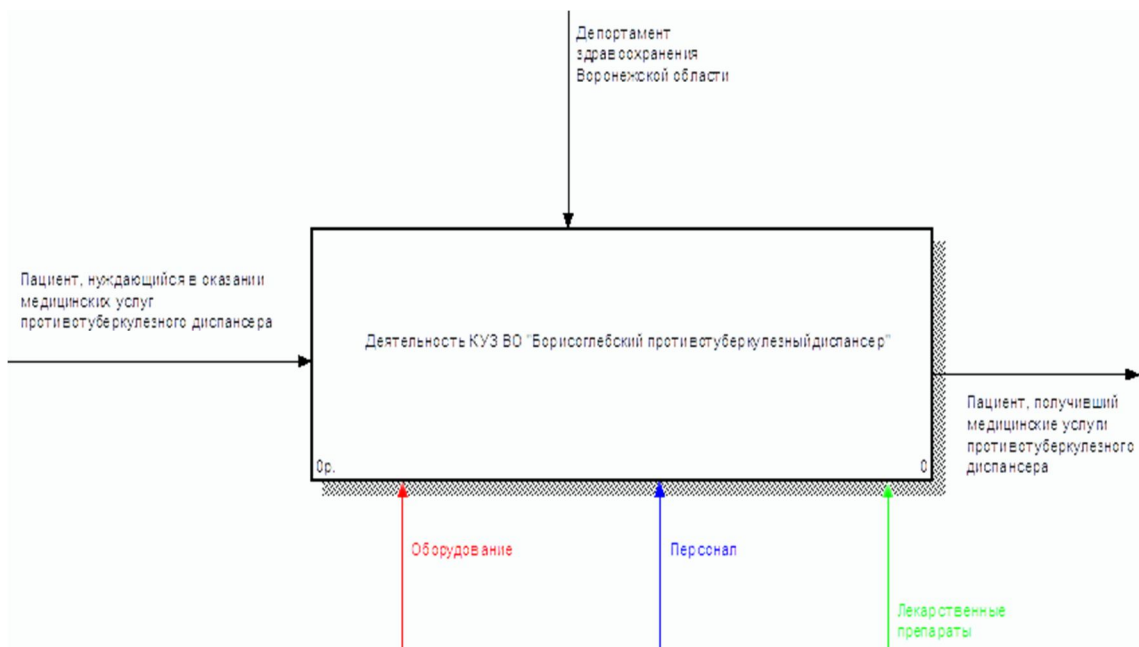


Рис. 1. Контекстная диаграмма деятельности КУЗ ВО «Борисоглебский противотуберкулезный диспансер»

Контекстная диаграмма описывает функцию верхнего уровня, ее входы, выходы, управление и механизмы. Стрелки на этой диаграмме отображают связи объекта моделирования с окружающей средой [3; 4].

В данном случае входом для диаграммы являются пациенты, нуждающиеся в оказании медицинских услуг ПТД. На выходе оказываются пациенты, получившие медицинские услуги противотуберкулезного диспансера. Управление осуществляет Департамент здравоохранения Воронежской области. Механизмами являются оборудование, персонал и лекарственные препараты.

Диаграмма декомпозиции деятельности КУЗ ВО «Борисоглебский противотуберкулезный диспансер» представлена на рисунке 2. На данной диаграмме видно, что основными функциональными блоками деятельности противотуберкулезного диспансера являются:

– деятельность поликлинического отделения – поступившие в него пациенты нуждаются в оказании медицинских услуг ПТД, получив которые пациенты покидают медицинскую организацию либо направляются в стационар;

– деятельность стационара – сюда попадают пациенты, направленные из поликлинического отделения фтизиатром или пульмонологом; пройдя необходимое лечение, пациента выписывают, он покидает ПТД.

Управление каждым из вышеперечисленных функциональных блоков осуществляет администрация, отдающая распоряжения и приказы в вышеописанные блоки, от этих же блоков она получает отчеты (вход блока деятельности администрации).

Механизмами данных блоков являются оборудование и персонал, лекарственные препараты же поступают только в стационар [5].

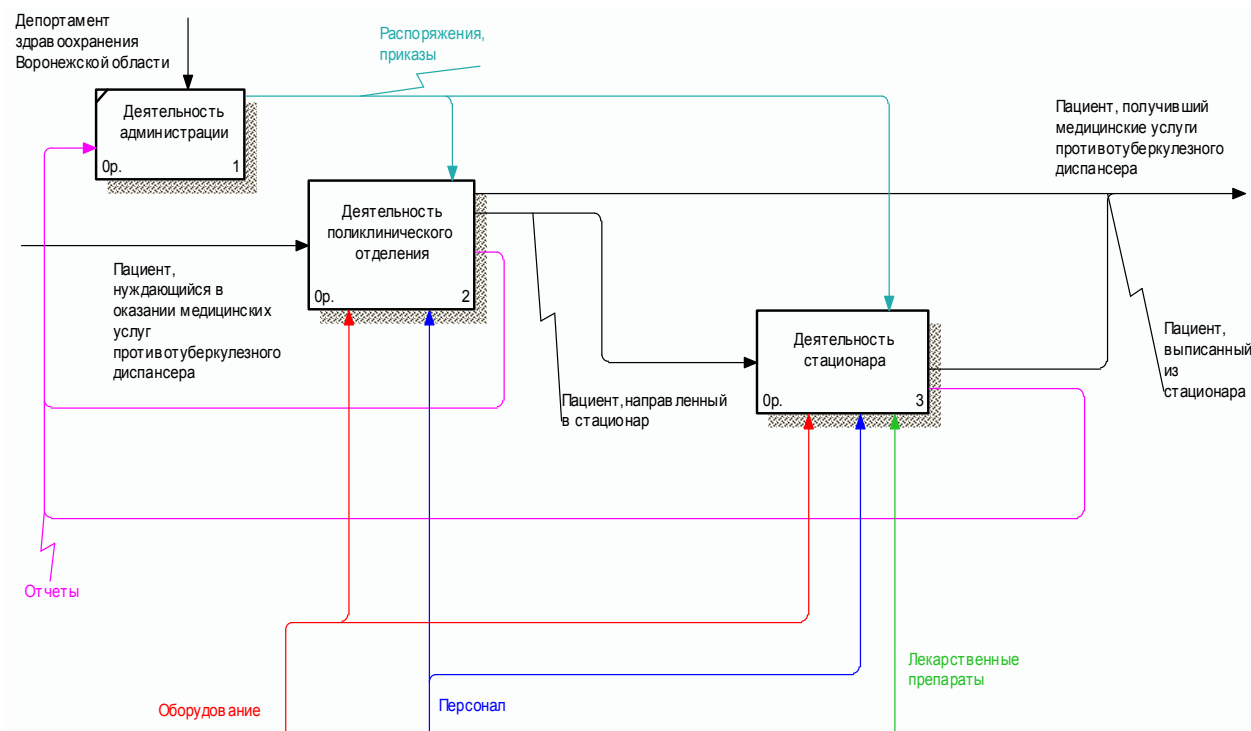


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции деятельности КУЗ ВО «Борисоглебский противотуберкулезный диспансер»

Диаграмма декомпозиции деятельности поликлинического отделения КУЗ ВО «Борисоглебский противотуберкулезный диспансер» приведена на рисунке 3.

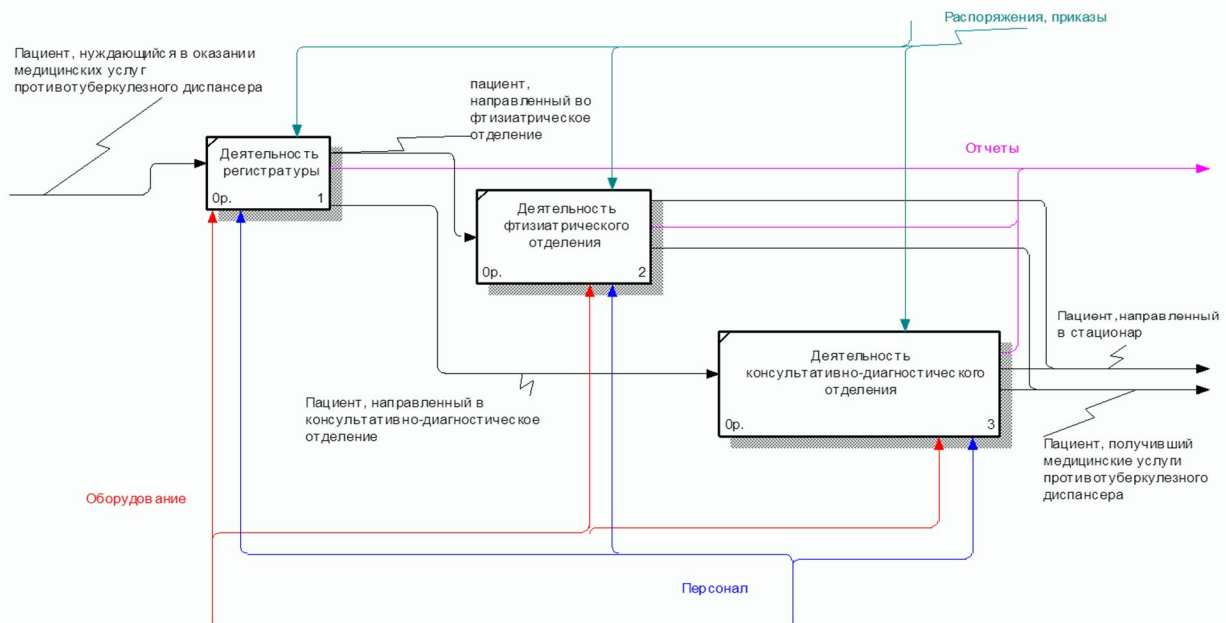


Рис. 3. Диаграмма декомпозиции деятельности поликлинического отделения КУЗ ВО «Борисоглебский противотуберкулезный диспансер»

На данной диаграмме видно, что основными функциональными блоками деятельности поликлинического отделения являются:

– деятельность регистратуры – прежде, чем попасть на прием к фтизиатру во фтизиатрическое отделение или к пульмонологу в консультативно-диагностическое отделение, пациент, нуждающийся в медицинских услугах противотуберкулезного диспансера, попадает именно в регистратуру;

– деятельность фтизиатрического отделения;

– деятельность консультативно-диагностического отделения.

Пройдя регистрацию, пациент направляется в кабинет фтизиатра или пульмонолога, после чего, получив необходимую медицинскую помощь, он покидает ПТД либо направляется в стационар. Также выходом каждого из функциональных блоков являются сформированные ими отчеты.

СМО – класс математических схем, разработанных в теории массового обслуживания (ТМО) и различных приложениях для формализации процессов функционирования систем, которые по своей сути являются процессами обслуживания. При этом характерным является случайное появление заявок (требований) на обслуживание и завершение обслуживания в случайные моменты времени, т.е. стохастический характер процесса их функционирования.

В любом элементарном акте обслуживания выделяют две основные составляющие: ожидание обслуживания заявкой и собственно обслуживание заявки. На каждый элемент прибора обслуживания Π_i поступают потоки событий: в накопитель заявок на обслуживание H_i поток заявок w_i , на канал обслуживания K_i поток обслуживания u_i .

Поток событий – последовательность событий, происходящих одно за другим в какие-то случайные моменты времени.

Основная задача ТМО – оптимизировать деятельность ПТД – минимизировать простой заявки в очереди, а также потери ресурсов на оказываемое обслуживание.

На прием в регистратуру, находящуюся в поликлиническом отделении ПТД, поступают два потока заявок:

w_1 – поток заявок в отделение регистратуры на бесплатной основе, попадающий в накопитель H_1 и обслуживаемый двумя каналами: K_1 и K_2 ;

w_2 – поток заявок, попадающий в накопитель H_2 , обслуживается каналом K_3 , обозначает платное обслуживание пациентов.

СМО регистратуры поликлинического отделения КУЗ ВО «Борисоглебский противотуберкулезный диспансер» представлена на рисунке 4, СМО поликлинического отделения – на рисунке 5.

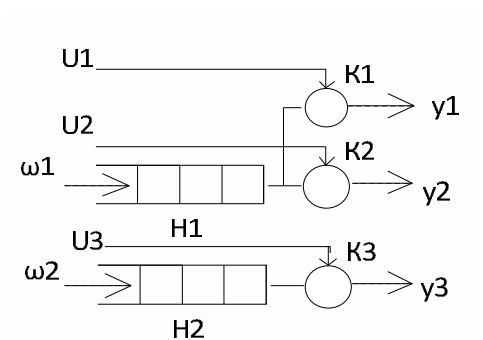


Рис. 4. СМО регистратуры поликлинического отделения: u_1, u_2, u_3 – потоки обслуживания; y_1, y_2, y_3 – пациенты, записанные на прием к врачам в поликлиническое отделение.

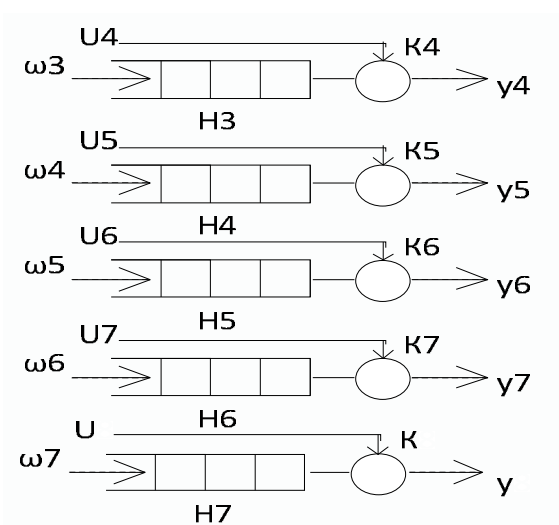


Рис. 5. СМО поликлинического отделения

В логической схеме, представленной на рисунках 6а–6д, показана последовательность движения пациентов внутри ПТД.

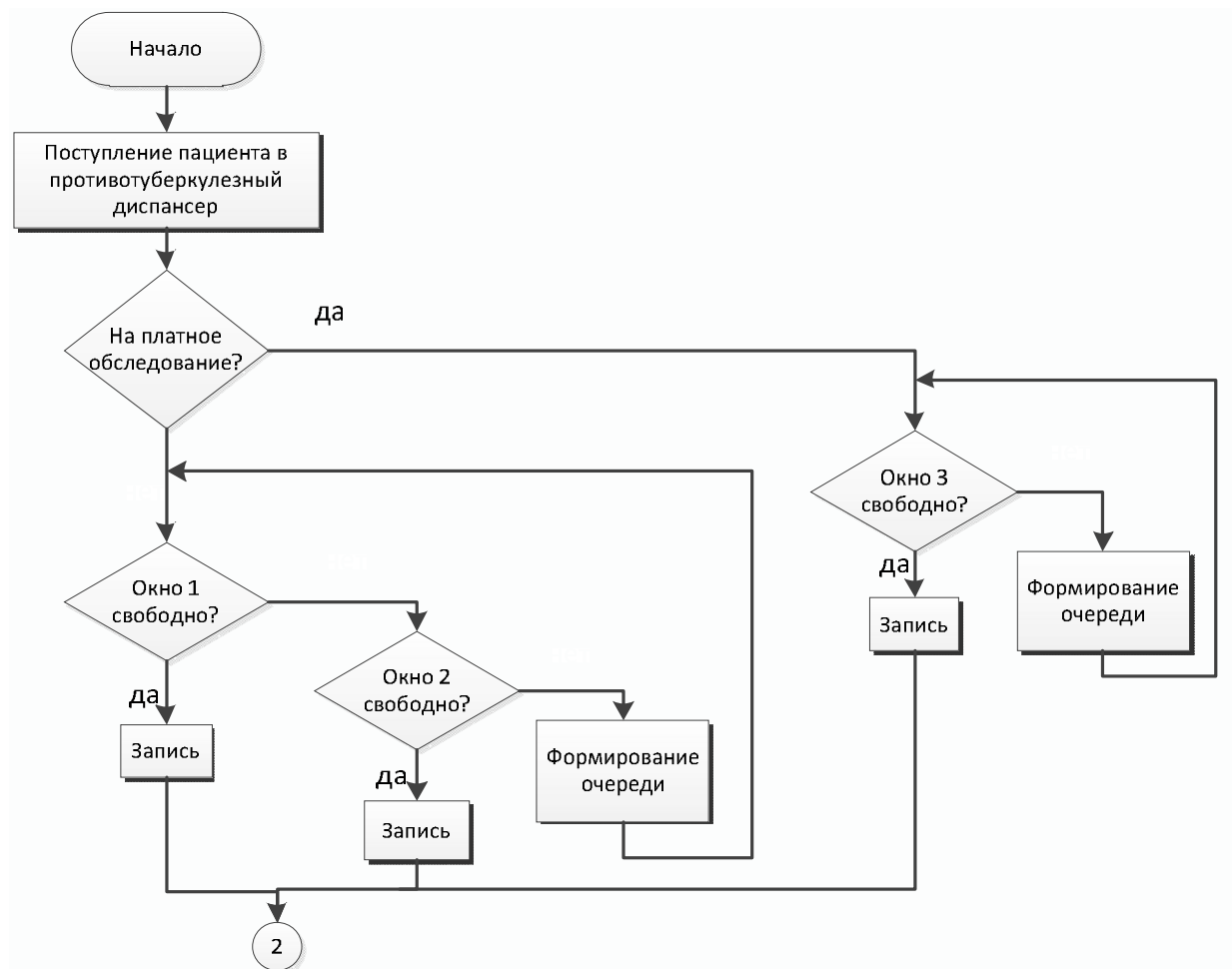


Рис. 6а. Логическая схема движения пациентов в КУЗ ВО «Борисоглебский противотуберкулезный диспансер»

Из приведенной схемы видно, что пациент, поступивший в ПТД, первым делом направляется в регистратуру поликлинического отделения, при этом он может осуществить запись на прием к врачу как в бесплатном отделении регистратуры, так и в платном. Если окно регистратуры свободно, осуществляется запись на прием, в противном случае формируется очередь в регистратуру.

Пациент может записаться на прием во фтизиатрическое отделение или же в консультативно-диагностическое (рис. 6б, 6в). В эти же отделения в дальнейшем направляются полученные результаты диагностических исследований пациента, проведенных в ПТД.

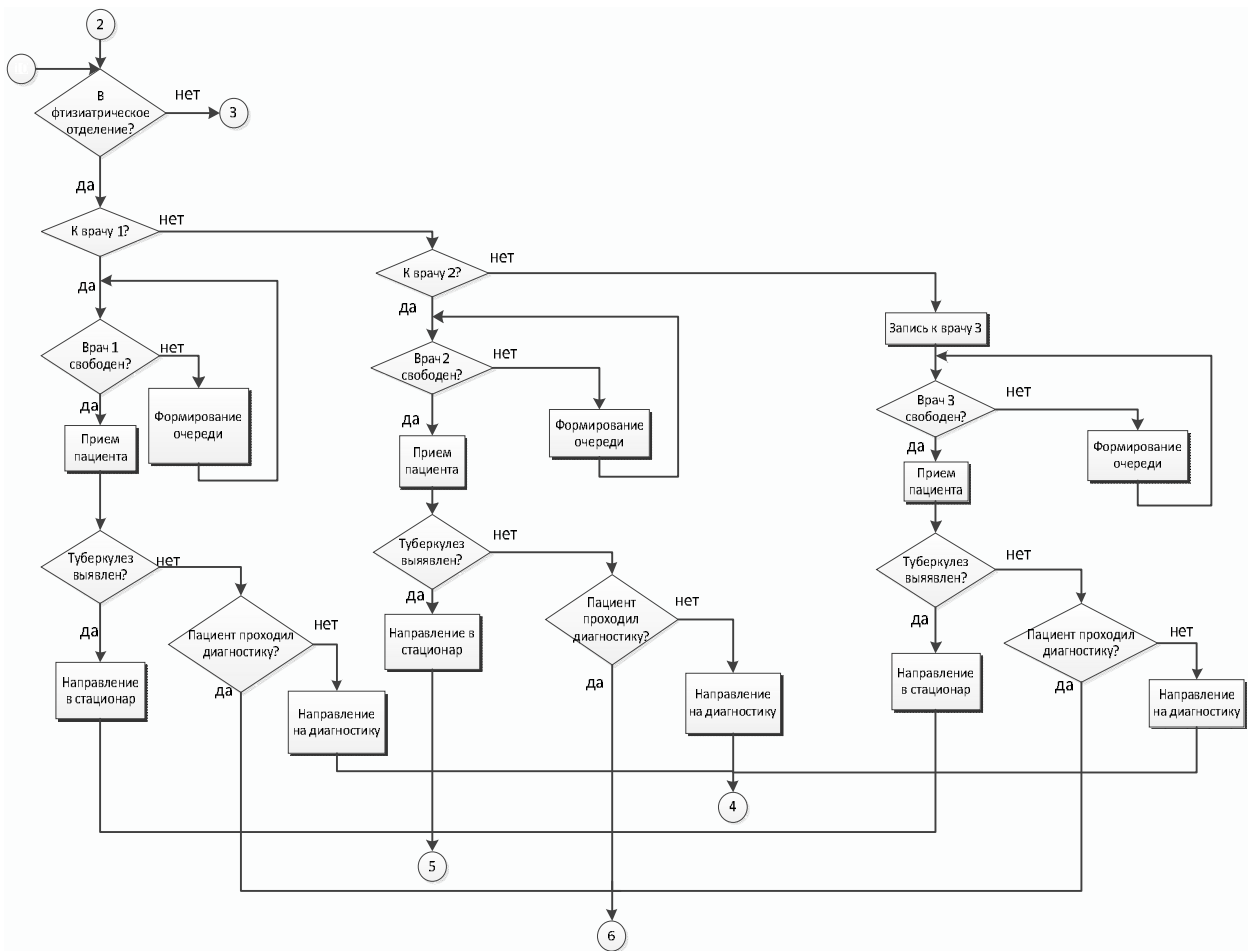


Рис. 6б. Логическая схема движения пациентов в КУЗ ВО «Борисоглебский противотуберкулезный диспансер»

Три врача фтизиатра осуществляют прием пациентов во фтизиатрическом отделении поликлинического отделения ПТД, два пульмонолога – в консультативно-диагностическом отделении. К одному из них направляется пациент. Если врач свободен, осуществляется прием пациента, в противном случае формируется очередь на прием. Если туберкулез выявлен, пациента направляют в стационар, если же нет, то в зависимости от того, проходил ли пациент диагностику на выявление туберкулеза, он либо направляется на диагностику, либо покидает ПТД.

Направленный на диагностику пациент может отправиться в отделение лучевой диагностики, в процедурный кабинет или на ультразвуковое исследование (УЗИ) (рис. 6г).

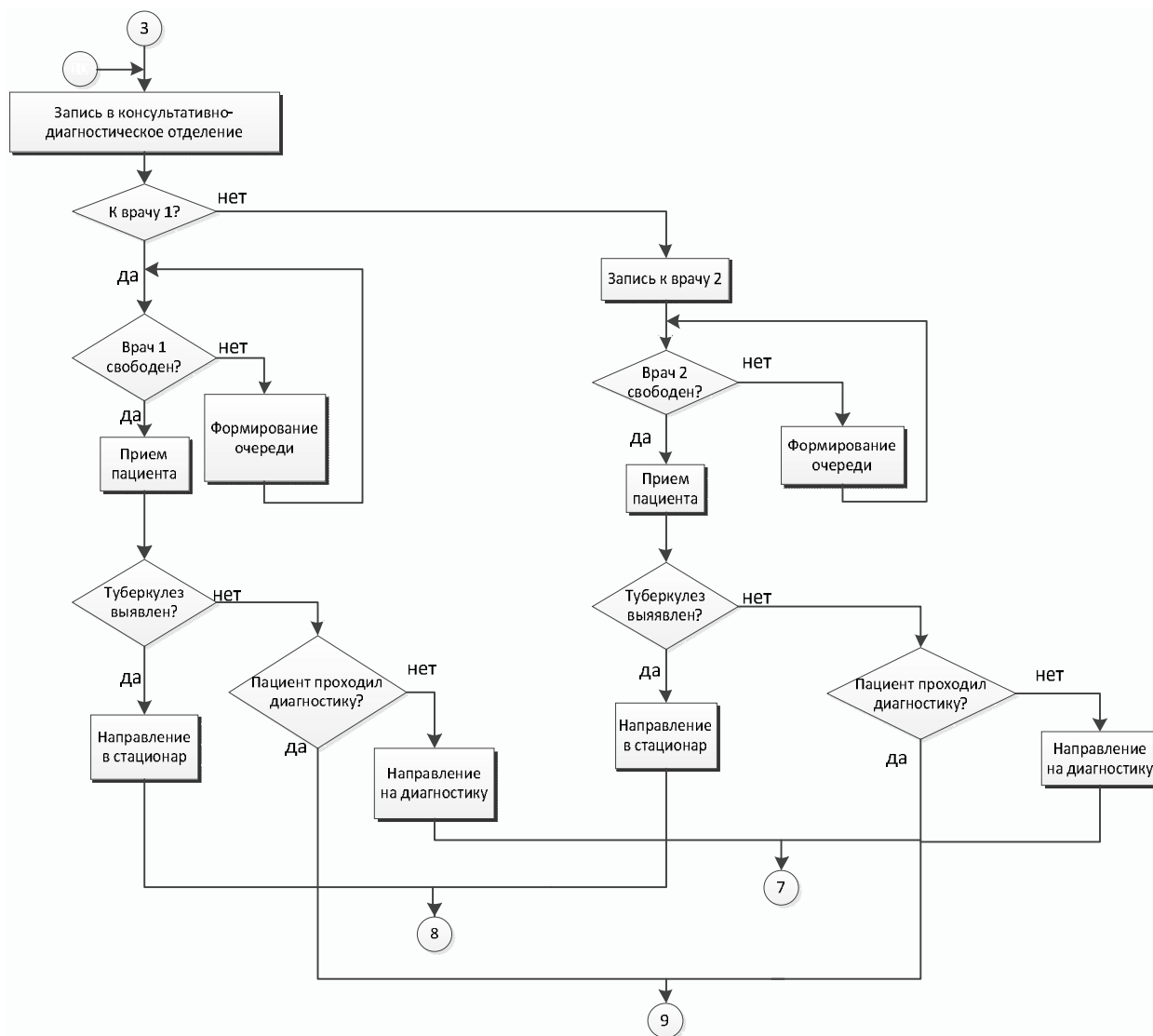


Рис. 6в. Логическая схема движения пациентов в КУЗ ВО «Борисоглебский противотуберкулезный диспансер»

Если пациент направился на УЗИ или в отделение лучевой диагностики, то в зависимости от того, свободен ли кабинет, проводится УЗИ или же рентгеновское исследование, после чего результаты исследований отправляются к лечащим врачам или же формируется очередь в эти кабинеты.

В процедурном кабинете пациента могут направить к одной из двух медсестер (рис. 6д). Если она свободна, осуществляется взятие биоматериала, который может направиться для исследования в одну из двух лабораторий: бактериологическую или же клиническую, если же нет – формируется очередь. Полученные результаты проведенных исследований направляются к лечащему врачу, направившему на диагностику пациента.

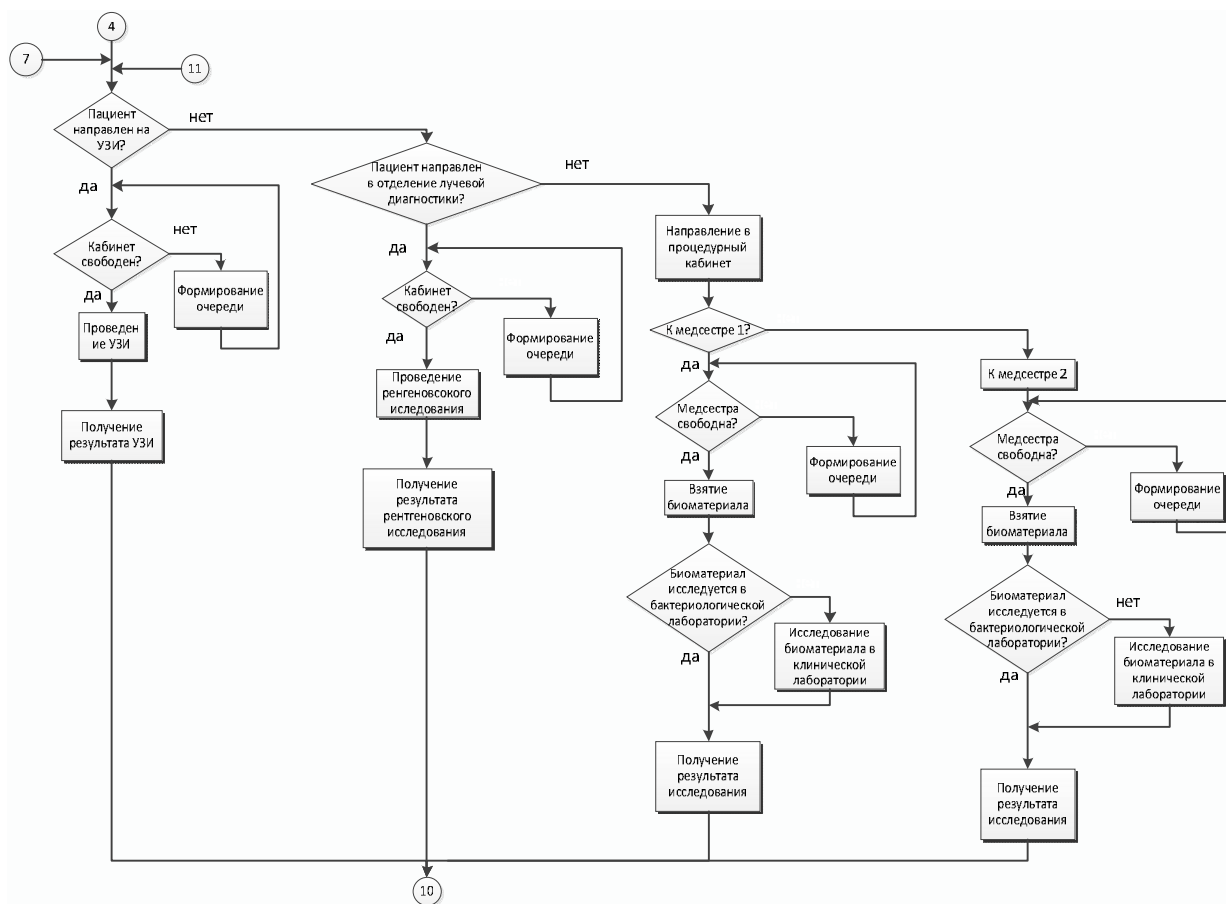


Рис. 6г. Логическая схема движения пациентов в КУЗ ВО «Борисоглебский противотуберкулезный диспансер»

Также на диагностику могут направить пациента из стационара в случае, если ему не помогает назначенное лечение.

Направленный в стационар пациент может поступить в один из трех стационаров: дневной, круглосуточный, стационар на дому. Ему предоставляется койко-место в случае, если есть свободные в стационаре места, в противном случае формируется очередь. В стационаре пациенту назначают лечение, и в случае, если оно помогает, пациента выписывают по окончании лечебного курса, если нет, пациента направляют на повторную диагностику для выявления причин (рис. 6д).

Выводы. В результате выполненной работы была организована деятельность противотуберкулезного диспансера с использованием системы массового обслуживания.

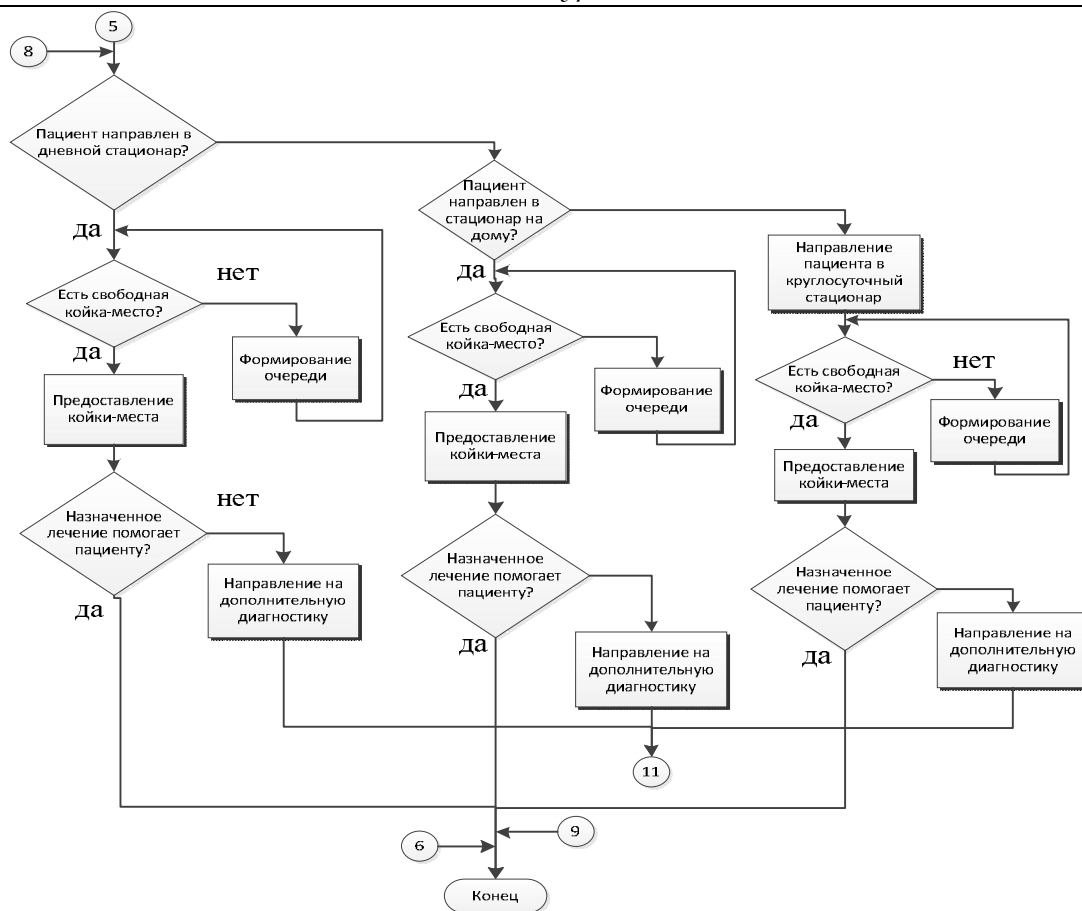


Рис. 6д. Логическая схема движения пациентов в КУЗ ВО «Борисоглебский противотуберкулезный диспансер»

Полученные диаграммы и схемы подробно описывают процессы функционирования противотуберкулезного диспансера и позволяют принимать эффективные решения по оптимизации его деятельности.

Список литературы

1. Новикова Е. И., Родионов О. В., Коровин Е. Н. Моделирование биомедицинских систем. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2008. 196 с.
2. Ложковский А. Г. Теория массового обслуживания в телекоммуникациях. Одесса: ОНАС им. А. С. Попова, 2012. 112 с.
3. Цуканова О. А. Методология и инструментарий моделирования бизнес-процессов. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 100 с.
4. Григорьев Д. И. Моделирование бизнес-процессов предприятия. М.: «ИТ-Экономика», 2008. 246 с.
5. Информационный мониторинг и рациональное управление лечебно-профилактическим процессом на основе маркетинга в многопрофильном стационаре: монография / Е. Н. Коровин, Е. А. Назаренко, Н. Е. Нехаенко [и др.]. Воронеж: ВГТУ, 2011. 140 с.

E. N. Korovin¹, V. A. Polukarova¹ ✉, M. A. Sergeeva¹

¹ Voronezh State Engineering University, Voronezh, Russia

✉ e-mail: Povial98@mail.ru

POPULATION SERVICE PROCEDURE AT ANTITUBERCULOSIS DISPENSARY

The article is devoted to the organization of services for the population in the anti-tuberculosis dispensary of the KUZ VO "Borisoglebsk anti-tuberculosis dispensary" using a new technique, namely, a queuing system.

Keywords: tuberculosis dispensary; queuing system; service request storage; service channel; request flow; service flow.

УДК 573.6+624

A. С. Безродных¹, М. В. Артеменко² ✉

¹ Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Лицей №21», Курск, Россия

² ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

✉ e-mail: artem1962@mail.ru

БИОНИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФУНДАМЕНТОВ

В статье рассматриваются различные виды применяемых в настоящее время свайных фундаментов и корневые системы деревьев, позволяющие последним при значительных нагрузках сохранять общую прочность и устойчивость. В связи с этим предлагается использовать бионические принципы проектирования фундаментов зданий и сооружений. Отмечается, что «корневое подобие» фундаментов позволит использовать их не только как средство опоры, так и в качестве иерархически организованных коммуникационных каналов, в том числе информационных. Приведено пилотное сравнение предлагаемого решения с существующими по результатам испытаний макетов (показано, что устойчивость увеличивается в среднем в 4 раза).

Ключевые слова: бионика; фундаменты зданий и сооружений; экологичность; устойчивость; корневая система дерева.

Из-за разной степени сложности постройки новых архитектурных сооружений требуются новые подходы к устройству свайных фундаментов, особенно в условиях неплотных грунтов и высокой вероятности сейсмических катастроф.

Фундаменты, служащие вместе с грунтами фундаментами зданий и сооружений, прямо или косвенно заимствованы человеком из того, что создано

в природе – опоры живых и неживых ее творений: ног человека или животных, корней растений. Различные виды фундаментов имеют свои аналоги в природе. Интересно посмотреть, как и почему появились те или иные формы опор, их размеры, как они меняются, приспособляются к изменениям в окружающей среде за время существования творений природы, и как человек может использовать находки природы в своей деятельности при проектировании фундаментов и даже зданий и сооружений. Примерами являются столбчатый фундамент, который можно сравнить с ногой человека; плитный фундамент – с лапами водоплавающих птиц; свайный фундамент, по сути, имеет много общего с ногами копытных животных. Теплоизолированный фундамент можно сравнить с лапами белого медведя, стопы которого «подбиты» мехом. Особое внимание уделено корневой системе дерева, которая может считаться идеальным фундаментом. Способность различных деревьев адаптироваться к местности, на которой оно растет, является примером возможного подхода к проектированию рациональных типов фундаментов. В дереве реализован принцип включения в работу под нагрузками самого грунта, окружающего корневую систему. При этом корни как бы «армируют» окружающий грунт, создают из него единую систему, которая и воспринимает действующие на дерево нагрузки. В строительстве такой подход реализуется, например, при устройстве фундаментов или упрочнении грунтов методом геотехногенной системы [1; 2].

Существуют две основные группы фундаментов: мелкого и глубокого заложения.

Фундаменты мелкого заложения устраивают на небольшой глубине, как правило, не больше 3-4 м. Эти фундаменты передают нагрузку от надземной части здания только по подошве фундаментов.

Свайные фундаменты состоят из отдельных свай и ростверка. Ростверк – это жесткая конструкция, собирающая нагрузку от надземной части здания и передающая на отдельные сваи. Свайные фундаменты применяют в следующих случаях:

– когда нагрузки от здания очень большие и площади фундамента не хватает, даже если фундамент располагается под всей площадью здания;

– когда непосредственно под зданием располагаются грунты очень слабые и сильно сжимаемые, тогда сваи прорезают слабые грунты и передают нагрузку на нижележащие, более прочные слои грунта;

– когда на фундамент действует выдергивающая нагрузка (например, в телевизионных и радиомачтах, опорах ЛЭП, котельных трубах); свая за счет бокового трения о грунт сопротивляется намного большему выдергивающему усилию, чем просто собственный вес сваи.

В зависимости от нагрузок, действующих на фундамент, сваи могут располагаться: по одной или небольшими группами (свайными кустами) – под отдельные опоры; в один или несколько рядов – под стеновые конструк-

ции; свайными полями – под здания и сооружения малой площади с значительными нагрузками.

Несмотря на необходимость применения сложного оборудования для устройства свайного фундамента сваи применяются в строительстве уже давно, например, сваи применяли более двух тысяч лет назад для римских деревянных балочных мостов через реки Тибр и Рейн. В России на деревянных сваях строили здания Санкт-Петербурга, который располагается в пойме реки Невы на топких, болотистых грунтах. Широко известно, что знаменитый Исаакиевский собор опирается на 12 130 еловых свай диаметром 26-28 см и длиной до 6,5 м.

Выбор вида свай для фундаментов осуществляется на основании данных инженерных изысканий строительной площадки и является частью работ по проектированию фундамента сооружений.

Иногда перед инженером-строителем стоит задача каким-либо способом повысить несущую способность свай. В строительной практике известны следующие способы, в разы увеличивающие несущую способность свай.

Буронабивные сваи с уширением. Специальным оборудованием разбуривают пяту в основании сваи. Одним из минусов этого способа является то, что не во всех грунтах возможно сформировать расширение заданной формы. Такие сыпучие грунты, как песок, не обладают способностью удерживать обратный уклон стенок уширения даже непродолжительное время.

Буронабивные сваи с камуфлетной пятой устраиваются путем бурения скважины с последующим образованием уширения взрывом и заполнением скважин бетонной смесью. К минусам этого способа можно отнести опасность взрывных работ в общем и особенно в плотной городской застройке.

Буронабивные сваи с уплотненным основанием. После пробуривания ствола скважины заливается небольшое количество бетонной смеси. Затем, при помощи обратного-поступательных движений специального груза, стремятся втрамбовать бетон в стенки и дно скважины, сформировав уширение. Минусы у этого способа следующие: невозможность сформировать уширение в связных грунтах, невозможность производства работ в городской застройке из-за сильных сотрясающих ударов.

Все рассмотренные способы могут сильно увеличить несущую способность отдельной сваи за счет увеличения площади опоры сваи на глубине, в самых прочных слоях грунта. Но имеются и очевидные минусы у каждого из способов, связанные с технологией устройства свай, повышения трудоемкости работ, применением дорогой специализированной техники.

Способы повышения несущей способности свайных кустов и свайных полей. При частом расположении свай в свайных полях и свайных кустах несущая способность грунта по боковой поверхности каждой отдельной сваи теряется, окружающий грунт между сваями не удерживает сваи, а вовлекается в работу фундамента. Такие свайные фундаменты рассчитываются как условный грунтовый массив с глубиной заложения на отметке острия свай.

Способом увеличить несущую способность свайного поля, не увеличивая количества свай и размеров ростверка, является применение наклонных свай.

Наклонные сваи – это фундаментные опоры, забитые в грунт с отклонением от вертикальной оси.

Наклонные сваи позволяют увеличить площадь опирания здания совместно с грунтовым массивом при том же количестве свай.

Корневая система растений как фундамент. С давних времен человек наблюдал за природой, замечая и повторяя повадки животных, способы их охоты. В наше время сформировалась бионика – прикладная наука о применении в технических устройствах и системах принципов организации, свойств, функций и структур живой природы. В природе существует множество растений, способных закрепиться в грунте и расти, несмотря на различные силовые воздействия на них, такие как ветер, снег.

Одними из удивительных растений являются деревья секвойи, вырастающие свыше 100 м в высоту и более 7 м в диаметре. По сути, они являются небоскребами среди деревьев. Растут они на западном побережье Северной Америки, в местах, где нередки ураганы и землетрясения, и должны иметь развитую корневую систему.

Рассмотрим, что придумала природа за сотни миллионов лет эволюции растений.

Корневая система – это совокупность корней одного растения, общая форма и характер корней определяются соотношением роста главного, боковых и придаточных корней.

Корневая система является «фундаментом» дерева (рис. 1).

Стержневая корневая система – корневая система, при которой хорошо выражен главный корень. Данная корневая система характерна для большинства двудольных растений.

Мочковатая стержневая система – корневая система, которая состоит из массы придаточных и боковых корней.

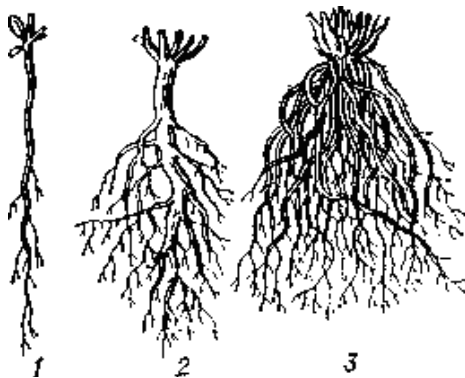


Рис. 1. Виды корневых систем: 1,2 – стержневая; 3 – мочковатая

Таким образом, имеет место гипотеза, что фундамент здания и корневая система растения похожи. Действительно:

- 1) они являются главной составляющей дерева/здания;
- 2) врезаются глубоко в почву;
- 3) зависят от грунта земли;
- 4) они удерживают растение/здание на одном месте;
- 5) сопротивляются ветровому воздействию.

В целом фундамент это и есть корневая система, только для зданий и архитектурных сооружений. Сравним типы корневой системы растений с типами свайных фундаментов. Наиболее похожим аналогом для мочковатой корневой системы будет свайный куст (свайное поле) с наклонными сваями. Наблюдаем:

- большое количество одинаковых корней;
- размеры корневой системы в основании больше, чем у поверхности земли;
- на определенной глубине все корни заканчиваются;
- если растение с мочковатой корневой системой вырвать из земли, грунт останется между корнями, образуя условный грунтовый массив, как у свайного куста (свайного поля).

Наиболее похожим аналогом для стержневой корневой системы являются буронабивные сваи с расширениями внизу. Хорошо видно, что:

- явно выраженный главный стержень у корня растения или ствол скважины у буронабивной сваи;
- уширение, часто незначительное в плане, в виде боковых корней у растений и незначительное уширение в виде пяты у свай;
- уширение находится ближе к основанию корня/сваи, чем к поверхности грунта.

Целью проведения эксперимента по определению несущей способности сваи с элементами «стержневой корневой системы» является сравнение несущей способности сваи без уширения и сваи с уширением по типу стержневой корневой системы у растений. Несущая способность сваи от вертикальных вдавливающих нагрузок определяется как сумма лобового сопротивления грунта основания у основания сваи и боковое трение грунта по стенкам и уширению сваи. Несущая способность сваи от вертикальных выдергивающих нагрузок равна боковому трению грунта по стенкам и уширению сваи. В ходе эксперимента исследовалось сопротивление макетов сваи выдергивающим усилиям (рис. 2).

Макет сваи 1. Возьмём втулку и вверху привяжем верёвочку для крепления безмена.

Макет сваи 2. Возьмём картонную втулку и привяжем верёвку для безмена, как было у первого макета. С помощью шуруповёрта начинаем вкручивать саморезы разной длины у края втулки. Это будет являться имитацией корневой системы.

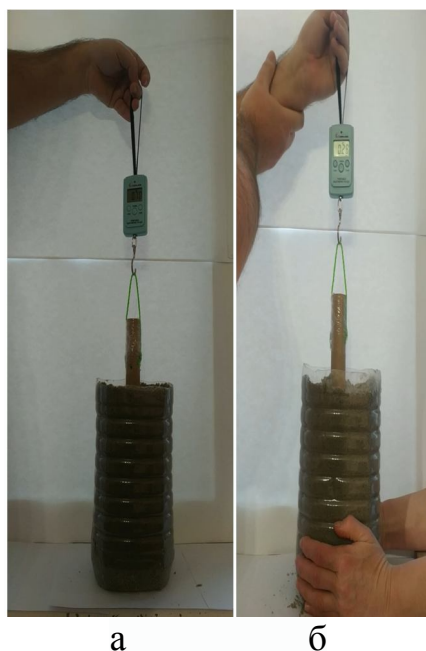


Рис. 2. Макеты сваи 1 (а) и сваи 2 (б)

В экспериментах моделью сыпучего грунта являлся речной песок, утрамбованный в определенной емкости. Полученные данные усилий при выдергивании макетов свай из грунтового основания сведены в таблицу.

Результаты измерений усилий при выдергивании макетов свай из грунтового основания

Показатели	Макет сваи 1	Макет сваи 2
Измерение 1	1,72 кг	8,16 кг
Измерение 2	2,50 кг	8,27 кг
Измерение 3	2,21 кг	7,80 кг
Измерение 4	1,84 кг	8,30 кг
Измерение 5	1,78 кг	7,60 кг
Среднее значение	2,01 кг	8,03 кг

Хорошо видно, что несущая способность сваи с «элементами корневой системы» в 4 раза больше, чем обычной сваи без уширения, т. е. «элементы корневой системы» сваи дают сопротивление в целых 6 кг. Это позволяет сделать следующие выводы:

- 1) свая с уширением в виде элементов корневой системы обладает большей несущей способностью, чем обычная;
- 2) свая с уширением дает большое сопротивление почве;
- 3) одним из преимуществ данной сваи является то, что при минимальной затрате средств мы получаем несущую способность в несколько раз больше.

Список литературы

1. Лушников В. В. Слово о фундаменте, или фундамент здания как аналог опор творений Природы // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2019. № 2. С. 14–25.
2. Пат. 2418931 Рос. Федерация, МПК Е 04 Н 14/00. Техногенноустойчивое биосферное многофункциональное здание / Бритвин Л. Н., Ремизов А. Н. № 2008107729/03; заявл. 03.03.2008; опубл. 20.05.2011, Бюл. №14.
3. Ушанова Е. Д. Архитектурный дискурс в современном контексте человеческого знания: проблемные вопросы архитектурного проектирования городской среды // Научный электронный журнал Меридиан. 2020. № 11. С. 225–227.

A. S. Bezrodnykh¹, M. V. Artemenko² ✉

¹ *Municipal budgetary educational institution " Lyceum №21", Kursk, Russia*

² *Southwest State University, Kursk, Russia*

✉ e-mail: artem1962@mail.ru

BIONIC APPROACH TO FOUNDATION DESIGN

The article discusses various types of currently used pile foundations and tree root systems, which allow the latter to maintain overall strength and stability under significant loads. In this regard, it is proposed to use the bionic principles of designing the foundations of buildings and structures. It is noted that the "root similarity" of the foundations will allow them to be used not only as a means of support, but also as hierarchically organized communication channels, including information. A pilot comparison of the proposed solution with the existing ones based on the test results of the models is given (it is shown that the stability increases on average by 4 times).

Keywords: bionics; foundations of knowledge and structures; environmental friendliness; sustainability; tree root system.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

UDC 004.932.1

A. Y. Konanykhin¹, T. N. Konanykhina¹ ✉

¹ Southwest State University, Kursk, Russia

✉ e-mail: govtn@mail.ru

PROCESSING OF MRI DATA FOR ONCOLOGICAL DISEASES PREDICTION

In the work, data processing algorithms were developed to predict the development of oncological diseases for the purpose of medical diagnostics in order to increase the efficiency and simplify the work with MRI and CT medical images.

Keywords: image processing; segmentation; Magnetic Resonance Image; prediction; detection.

In this paper, the modern principles of processing and working with the image were investigated and applied for a specific task, including the Fuzzy C-means method, which has proven itself in high processing accuracy and processing speed.

For ease of perception and a more understandable work process, we will divide the developed algorithm conditionally into several stages:

- image input and saving data about the received image - here it is necessary to clarify that saving data about the received image was developed and included in order to increase the spectrum of application of the algorithm [1,2];

- image enhancement and filtering. Since there is a need to increase the speed and accuracy of the algorithm, to ensure the speed of the algorithm, it is necessary to initially improve and filter, since it is the image quality with the elements that are not carrying information load that can be cut that allows to increase the speed of the algorithm [3].

Improving images often occurs by adjusting the intensity values, the so-called grayscale levels, pixels. For the most part, image processing software packages provide a certain number of commands, more often several, to vary the appearance of the image by transforming the pixel values using a function that sets the method for replacing the input intensity values with new output data [5]. It is not difficult to upgrade this method so that the operator has the ability to specify N

areas of the image, each of which requires the application of the necessary conversion functions - tone distribution functions [4, 5, 6].

In order to find more accurate results, it was proposed to use a median filter, which is a sort of array of sorted n real numbers, for which the median value is calculated according to the formula:

$$g(x, y) = \sum_{i=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{j=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} H(i, j)f(x + i, y + j)$$

It is possible to use a Gaussian filter, which will be calculated according to the following formula:

$$g(x, y) = A \cdot e \left(- \left(\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2} \right) \right),$$

where A is the pixel distance $[x, y]$ from the central pixel of the neighborhood $[X_c, Y_c]$ [1, 7, 8].

- identification and prediction of the possible development of cancer - in connection with the wide spectrum of application of the algorithm [8], it is necessary to clarify the possibility of the presence of a disease in a particular picture. This is due to an increase in the speed of work and helps to avoid unnecessary costs of computing power.

So, the course of mathematical analysis says that the direction of the gradient vector is equal and has the same direction as the maximum speed for changing the function f at the point (x, y) .

This allows us to formulate the necessary parameter for the detection of contours as a vector module, calculated by the following formula:

$$\nabla f = |\nabla f| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} .$$

In this paper, it was revealed that the parameter is equal to the value of the maximum rate of change of the function at the point, and also that the maximum is located in the direction of the vector. This is enough to conclude that this criterion is also necessary, therefore, it is necessary to calculate it choosing the angle between the direction of the vector and the abscissa experimentally [9, 10, 11].

From this we can conclude that the direction of the desired contour at the point (x, y) is easy to find, since, according to mathematical analysis, it is perpendicular to the gradient vector at the same point.

Due to the fact that the value of the brightness index can be found exclusively at discrete points, it is impossible to find derivatives until the brightness of the differentiable function passes through the indicated points is set.

It was found that derivatives at any single point have brightness functions of all points in the image. However, the approximations of their derivatives can be determined with a greater or lesser degree of accuracy [3,4, 12, 13, 14].

Since the task is to increase the speed of the algorithm, it was proposed to carry out the process of threshold border clipping (Figure 1), which is carried out according to the formula:

$$T_{res} = \sqrt{\frac{1}{M^2} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^M M_s f(x, y)},$$

where it was supposed to take M as the size of the space modules for vertical and horizontal characteristics.

The next step of the segmentation block is to find the connectivity between neighboring pixels by the next formula, during which the summation process goes through all neighboring pairs of pixels [10], formulating the term $V(a, z)$ - responsible for the connectivity between the pixels:

$$V(a, z) = \sum_{(m,n) \in C} \frac{1}{\text{dis}(m, n)} [a_n \neq a_m] \exp(-\beta(z_m - z_n)^2).$$

- Record of work results, storage of identified information.

Here it is necessary to clarify that, since the algorithm was created for widespread use for a number of tasks, it is necessary not only to find and recognize, but also to save information in a structured way in order to further use and simplify the operation of the algorithm (fig., table) with increasing speed.

Probabilities of detection and recognition, frame processing time

Format	800 x 600	1280 x 760	3800 x 2600
Detection probability	98%	93%	90%
Recognition probability	50-65%	70-75%	85-90%
Frame processing time, ms	60-70	120-130	240-280

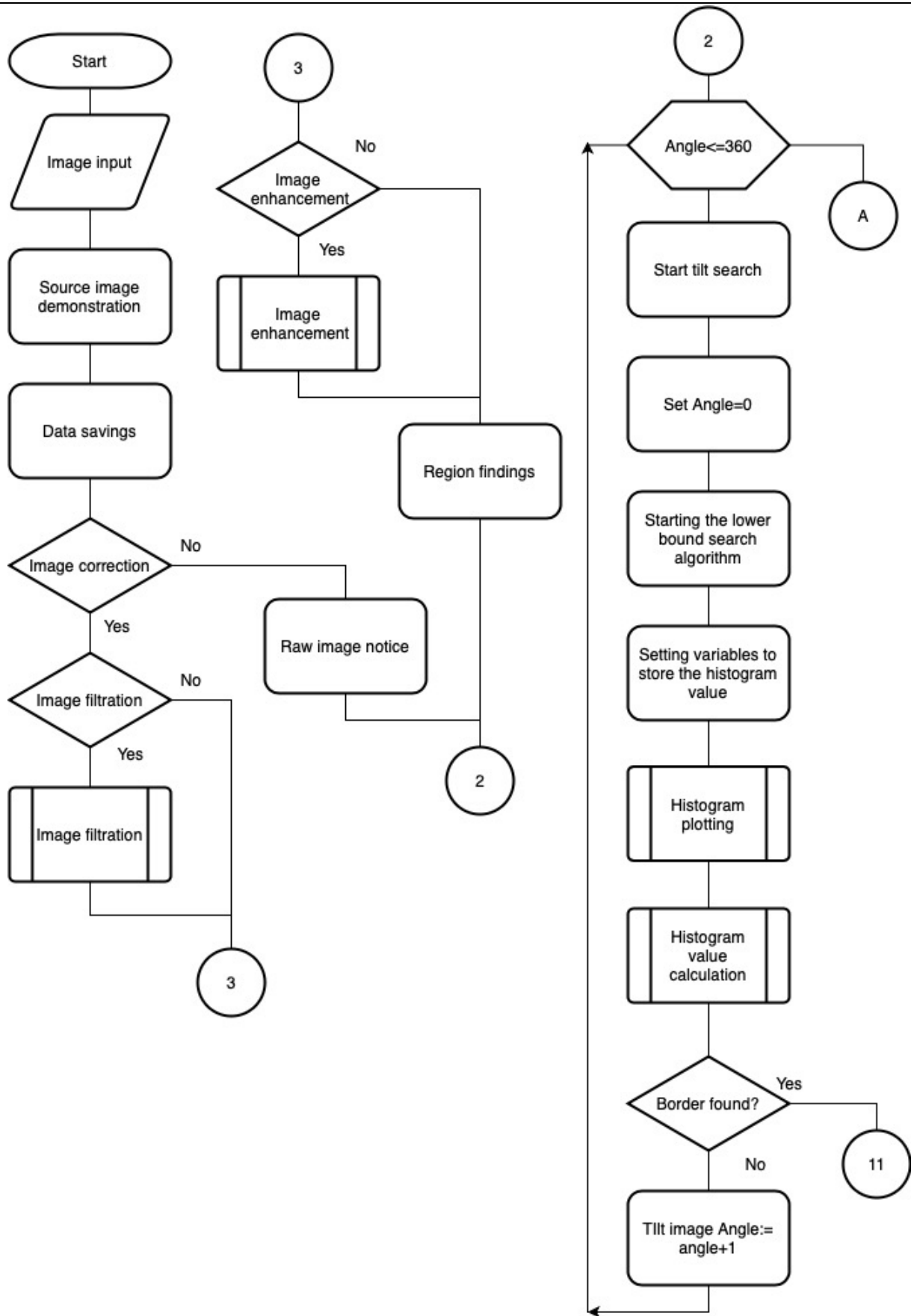


Fig. 1. Image processing algorithm

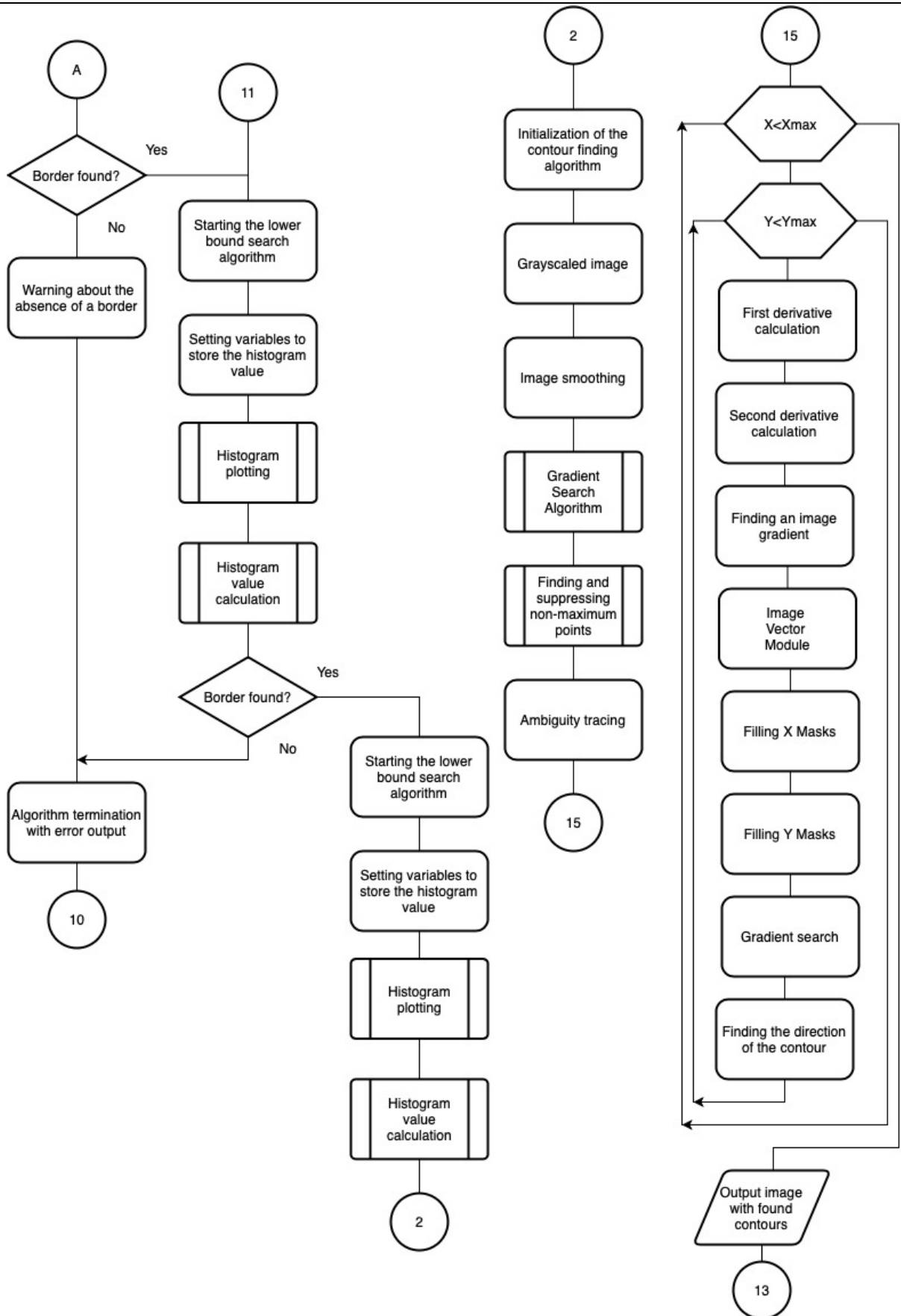


Fig. 1. Image processing algorithm (cont.)

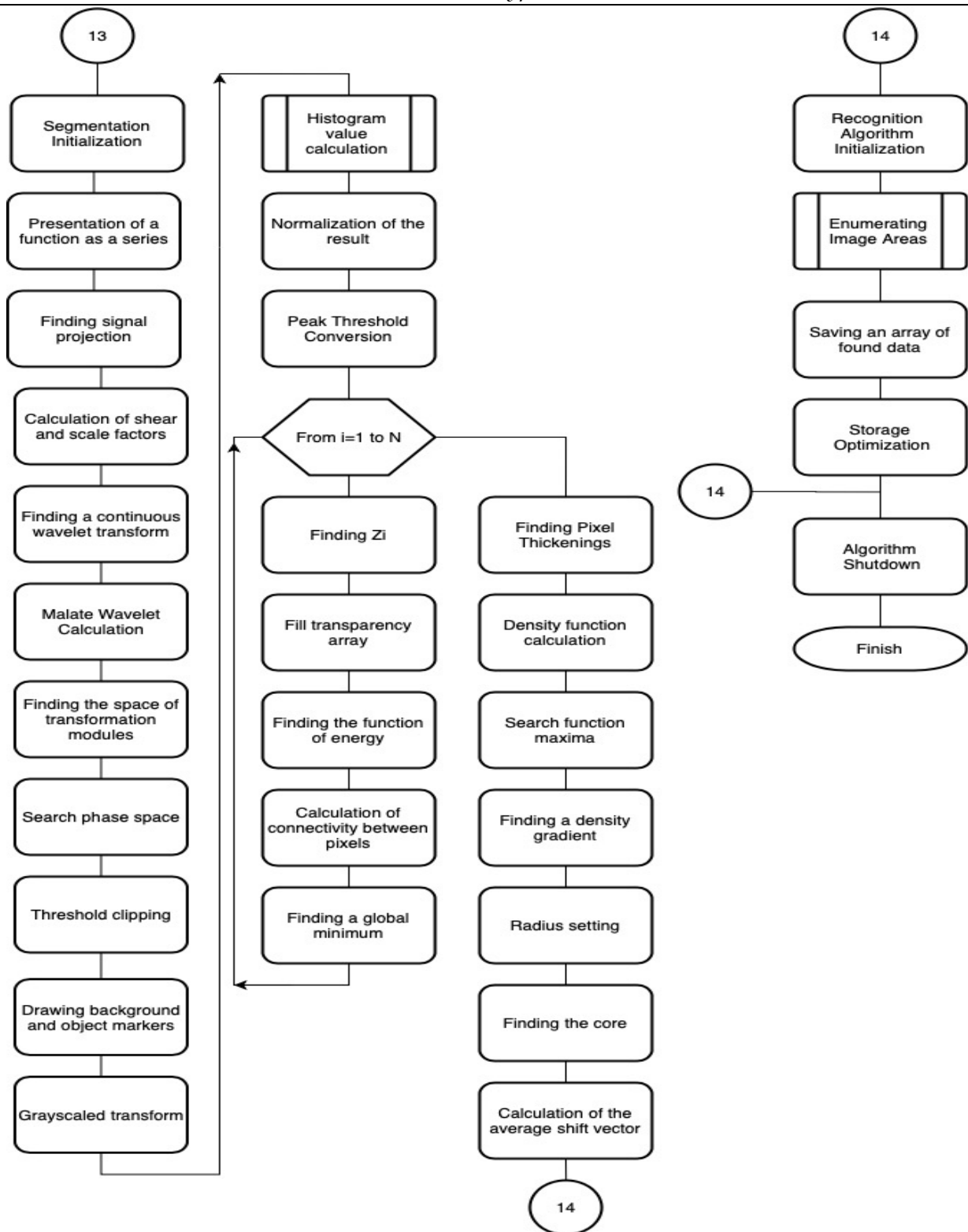


Fig. 1. Image processing algorithm (cont.)

As can be seen from the results obtained, with sufficient image resolution, the developed method makes it possible to detect and recognize the required information with a fairly high probability, however, it depends on the quality of the original image and the number of detected areas being processed.

References

1. Iman Alwan M. G., Jamel M. E. Digital image watermarking using Arnold scrambling and Berkeley wavelet transform // *Al-Khwarizmi Engineering Journal*. 2015. Vol. 12. P. 124–133.
2. The public cancer radiology imaging collections of The Cancer Imaging Archive / F. Prior [et al.] // *Sci. data*. 2017. Vol. 4. P. 170124.
3. Preoperative risk prediction for intraductal papillary mucinous neoplasms by quantitative CT image analysis. HPB / M. A. Attiyeh [et al.] // *Journal of the International Hepato Pancreato Biliary Association In Press*. 2018. Vol. 21, is. 2. P. 212–218.
4. CT radiomics to predict high-risk intraductal papillary mucinous neoplasms of the pancreas / J. Chakraborty [et al.] // *Medical Physics*. 2018. Vol. 45. P. 5019–5029.
5. Rethinking the inception architecture for computer vision / C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe [et al.] // *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2016. P. 2818–2826. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.308>.
6. An algorithm based on deep learning for predicting in-hospital cardiac arrest / J.-M. Kwon, Y. Lee, Y. Lee [et al.] // *J. Am. Heart. Assoc.* 2018. Vol. 7, is. 13. P. e008678.
7. Models of subsystems and purposeful processes implemented in information-logical measurement systems of a distributed type / A. A. Burmaka, N. A. Korenevsky, T. N. Govorukhina, O. A. Terekhova // *Telecommunications*. 2013. No. 8. P. 8–12.
8. Govorukhina T. N., Korenevsky N. A., Terekhova O. A. An approach to evaluating the informative value of the signs of switched signals in a multi-channel information and logic system // *Bulletin of computer and information technologies*. 2013. No. 6 (108). P. 24–27.
9. Burmaka A. A., Govorukhina T. N., Terekhova O. A. A multichannel measuring system with a fuzzy description of its states // *Biomedical radioelectronics*. 2014. No. 9. P. 28–31.
10. Burmaka A. A., Govorukhina T. N., Mikhailov A. V. Models of purposeful processes implemented in telemetric systems // *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2016. No. 1 (18). P. 103–109.
11. Burmaka A. A., Govorukhina T. N., Razumova K. V. System model of recognition and identification of the state of the prostate gland by its ultrasound and TRU images // *High-tech technologies*. 2014. Vol. 15, no. 12. P. 13–20.
12. Burmaka A. A., Tsyplakov Yu. V., Govorukhina T. N. Detection of video signals against the background of additive noise interference with a priori un-

certainty of the characteristics of the input effect // Radio Engineering. 2017. No. 2. P. 47–52.

13. Fuzzy models for assessing the level of ergonomics of technical systems and its impact on the health of a human operator, taking into account the functional reserve of the body / N. A. Korenevsky, S. N. Rodionova, T. N. Govorukhina, M. A. Myasoedova // Modeling, optimization and information technologies. 2019. Vol. 7, no. 1 (24). P. 39–53.

14. Artemenko M. V., Kalugina N. M., Dobrovolsky I. I. The formation of a set of informative features based on the functional relationships between the data structure field observations // European Journal of Natural History. 2016. Vol. 6. P. 43–48.

УДК 004.032.26

Е. П. Логачев¹✉, К. А. Гросберг¹

¹ Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург, Россия

✉ e-mail: kvz235@mail.ru

МЕТОДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ЭЭГ-ДАННЫХ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА И ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

В работе рассмотрены методы, применяемые для автоматизации обработки данных ЭЭГ-сигналов при исследовании вызванных потенциалов, а также их особенности. Предложен подход к технической реализации метода, основанного на базе нейронной сети без учителя.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма; вызванные потенциалы; биосигнал; диагностика; центральная нервная система; нейронная сеть.

Введение. Биомедицинский сигнал – проявление физиологической деятельности организма, которое возможно зарегистрировать и представить в удобной для представления и необходимой дальнейшей обработки форме (в виде величин напряжения или тока). Регистрация биоэлектрических сигналов в медицине служит мощным инструментом для диагностики развития патологий или нормального состояния у пациентов. Наиболее распространенным диагностическим методом регистрации и обработки сигналов, обусловленных биоэлектрической активностью головного мозга (ГМ) и центральной нервной системы (ЦНС), является электроэнцефалография (ЭЭГ).

В связи с тем, что человеческий мозг представляет собой очень сложную систему, которую тяжело исследовать, классические методы обработки ЭЭГ-сигналов не всегда способны обеспечить полную картину патологиче-

ских процессов, в частности точно определять их локализацию и характеристики. Следовательно, необходимо применять новые дополнительные методы обработки сигналов такого вида, которые позволят обнаруживать либо более точно выявлять нарушения. На данный момент особую популярность и ценность при раннем определении скрытых проблем набирает методика вызванных потенциалов (ВП). Она основана на фиксации электрических ответов различных отделов ГМ на экзогенные (внешние) либо эндогенные (внутренние) стимулы.

Процесс анализа большого числа полученных данных и составление клинического заключения по снятым ЭЭГ-сигналам является долгим и трудоемким, учитывающим множество аспектов при обработке биологических сигналов. Несмотря на то, что способ получения записанных ЭЭГ-сигналов на бумажных лентах изжил себя, с появлением компьютерных технологий анализ биосигналов сильно изменился, данный этап в развитии медицинского анализа еще далек до завершения. В настоящее время существует огромное количество вычислительных методов, позволяющих получить полное представление о пространственно-временном устройстве нейродинамических процессов головного мозга и центральной нервной системы. На данном этапе развития медицинской техники возможно получать информацию не только о таких стандартных параметрах, как амплитуда, время и мощность сигнала, но и о спектре, когерентности и других характеристиках основных ритмов. Наибольшую популярность среди них на данный момент набирают методы машинного обучения, а именно нейронные сети.

Целью данной работы является рассмотрение существующих методов, применяемых для автоматизации обработки данных ЭЭГ-сигналов, и разработка первых подходов к технической реализации метода исследования вызванных потенциалов на базе применения нейронной сети без «учителя». Это позволит проводить качественный и количественный анализ функционального состояния ГМ и ЦНС, а также анализ их реакций при воздействии раздражителей.

Математические и компьютерные методы анализа сигналов. Многие виды обработки ЭЭГ-сигналов основаны на применении методов математического и компьютерного анализа для извлечения информации из полученных сигналов. Основные задачи такого вида обработки подразумевают под собой обеспечение для диагностических специалистов в области ЭЭГ полной картины и специфики тех или иных процессов, происходящих в ГМ, а также инструментарий для обнаружения различного типа патологий. К таким видам обработки относятся: спектральный анализ, вейвлет-анализ, корреляционный анализ, картирование ЭЭГ. Рассмотрим каждый по отдельности.

Спектральный анализ. Сегодня такой вид математического анализа является одним из самых распространенных методов компьютерной обра-

ботки ЭЭГ-сигналов. В его основе заложено использование Фурье-преобразования, позволяющее получать функции распределения мощности исследуемого сигнала от его частотного состава. Это дает возможность исследователю определять частоты, на которых наблюдаются интересующие всплески сигналов по мощности, а также выделять информативные частоты для последующего анализа их амплитуд с целью выявления патологических процессов, например, хронического нарушения сознания.

Несмотря на хорошие результаты данного преобразования стоит отметить и недостатки. Одним из них является ограниченность его применения к нестационарным сигналам, а именно к ВП. Этот недостаток можно частично устранить за счет использования оконного преобразования Фурье, которое использует оконную функцию (например, окно Хэмминга), но здесь также есть свои тонкости применения, т. к. оказывается невозможным одновременно обеспечить хорошее разрешение как по времени, так и по частоте. Кроме того, в процессе Фурье-преобразования исследуемый сигнал может исказиться, что приводит к потере полезной информации [1].

Вейвлет-анализ. В сравнении с вышеописанным методом математического анализа, с помощью вейвлет-преобразования возможно проводить исследование с нестационарными сигналами (ВП). Оно позволяет получить информацию как о спектральном составе исследуемого ЭЭГ-сигнала, так и о времени реакции живой системы на различные раздражители во время регистрации ЭЭГ. Таким образом можно зафиксировать характер колебаний, описывающих возможное патологическое состояние. Кроме того, использование вейвлет-анализа активно применяется в выделении основных ЭЭГ-ритмов как отдельных компонент сигнала независимо друг от друга. На данный момент появляются новые методики на основе многоуровневого вейвлет-разложения, которые позволят отмечать новые частотные диапазоны и новые числовые характеристики ЭЭГ-сигналов [2; 3].

Корреляционный анализ. Данный метод применяется для изучения взаимосвязей между изменениями биопотенциалов на различных участках регистрации ЭЭГ-сигналов. В его основе заложено вычисление коэффициентов корреляции, автокорреляционной и кросскорреляционных функций. Под термином «автокорреляция» подразумевается анализ участков ЭЭГ-сигналов одинаковой продолжительности, принадлежащих одному отведению, а под кросскорреляцией, соответственно, одинаковой продолжительности, принадлежащих разным отведениям. Кросскорреляционный анализ показал хорошие результаты при рассмотрении α -ритма в ЭЭГ детей 6-7 лет, характеризующий уровень зрелости коры их головного мозга [4]. Применялось это при исследовании внутригрупповых и межгрупповых различий значений амплитудных характеристик компонент зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) и

акустических (слуховых) стволовых вызванных потенциалов (АСВП). Развитие методов многомасштабного корреляционного анализа привело к применению обнаружения и мониторинга ритмов коры головного мозга человека, в частности усовершенствуется частный случай корреляционных распределений «конического» типа [5].

Картирование ЭЭГ. Метод дополнительной обработки, который представляет собой визуальное описание электрической активности головного мозга с целью подтверждения, а также определения локализации различных функциональных патологий и аномалий. Например, такой подход применяется в диагностике заболеваний зрительного пути (картирование зрительных вызванных потенциалов), в исследовании функций ГМ во время когнитивной обработки (картирования кортико-коркового вызванного потенциала) [6-8].

Представленные выше методы являются далеко не единственными. С развитием технического прогресса появилась тенденция развития и внедрения новых методов анализа со своими достоинствами и недостатками (метод главных компонент [9], анализ независимых компонент [10] и т. д.).

Применение нейронных сетей. Огромными перспективами в области обработки биосигналов обладает технология искусственного интеллекта. Наиболее прогрессивным способом реализации искусственного интеллекта является нейронная сеть. В связи с этим сегодня ведется активная работа по освоению нейросетевых технологий для различных задач анализа данных, в том числе биоэлектрических сигналов. Обучить нейронную сеть можно разными способами: «с учителем», «без учителя», с подкреплением (частный случай обучения с учителем). Предложенная нами модель использует неразмеченные данные, из которых алгоритм самостоятельно пытается извлечь необходимые признаки и зависимости. Хорошо размеченные и чистые данные довольно трудно получить, т. к. для этого необходима дополнительная помощь квалифицированного специалиста, который сможет определить локализацию патологических процессов, поэтому используемый нами способ обучения имеет значительное преимущество.

Методика обработки ЭЭГ-данных с помощью нейронных технологий. В данной работе авторский коллектив рассматривает использование нейронной сети «без учителя» (Unsupervised learning) для написания алгоритма исследования и визуализации определенных свойств, характеристик ЭЭГ-сигналов методом ВП. Исходные данные были взяты из открытой базы данных ЭЭГ-сигналов. Перед их применением сигналы были предварительно отфильтрованы полосовым фильтром с верхней частотой среза 1 Гц, нижней 20 Гц. Алгоритм базируется на методе Xdawn [11] (метод пространственной фильтрации), предназначенном для улучшения отношения сигнала, переносящего некую полезную информацию, к шуму (SNR, signal-to-

noise ratio) откликов потенциалов, связанного с событием. Изначально метод Xdawn был разработан для вызванного потенциала P300 путем усиления отклика на редкий значимый стимул (также называемый целевой) по отношению к отклику на незначимый общий стимул (нецелевой). На данный момент такая реализация является обобщением для любого типа потенциалов, связанных с событием. В данных разработках авторами это используется для выделения и классификации ВП, таких как зрительный и слуховой (visual/auditory evoked potentials). Алгоритм оценивает основные компоненты ВП, обеспечивая наилучшее отношение SNR. Если сравнивать с другими методами обработки (например, главных компонент (PCA)), метод Xdawn эффективно улучшает качество вызванных откликов за счет учета сигнала и шума, в отличие, например, от анализа главных компонент, который учитывает только сигнал.

Заключение. Несмотря на многообразие существующих стандартных методов анализа ЭЭГ и показываемые ими хорошие результаты для выявления различных типов патологий, пока что ни один из них не может в полной мере осветить все стороны такого сложного процесса, как электрическая активность головного мозга человека. Для того чтобы достаточно полно проанализировать ЭЭГ, описать и количественно оценить совокупность всех ее составляющих, нужно использовать целый комплекс разных методов, учитывая все нюансы их применения. Сейчас со стремительным развитием машинного обучения появляются все новые, более перспективные подходы к обработке биосигналов (например, нейронные сети), которые уже предоставляют достойные показатели в анализе ЭЭГ, и это далеко не предел.

Список литературы

1. Спектральная оценка ЭЭГ сна у пациентов с хроническими нарушениями сознания посредством многооконного дискретного преобразования Фурье» / М. М. Канарский, Ю. Ю. Некрасова, И. В. Борисов [и др.] // Новые методы и технологии, дискуссии. 2020. Т. 2, № 4. С. 337–349.
2. Подкур П. Н., Смоленцев Н. К. Вейвлет-пакетное разложение ЭЭГ на основные частотные ритмы // Вестник Томского государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. № 2 (35). С. 54–61.
3. Кротких С. С., Кириченко Л. О. Исследование вызванных потенциалов в ЭЭГ человека с помощью дискретного вейвлет-преобразования // Радиоэлектроника, информация, управление. 2011. № 2. С. 86–93.
4. Кузнецова Т. Г., Горбачева М. В., Булгакова О. С. Кросскорреляционный анализ ЭЭГ и асимметрия α -ритма у детей 6–7 лет при достижении цели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 10. С. 845–848.

5. Анциперов В. Е. Обнаружение ритмов головного мозга человека на основе величины корреляции аналитических спектров ЭЭГ в основных диапазонах частот // Интеллектуализация обработки информации. 2014. Т. 10, № 1. С. 158–159.

6. Mapping human brain networks with cortico-cortical evoked potential / C. J. Keller, C. J. Honey, P. Mégevand [et al.] // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 2014. Vol. 369(1653). P. 20130528.

7. Кривошеев А. А., Шамшинова А. М. Топографическое картирование зрительных вызванных потенциалов в диагностике заболеваний зрительного пути. 2006. URL: <http://www.rjo.ru/article/a29> (дата обращения: м20.04.2021).

8. The variability of motor evoked potential latencies in neurosurgical motor mapping by preoperative navigated transcranial magnetic stimulation / N. Sollmann, L. Bulubas, N. Tanigawa [et al.] // BMC Neurosci. 2017. Vol. 18, is. 1. P. 5.

9. Feature extraction and recognition of epileptiform activity in EEG by combining PCA with ApEn / Chunmei Wang, Junzhong Zou, Jian Zhang [et al.] // Cogn Neurodyn. 2010. Vol. 4. P. 233–240.

10. Особенности независимых компонент вызванных потенциалов пациентов с СДВГ в разных возрастных группах / М. В. Пронина, В. А. Пономарев, А. Мюллер, С. Д. Кропотов // Педиатр. 2014. Т. 5, № 1. С. 62–69.

11. XDAWN Algorithm to Enhance Evoked Potentials: Application to Brain Computer Interface / B. Rivet, A. Souloumiac, V. Attina [et al.] // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2009. Vol. 56, is. 8. P. 2035–43.

E. P. Logachev¹ ✉, **K. A. Grosberg¹**

¹ *Institute for Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences (IAI RAS), Saint Petersburg, Russia*

✉ e-mail: kvz235@mail.ru

METHODS FOR AUTOMATING THE PROCESSING OF EEG DATA FOR THE DIAGNOSIS OF PATHOLOGIES OF THE HUMAN BRAIN AND CENTRAL NERVOUS SYSTEM

In this paper, the methods used to automate the processing of EEG signal data in the study of evoked potentials, as well as their peculiar properties, are considered. An approach to the technical implementation of a method based on a neural network without a teacher was proposed.

Keywords: electroencephalography; evoked potentials; biosignal; diagnostics; central nervous system; neural network.

УДК 621.391: 615.47

К. В. Зайченко¹✉, А. А. Кордюкова¹, Е. П. Логачев¹

¹ Институт аналитического приборостроения Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

✉ e-mail: kvz235@mail.ru

ПОДХОДЫ К ВТОРИЧНОЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛОВ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

В работе представлены подходы к вторичной цифровой обработке электрокардиосигналов, полученных с подопытных животных. Особое внимание уделено применению вейвлет-преобразования, на базе которого рассматривается возможность разработки системы, позволяющей описать состояние подопытного животного на определенном этапе эксперимента.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование; электрокардиография; сверхвысокое разрешение; анализ вейвлет-коэффициентов; метод поиска максимумов.

Введение. Разработка нового инструментария для эффективной диагностики различных патологий сердечно-сосудистой системы – важнейшая задача для технических специалистов в области ЭКГ-систем. В связи с этим в последнее время предложен и разрабатывается новый авторский метод электрокардиографии сверхвысокого разрешения (ЭКГ СВР), основная идея которого заложена в расширении частотного и амплитудного диапазонов регистрации электрокардиосигналов сверхвысокого разрешения (ЭКС СВР) с целью получения недоступной ранее, но полезной информации для исследований в этой области [1]. Данный метод активно используется при проведении экспериментальных исследований по изучению искусственно вызванных кардиопатологий, особенно ишемии сердца, у подопытных животных [2].

Отдельным разделом при реализации метода ЭКГ СВР является разработка методов и подходов к вторичной цифровой обработке исследуемых сигналов. К ним можно отнести цифровую фильтрацию шумовых составляющих ЭКС, а также методы спектрального анализа, позволяющие определить качественные и количественные характеристики исследуемых сигналов. Стоит отметить, что вейвлет-анализ – перспективный и эффективный метод спектрального анализа, позволяющий извлекать информацию о временных вариациях частотных характеристик исследуемых ЭКС СВР [3-4]. В его основе заложено применение вейвлет-преобразования, рассматривающее анализируемые временные функции как колебания, локализованные по времени и частоте.

Таким образом, целью данной работы является реализация вторичной цифровой обработки электрокардосигналов сверхвысокого разрешения, полученных при экспериментальных исследованиях на подопытных животных, в том числе на базе применения спектрального вейвлет-анализа, а также его использование при реализации системы, позволяющей описать состояние подопытного животного на определенном этапе эксперимента.

Предварительная обработка ЭКС СВР. Для минимизации ошибок, влияющих на дальнейший вейвлет-анализ экспериментально полученных ЭКС СВР, используется предварительная цифровая фильтрация сетевой помехи. Такая процедура реализована с помощью использования линейной фильтрации, а именно гребенчатого фильтра на базе применения быстрого дискретного преобразования Фурье [5], представляющего собой модифицированную свертку сигнала с выбранным тригонометрическим базисом. На рисунке 1 приведены примеры электрокардосигнала, снятого с подопытного животного во время эксперимента до и после фильтрации сетевой помехи соответственно.

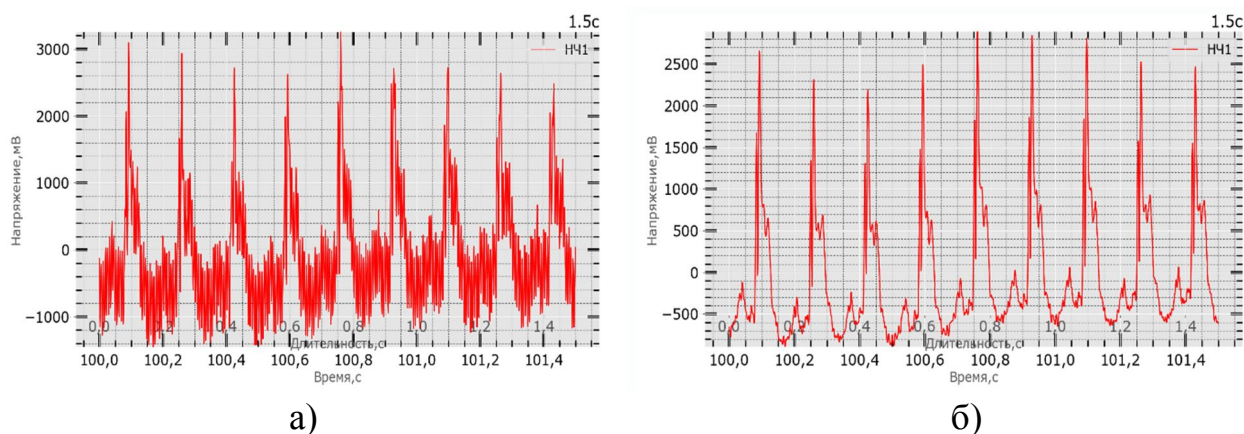


Рис. 1. ЭКС СВР с подопытного животного; а – до фильтрации сетевой помехи; б – после фильтрации сетевой помехи

Следующей неотъемлемой процедурой при вторичной цифровой обработке экспериментальных ЭКС СВР является стабилизация изолинии, необходимая для фильтрации низкочастотных помех, возникающих от биологического объекта исследования (дыхание, тремор мышц и т.п.). Эта процедура основана на методах линейной фильтрации на базе применения Фурье-преобразования. Для повышения скорости вычислений в процессе минимизации помех используется модифицированная свертка сигнала с использованием быстрого дискретного преобразования Фурье и введением окна Ханна [5]. На рисунке 2 приведены примеры электрокардосигнала, снятого с под-

опытного животного во время эксперимента до и после применения процедуры стабилизации изолинии соответственно.

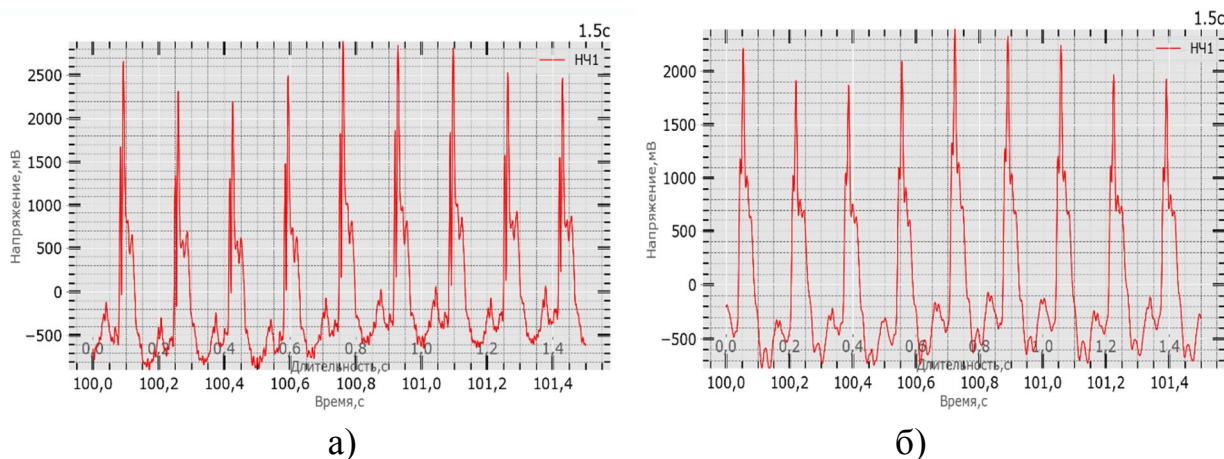


Рис. 2. ЭКС СВР с подопытного животного; а – до стабилизации изолинии; б – после стабилизации изолинии

Реализация вейвлет-анализа ЭКС СВР. Для реализации вейвлет-анализа используется непрерывное вейвлет-преобразование, осуществляющее переход из двумерного пространства (амплитуда – время) в трехмерное (мощность – период – время). Кроме изображения непрерывного вейвлет-преобразования, непосредственно в трехмерном пространстве существуют цветовые карты коэффициентов вейвлет-разложения [6]. Цветовая карта представляет собой двумерное изображение, на котором ось абсцисс соответствует времени, ось ординат – периоду, а цветом отражена величина коэффициентов вейвлет-разложения. Достигается это за счет свертки исследуемого сигнала с ядром вейвлет-преобразования – его материнской вейвлет-функции. Основные ее особенности – локализация, нулевое среднее значение, ограниченность, а также автомодельность базиса [7]. Благодаря этим особенностям, в частности локализации, вейвлет-преобразование обладает хорошим частотно-временным разрешением.

Выбор материнской вейвлет-функции для QRS-фрагментов и РТ-пиков, входящих в состав ЭКС СВР с подопытных животных, подробно описан в [8]. В итоге этого анализа были получены следующие результаты: для среза QRS-комплекса ЭКС СВР интерес представляют комплексный вейвлет Морле с пропускной способностью 1.0 и центральной частотой 0.5 (рис. 3, а), а для среза РТ-пиков – Гауссов вейвлет 5-го порядка (рис. 3, б).

На рисунке 4 представлены первые результаты реализации вейвлет-анализа экспериментальных ЭКС СВР, полученные с помощью материнской функции $cmor1.0-0.5$ и $gaus5$.

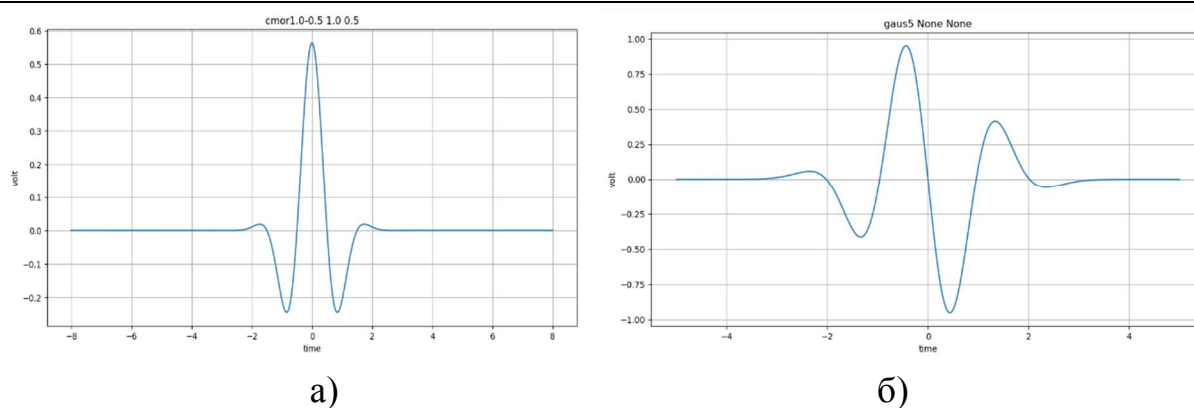


Рис. 3. Комплексный вейвлет Морле cmor1.0-0.5 (а) и Гауссов вейвлет gaus5 (б)

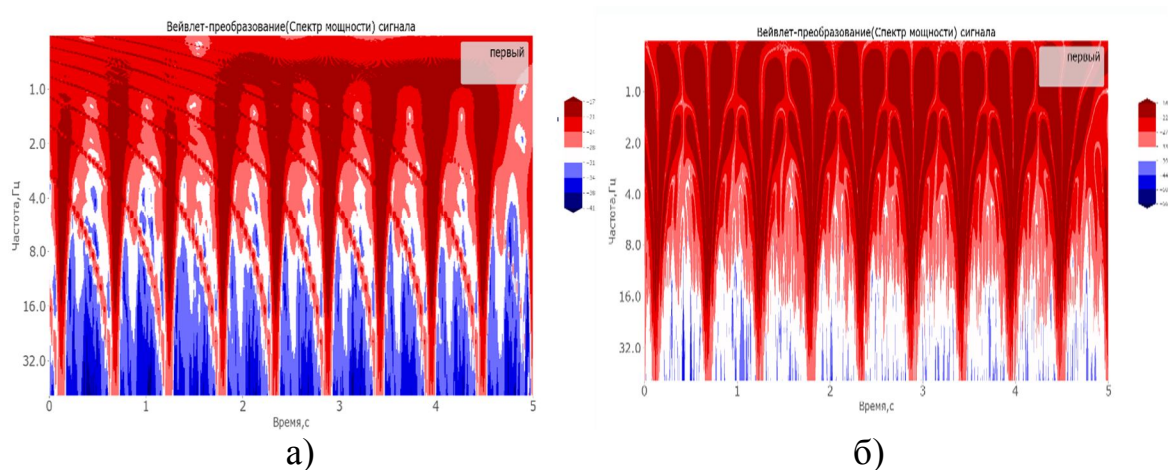


Рис. 4. Результат обработки ЭКС СВР с помощью: а – cmor1.0-0.5; б – gaus5

Первые этапы разработки системы анализа состояния подопытного животного с использованием вейвлет-преобразования. На основании результатов, полученных при цифровой обработке ЭКС СВР, а именно его вейвлет-анализа, рассмотрим метод поиска максимумов модулей вейвлет-коэффициентов исследуемого сигнала (WTMM - wavelet transform modulus maxima) [9–11]. Этот метод позволяет оценить показатель Гельдера, характеризующий локальную гладкость функции в точке. Такой подход возможно интерпретировать и применить для обнаружения паттернов, описывающих состояния живой системы по соответствующей записи электрокардиосигнала. При реализации данного метода необходимо выделить только локальные максимумы модулей вейвлет-коэффициентов, полученных на этапе вейвлет-обработки, а все остальные коэффициенты свести к нулю. Затем вычисляются обобщенные статические суммы, связанные со степенью Гельдера, которые можно отобразить в графическом виде зависимости временного масштаба от сдвига во времени вейвлет-преобразования. На рисунке 5 приведены примеры таких графиков, полученных в результате применения описанного метода для исследуемых ЭКС СВР на различных этапах эксперимента, а

именно на этапе стабилизации (сердце находится в состоянии нормы, без патологических изменений) и этапе ишемии (при наличии патологии).

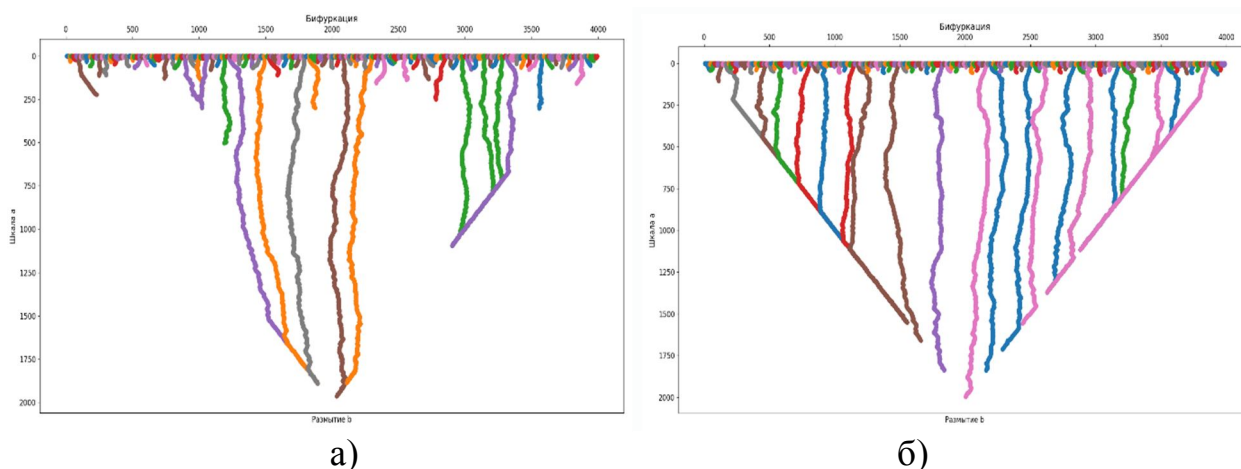


Рис. 5. Результаты применения метода поиска максимумов модулей вейвлет-коэффициентов для ЭКС СВР на этапе эксперимента: а – стабилизации; б – ишемии

Видимые различия при сравнении полученных результатов можно интерпретировать как подтверждение о произошедшем переходе из одного этапа эксперимента в другой и, следовательно, об изменении состояния подопытного животного на разных стадиях опыта.

Заключение. В работе приведены результаты по применению разработанных процедур вторичной цифровой обработки ЭКС СВР, а именно процедур фильтрации сетевой помехи и стабилизации изолинии. Также приведены первые результаты вейвлет-обработки исследуемых сигналов с помощью материнских вейвлет-функций $smog1.0-0.5$ и $gaus5$, на основании которых предложено использовать метод поиска максимумов модулей вейвлет-коэффициентов для определения характеристик ЭКС СВР. Наблюдаемые различия этих характеристик на разных этапах экспериментов могут говорить об изменении состояния подопытного животного. Однако данная гипотеза не подтверждена и требует дальнейших исследований в этой области.

Список литературы

1. Гуляев Ю. В., Зайченко К. В. Электрокардиография сверхвысокого разрешения. Задачи. Проблемы. Перспективы // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 9. С. 5–15.
2. Методика электрокардиографических исследований при проведении экспериментов по созданию искусственной ишемии у подопытных животных / К. В. Зайченко, Б. С. Гуревич, А. А. Жмылева, А. А. Князев, Е. П. Логачев // Медицинская техника. 2019. № 4. С. 17–20.
3. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: Основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996. Т. 166, № 11. С. 1145–1170.

4. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК Пресс, 2005. 304 с.
5. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. М.: Бином-Пресс, 2006. 656 с.
6. Гуревич Б. С. Особенности вейвлет-обработки биоэлектрических сигналов // Сборник тезисов XIV Международного конгресса «Кардиостим 2020» / НИИ кардиологии им. В. А. Алмазова Росздрава. СПб., 2020. С. 165.
7. Сычёв С.В. Методика выбора оптимального материнского вейвлета на основе критериев энергии и энтропии // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Машиностроение. 2017. № 7. С. 33–41.
8. Зайченко К. В., Жмылева А. А., Логачев Е. П. Выбор материнской функции для вейвлет-анализа электрокардиосигналов // Труды Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и инновационные технологии в области естественных наук». Ташкент, Узбекистан, 2020. Т. 2. С. 524–529.
9. Mallat S., Hwang W. L. Singularity detection and processing with wavelets // IEEE Transactions on Information Theory. 1992. Vol. 38, no. 2. P. 617–643.
10. Wendt H., Abry P. Multifractality tests using bootstrapped wavelet leaders // IEEE Transactions on Signal Processing. 2007. Vol. 55, no. 10. P. 4811–4820.
11. Wavelet-based multifractal formalism: application to DNA sequences, satellite images of the cloud structure and stock market data / A. Arneodo, B. Audit, N. Decoster [et al.] // The Science of Disasters: Climate Disruptions, Heart Attacks, and Market Crashes / A. Bunde, J. Kropp, H. J. Schellnhuber, eds. Berlin: Springer, 2002, pp. 26–102.

K. V. Zaichenko¹ ✉, **A. A. Kordukova¹**

¹ Institute for Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences (IAI RAS), Saint Petersburg, Russia

✉ e-mail: kvz235@mail.ru

APPROACHES TO SECONDARY DIGITAL PROCESSING OF ULTRA-HIGH RESOLUTION ELECTROCARDIOSIGNALS

The work presents approaches to secondary digital processing of electrocardiosignals obtained from experimental animals. Special attention is paid to the application of the wavelet transform, on the basis of which the possibility of developing a system that allows describing the state of a test animal at a certain stage of the experiment is considered.

Keywords: wavelet transform; electrocardiography ultra-high resolution; wavelet transform modulus maxima method.

УДК 621.396.41

Д. С. Коптев¹ ✉, И. Е. Мухин¹

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

✉ e-mail: d.s.koptev@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ФРАКЦИОННОЙ САТУРАЦИИ КРОВИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧЕТЫРЕХ ДЛИН ВОЛН

В статье представлена математическая модель определения значений концентрации основных фракций крови на основе уравнений Фирордта. Полученные значения позволяют определить уровень фракционной сатурации крови.

Ключевые слова: фракционная сатурация крови; математическая модель; метод Фирордта; концентрация вещества; коэффициент молярной экстинкции, оптическая плотность.

Определение уровня насыщения крови кислородом имеет некоторые особенности, связанные с тем, что кровь взрослого человека, кроме восстановленного гемоглобина и оксигемоглобина, содержит еще два вида гемоглобина, не участвующих в транспорте кислорода – метгемоглобин (metHb) и карбоксигемоглобин (HbCO).

Оксид углерода (угарный газ CO) обладает гораздо большим сродством к гемоглобину, нежели кислород, что обуславливает его сильное токсичное действие. Даже при низких концентрациях CO вытесняет кислород из соединения с гемоглобином, который теряет способность к переносу O₂. Скорость соединения CO с Hb в 160 тысяч раз больше, чем скорость его отдачи. При наличии в воздухе CO происходит накопление в крови HbCO и нарушается транспорт кислорода по сосудам вследствие затрудненной отдачи гемоглобином CO и, соответственно, невозможностью присоединения к нему O₂. Нормальный уровень карбоксигемоглобина у некурящих составляет от одного до трех процентов, тогда как у курильщиков он может достигать пятнадцати процентов [1–2].

Метгемоглобин образуется, когда двухвалентное железо (Fe²⁺) окисляется до трехвалентного железа (Fe³⁺), которое не может переносить кислород. Нормальный уровень метгемоглобина в крови составляет от нуля до двух процентов. Существует несколько эндогенных восстановительных систем для поддержания гемоглобина в железистом состоянии. При метгемоглобинемии кислородная пропускная способность снижается по двум причинам: максимальная пропускная способность кислорода снижается, и любой кислород, который переносится раскисленной субъединицей гемоглобина, удерживается более плотно и плохо выделяется в тканях.

где $\varepsilon_j(\lambda_i)$ в числителе – это максимальный коэффициент молярной экстинкции j -го компонента на i -й аналитической длине волны.

Чем выше коэффициент r_{ij} , тем большую информацию о компоненте j содержит оптическая плотность $\mu_\alpha(\lambda_i)$ [2; 5].

В крови человека, помимо дезоксигемоглобина (Hb) и оксигемоглобина (HbO₂), присутствуют фракции метгемоглобина (metHb) и карбоксигемоглобин (HbCO), учет которых необходим при определении уровня насыщения крови кислородом. Спектры поглощения света различными формами гемоглобина существенно отличаются друг от друга [4], поэтому для исследования следует использовать как минимум четыре длины волны.

Система уравнений Фирордта для данного случая запишется в виде

$$\begin{cases} \mu_\alpha(\lambda_1) = \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_1) \cdot C_{\text{Hb}} + \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_1) \cdot C_{\text{HbO}_2} + \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_1) \cdot C_{\text{HbCO}} + \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_1) \cdot C_{\text{metHb}}; \\ \mu_\alpha(\lambda_2) = \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_2) \cdot C_{\text{Hb}} + \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_2) \cdot C_{\text{HbO}_2} + \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_2) \cdot C_{\text{HbCO}} + \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_2) \cdot C_{\text{metHb}}; \\ \mu_\alpha(\lambda_3) = \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_3) \cdot C_{\text{Hb}} + \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_3) \cdot C_{\text{HbO}_2} + \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_3) \cdot C_{\text{HbCO}} + \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_3) \cdot C_{\text{metHb}}; \\ \mu_\alpha(\lambda_4) = \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_4) \cdot C_{\text{Hb}} + \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_4) \cdot C_{\text{HbO}_2} + \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_4) \cdot C_{\text{HbCO}} + \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_4) \cdot C_{\text{metHb}}. \end{cases}$$

Число уравнений в данной системе равно числу неизвестных, поэтому она является определенной. Так как все неизвестные C_{Hb} , C_{HbO_2} , C_{HbCO} , C_{metHb} входят в систему только в первой степени, она может быть решена любым из способов для определенных систем линейных уравнений, например, по методу Крамера [5], в соответствии с которым искомые концентрации определяются в следующем виде:

$$C_{\text{Hb}} = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad C_{\text{HbO}_2} = \frac{\Delta_2}{\Delta}; \quad C_{\text{HbCO}} = \frac{\Delta_3}{\Delta}; \quad C_{\text{metHb}} = \frac{\Delta_4}{\Delta},$$

$$\text{где } \Delta_1 = \begin{vmatrix} \mu_\alpha(\lambda_1) & \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_1) & \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_1) & \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_1) \\ \mu_\alpha(\lambda_2) & \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_2) & \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_2) & \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_2) \\ \mu_\alpha(\lambda_3) & \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_3) & \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_3) & \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_3) \\ \mu_\alpha(\lambda_4) & \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_4) & \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_4) & \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_4) \end{vmatrix};$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_1) & \mu_\alpha(\lambda_1) & \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_1) & \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_1) \\ \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_2) & \mu_\alpha(\lambda_2) & \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_2) & \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_2) \\ \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_3) & \mu_\alpha(\lambda_3) & \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_3) & \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_3) \\ \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_4) & \mu_\alpha(\lambda_4) & \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_4) & \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_4) \end{vmatrix};$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_1) & \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_1) & \mu_a(\lambda_1) & \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_1) \\ \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_2) & \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_2) & \mu_a(\lambda_2) & \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_2) \\ \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_3) & \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_3) & \mu_a(\lambda_3) & \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_3) \\ \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_4) & \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_4) & \mu_a(\lambda_4) & \varepsilon_{\text{metHb}}(\lambda_4) \end{vmatrix};$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_1) & \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_1) & \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_1) & \mu_a(\lambda_1) \\ \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_2) & \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_2) & \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_2) & \mu_a(\lambda_2) \\ \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_3) & \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_3) & \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_3) & \mu_a(\lambda_3) \\ \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_4) & \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_4) & \varepsilon_{\text{HbCO}}(\lambda_4) & \mu_a(\lambda_4) \end{vmatrix};$$

Δ_i – определитель матрицы системы, где вместо i -го столбца стоит столбец правых частей [1; 5–6].

Таким образом, становится возможным рассчитать фракционную сатурацию крови по известной [3] формуле

$$SO_2 = \frac{C_{\text{HbO}_2}}{C_{\text{Hb}} + C_{\text{HbO}_2} + C_{\text{HbCO}} + C_{\text{metHb}}} \cdot 100\%.$$

Таким образом, для учёта концентрации всех четырех форм гемоглобина необходимо производить измерения поглощения света как минимум на четырех длинах волн. Для получения наибольшей чувствительности при определении уровня сатурации крови необходимо выбирать длины волн излучения источников в участках спектра с наибольшей разницей в поглощении света оксигемоглобином и дезоксигемоглобином, карбоксигемоглобином и метгемоглобином.

Список литературы

1. Берштейн И. Я. Спектрофотометрический анализ в органической химии. Л.: Химия, 1986. 200 с.
2. Спектрофотометрический количественный анализ основных дериватов гемоглобина / С. А. Адамов, С. А. Александрова, А. Н. Денисов, Е. Ю. Мосур, Н. А. Семиколенова // Биохимия. 1998. Т. 63, № 10. С. 1362–1366.
3. Коптев Д. С., Мухин И. Е. Математическая модель определения уровня сатурации крови четырехволновым методом // Биомедсистемы-2020: материалы XXXIII Всероссийской научно-технической конференции. Рязань, 2020. С. 191–194.
4. Калакутский Л. И., Манелис Э. С. Аппаратура и методы клинического мониторинга. М.: Высш. шк., 2004. 156 с.
5. Двухканальный лазерный фотоплетизмограф / А. И. Ларюшин, М. А. Галкин, Р. Н. Хизбуллин [и др.] // Мир измерений. 2010. № 7. С. 22–28.

6. Мухин И. Е., Коптев Д. С. Метод определения уровня периферической сатурации крови пилота воздушного судна в телекоммуникационной системе оперативного медицинского контроля // Телекоммуникации. 2019. № 2. С. 2–10.

УДК 004.932.2

Д. В. Применко¹ ✉, В. С. Панищев¹, И. Е. Чернецкая¹

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

✉ e-mail: dima-primenko777@yandex.ru

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В современном мире и в условиях информационных перегрузок проблема распознавания образа приобрела важное значение, так как человек не справляется с линейно-последовательным пониманием поступающих к нему сообщений. Использование методов распознавания объектов на изображении может помочь уменьшить роль человеческого фактора в тех случаях, где актуальным значится быстрое реагирование на конкретные происшествия и является основным результатом алгоритмов глубокого и машинного обучения.

Ключевые слова: методы предварительного распознавания объектов; ковариация; контурный анализ; изображение; обнаружение; селекция.

Теория распознавания объектов – это раздел информатики, показывающий основы и приемы идентификации предметов, которые обладают конечным набором определенных свойств и признаков для обнаружения не только объекта, но и отслеживания и анализа его изменения [1].

Основу базовых принципов составляют системы технического зрения, обладающие эффективными способами автоматической обработки цифровых данных, получаемых по изображениям различных объектов [2–5].

Главным инструментом универсальных информационных технологий в данной сфере выступает широкий класс автоматически выполняемых вероятностно-статистических операций: от поиска и обнаружения объектов исследования до их идентификации. Эффективность заданной структуры базовых элементов и цифровой технологии и правдивость объективно полученных результатов данных операций возможно использовать в медицине или в области разработок робототехнических комплексов с применением искусственного интеллекта.

Основные методы исследования: метод использования компьютерных технологий, математические методы, методы анализа и синтеза, метод непо-

средственного наблюдения и аналитического описания, статистический метод, метод матричного исчисления.

Если требуется простое сравнение двух схожих фрагментов изображения, то возможно использование их ковариации. В качестве примера можно привести следующий: изображение, содержащее искомый образец, передвигается по координатам X, Y по изображению, в котором выполняется поиск. Работа алгоритма будет успешной, если обнаруживается такая точка, где разница искомого образца от изображения, в котором осуществлялся поиск, достигает своего минимума [6]:

$$\sum_{i < W, j < H} [I(x + i, y + j) - J(i, j)], \quad (1)$$

где I – изображение, в котором производится поиск; J – образец для сравнения; W – ширина образца, пиксель; H – высота образца, пиксель; x, y – координаты текущего пикселя изображения, в котором осуществляется поиск.

Недостатки:

1. Низкая скорость работы при обработке больших изображений. Если будет задействован образец $a \times a$ пикселей и изображение поиска $b \times b$ пикселей, то количество операций составит $a^2(b - a) \cdot 2$.

2. Нестабильная работа в случае смены освещения.

3. Нестабильная работа при изменении масштаба или повороте изображения.

4. Нестабильная работа, если часть изображения – изменяющийся фон.

Методы устранения недостатков:

– недостатки в скорости работы устраняются путем проведения поиска с большим шагом при маленьком разрешении;

– недостатки освещения можно нейтрализовать нормировкой или переходом к бинаризации области;

– искажения объекта поиска можно устранить изменением разрешения при корреляции;

– с коррекцией фона при вышеописанном подходе работа не проводится.

Аналогичный инструментарий используется в применении методов сравнения шаблонов (Template Matching), где для сравнения областей изображения требуются элементарные алгоритмы, аналогичные попиксельному сравнению. Они построены на принципе выделения областей на изображении. Каждая совпавшая область увеличивает меру сходства [7–8].

Недостатки:

1. Метод ресурсоемкий.

2. Нестабильная работа в случае смены освещения и при изменении масштаба или повороте изображения.

3. Результатом работы является вероятностная характеристика.

4. Ложные срабатывания (у разных изображений могут быть сходные детали или области).

Недостатки можно устранить посредством применения контурного анализа.

Контурный анализ – это метод описания и поиска графических образов (объектов) по их контурам.

Достоинство метода – это вращение, изменение масштаба и смещение контура на изображении не мешают скорости работы.

Недочеты:

1. Нестабильная работа с изображениями, обладающими низким контрастом.

2. Невозможность определения объекта при перекрывании его другими объектами на изображении.

Далее рассмотрим способ выделения вектора признаков для распознавания изображений объектов, который предложен в работе А. В. Гурбо и др. [9] Данный способ относится к сфере обработки изображений с использованием технических средств диагностики, в том числе медицинской, автоматической, технической кибернетики, а также систем искусственного интеллекта и метрологии.

Научно-технической задачей данного способа является увеличение вероятности предварительного распознавания изображений объектов с различными контрастами в условиях непростого фона посредством выделения вектора признаков изображения объектов по их изображениям в разнообразных диапазонах электромагнитного спектра [10]. Решение поставленной задачи осуществляется с помощью автоматического создания вектора признаков и реализации вероятностно-статистических операций.

Апробирование варианта технического решения с использованием макета его программно-алгоритмической реализации подтвердило высокую степень эффективности автоматического распознавания при выделении вектора признаков разработанным способом для сигналов, регистрируемых в различных диапазонах электромагнитного спектра (рентгеновских, ультразвуковых, оптических, СВЧ, в том числе радиолокационных, используемых в компьютерной и магнитно-резонансной томографии) дешифрируемых изображений высокой разрешающей способности.

Применение доведенных до инновационного уровня рассмотренных способа и его программных реализаций при автоматической, в том числе и дистанционной обработке изображений, полученных с использованием средств диагностики, обеспечит повышение достоверности, чувствительности и надежности средств обследования пациентов, а также позволит повысить уровень медицинского обеспечения, доступности и качества медицинской помощи (см., например, работу [11]).

Простейшие алгоритмы распознавания, описанные в настоящей статье, реализованы в программном средстве, областью применения которого в совокупности с приведенными выше методами может стать обработка различных больших массивов видеоданных. Методы повышают вероятность предварительного распознавания многоцветных объектов и обеспечивают возможность распознавания полутоновых объектов при знакопеременном контрасте на сложном фоне в условиях помех.

Список литературы

1. Фомин Я. А. Распознавание образов: теория и применения. М.: ФАЗИС, 2012. 429 с.
2. Дик В. В. Информационные аналитические системы. М.: Ун-т «Синергия», 2013. 384 с.
3. Моделирование радиолокационных изображений подстилающей поверхности для видеоподдержки обнаружения малоразмерных объектов / Е. Э. Филиппских, А. В. Попов, В. В. Кузьмин, В. В. Владимиров // Информация и космос. 2016. Вып. 3(6). С. 124–131.
4. Формирование прогнозных изображений видимого диапазона на основе трехмерных цифровых моделей местности с текстурным покрытием / Е. Э. Филиппских, А. В. Попов, Ф. А. Галкин, А. В. Захарчук // Информация и космос. 2018. Вып. 4. С. 121–128.
5. Попов А. В., Изергин Д. А., Филиппских Е. Э. Анализ состояния и перспектив развития бортовых средств радиолокационного зондирования земной поверхности для беспилотных летательных аппаратов различных классов // Труды XXVIII Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред» / под общ. ред. С. С. Суворова. СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2013. Т. 1, вып. 10. С. 161–165.
6. Weisstein E. W. Covariance. URL: <http://mathworld.wolfram.com/Covariance.html> (дата обращения: 12.04.2021).
7. Brunelli R. Template matching techniques in computer vision: theory and practice. URL: <http://www.wiley.com/legacy/wileychi/brunellitemplate/supp/tmCodeCompanion.pdf> (дата обращения: 07.04.2021).
8. Фурман А. Я. Введение в контурный анализ. Приложения к обработке изображений и сигналов. М.: Физматлит, 2003. 592 с.
9. Пат. 2616575 Рос. Федерация, МПК G 06 K 9/46, T 1/00, R 9/62. Способ выделения вектора признаков для распознавания изображений объектов и устройство для его осуществления / Гурбо А. В., Журавлев С. В., Попов А. В., Филиппских Е. Э. № 2015130174; заявл. 21.07.2015; опубл. 17.04.2017, Бюл. № 11.
10. Аковецкий В. Н. Дешифрирование снимков. М.: Недра, 1983. 373 с.

11. Исследование влияния экологических факторов на динамику уровней сердечно-сосудистой заболеваемости в городе / В. В. Протасова, Н. А. Кореневский, М. В. Артеменко, В. С. Смирнов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. № 1. С. 123–127.

D. V. Primenko¹ ✉, V. S. Panishchev¹, I. E. Chernetskay¹

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

✉ e-mail: dima-primenko777@yandex.ru

ANALYSIS OF METHODS FOR PRELIMINARY RECOGNITION OF OBJECTS ON IMAGES

In the modern world and in conditions of information overload, the problem of image recognition has become important, since a person cannot cope with a linear-sequential understanding of incoming messages. The use of methods for recognizing objects in the image can help reduce the role of the human factor in cases where rapid response to specific incidents is relevant and is the main result of deep and machine learning algorithms.

Keywords: methods of preliminary recognition of objects; covariance; contour analysis; picture; detection; selection.

УДК 611.63

С. П. Серегин¹, В. А. Ключникова² ✉

¹ *ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия*

² *ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет», Курск, Россия*

✉ e-mail: olga_kluchnikova@mail.ru

СПЕЦИФИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МУЖСКОГО БЕСПЛОДИЯ И ВЫБОРА ТАКТИКИ ЛЕЧЕНИЯ ПО ЭТИОЛОГИЧЕСКИМ ФАКТОРАМ ЗАБОЛЕВАНИЯ

В работе проводится анализ методов диагностики и выбора тактики лечения мужского бесплодия.

Ключевые слова: мужское бесплодие; диагностика; спермограмма; методы диагностики.

Бесплодие затрагивает 10–15% сексуально активных, не предохраняющихся от зачатия супружеских пар. Доля мужского фактора в бесплодном браке отличается в разных странах мира и составляет от 20 до 70% [1–4]. По

определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), под бесплодием понимают ненаступление беременности у женщины в сексуально активной паре при регулярной половой жизни в течение одного года и более, не использующей противозачаточные средства [5], а распространенность бесплодия за последние два десятилетия увеличилась на 50% и достигла 50 миллионов пар во всем мире. В настоящее время ученые и клиницисты уделяют пристальное внимание новым методам диагностики и лечения бесплодия.

Мужское бесплодие обусловлено, как правило, сочетанием нескольких факторов. Это и генетические нарушения, врожденные или приобретенные заболевания мочеполовой системы, иммунологические факторы, сексуальные нарушения, хронические заболевания, избыточный вес и ожирение, стресс, заболевания, вызванные инфекциями, передающимися половым путем. В большинстве исследований, проводимых с 2000 г., отмечается тенденция к снижению общего количества, концентрации или подвижности сперматозоидов [6–8].

В последние годы было совершено много открытий в области диагностики мужского бесплодия, однако все еще сохраняется проблема с дифференцированием поставленного диагноза по этиологии возникновения данного заболевания, в частности трудности возникают во время дифференциальной диагностики у больных инфекционно-воспалительной формой бесплодия и больных инфекционно-воспалительной формой бесплодия с простатитом. При этом необходимо отметить, что при большом количестве рекомендаций по диагностике и лечению мужского бесплодия отсутствует единая стандартизация тактики ведения пациентов, в связи с чем поиск возможных причин и путей их устранения сохраняет свою актуальность.

Рассмотрим некоторые из предлагаемых методов диагностики и лечения. Основным анализом для оценки репродуктивного статуса мужчины является спермиологический анализ эякулята (спермограмма), который позволяет определить количество сперматозоидов, содержащееся в сперме, их подвижность, жизнеспособность и морфологию. Если у пациента зафиксированы патологические изменения в эякуляте, и при повторном анализе результат подтвердился, то для уточнения диагноза проводятся следующие исследования:

- MAP(MAR)-тест (является международно признанным стандартом выявления антиспермальных антител) – дополнительное исследование эякулята, позволяющее выявить число сперматозоидов, которые могут быть покрыты антиспермальными телами, что делает оплодотворение невозможным. При обнаружении 50% и выше сперматозоидов, связанных с антиспермальными антителами, ставится диагноз «иммунологическое бесплодие»;

- определение уровня ДНК-фрагментации в сперматозоидах – позволяет определить число сперматозоидов с нарушенным генетическим статусом.

При наличии уровня фрагментации ДНК в сперматозоидах более 15% рекомендуется проведение специфического лечения;

- инфекционный скрининг – при подозрении на наличие инфекций и воспалительных процессов проводится инфекционный скрининг (мазок из уретры; ПЦР-анализ на половые инфекции; посев эякулята (в случае повышения лейкоцитов или обнаружения бактерий); исследование секрета простаты;

- биохимический анализ эякулята – содержание глюкозы и лимонной кислоты, цинка и α -гликозидазы, щелочной фосфатазы;

- гормональное исследование – включает определение уровня ФСГ и ЛГ, тестостерона, пролактина и эстрадиола. Оценивается уровень свободных радикалов. Изучается акросомальная реакция, когда сперматозоид контактирует с яйцеклеткой, на его головке происходят химические изменения, позволяющие растворить оболочку яйцеклетки и проникнуть внутрь. Самыми распространенными генетическими причинами мужского бесплодия, выявление которых возможно в обычной врачебной практике, являются хромосомные перестройки, делеции AZF региона Y-хромосомы и мутации гена CFTR;

- электронно-микроскопическое исследование спермиев и цитогенетический анализ – позволяют изучить и выявить патологию внутренних структур спермиев, содержимое плазмы эякулята, количество и качество хромосом. В случае выявления хромосомных аномалий назначается консультация генетика;

- выявление антиспермальных антител и иммунного конфликта – иммунологическое бесплодие диагностируют при выявлении антиспермальных антител класса M, A и G, а также с помощью тестов Курцрока – Миллера и Шуварского (выявление иммунного конфликта на уровне шеечного канала);

- инструментальная диагностика – ультразвуковое исследование щитовидной железы (рентгенография черепа и турецкого седла (исключить опухоли гипофиза); трансректальное и трансабдоминальное УЗИ (размеры и структура яичек, придатков, предстательной железы, выявить изменения в семенных пузырьках в случае обструкции семявыводящих каналов или их отсутствии); доплерография мошонки, трансперитонеальное УЗИ мошонки – помогает установить варикоцеле, водянку яичка и расширение вен малого таза; термография мошонки (диагностика варикоцеле); вазография (рентгенологическое исследование семявыносящих каналов, семенных пузырьков и выявить очаг обструкции); биопсия яичка – в случае идиопатической азооспермии при нормальных размерах яичек и содержания ФСГ в крови.

В соответствии с общей методологией синтеза гибридных нечетных решающих правил были синтезированы три группы функций принадлежности (показатели оксидантного статуса плазмы крови, показатели цитокинового спектра плазмы крови, показатели функционально-метаболической активности нейтрофилов периферической крови) по трём выбранным диагностическим классам (пациенты с инфекционно-воспалительной формой бесплодия, пациентов с инфекционно-воспалительной формой бесплодия и простатитом, пациенты с переходной формой бесплодия) [5; 10; 12].

Как показано в работах [6–9], выделяют три наиболее эффективных тактики лечения мужского бесплодия:

- персонифицированная коррекция микронутриентного дефицита [7];
- низкоинтенсивная лазерная терапия (НИЛТ) органов мошонки [6; 8];
- антиоксидантная терапия при нарушениях генетического аппарата сперматозоидов [9; 11].

Проведенная терапия и оценка эффективности лечения представлены в таблице.

Оценка эффективности лечения

Метод лечения	Курс лечения	Оценка эффективности лечения/результаты
Персонифицированная коррекция микронутриентного дефицита	Проводилась персонифицированная коррекция уровней микронутриентов в соответствии с выявленными у пациентов их дефицитами (критически низким уровнем) путем назначения конкретных монокомпонентных препаратов в максимальных разрешенных суточных дозах (согласно официальной инструкции к препарату). Сравнение показателей с контрольной группой	Положительная динамика зафиксирована по всем оцениваемым параметрам с высокой степенью достоверности ($p < 0,001$), только по количеству сперматозоидов и объему эякулята степень достоверности была несколько ниже ($p < 0,05$), что не снижает ценности полученных результатов. Выявлено статистически значимое увеличение общей и прогрессивной подвижности, а также рост числа морфологически нормальных сперматозоидов

Продолжение табл.

Метод лечения	Курс лечения	Оценка эффективности лечения/результаты
Низкоинтенсивная лазерная терапия (НИЛТ) органов мошонки	Курс НИЛТ яичек в инфракрасном спектре (длина волны 870 нм, мощность 24 мВт) на аппарате «Рубин-Ц» (Россия). Выполняли 10 процедур лазеротерапии через день с очередным освечиванием по 3 мин тканей обоих яичек (воздействие на 5 точек с экспозицией по 35 с на каждую, по передней и задней поверхности, в верхнем, нижнем и центральном сегментах яичка). Сразу после окончания терапии, а также через один и два месяца после курса лечения проводили контрольное обследование, которое включало выполнение спермограммы, MAR-теста, определение степени ФДНКС и оценку гормонального статуса	Было отмечено повышение концентрации сперматозоидов (в среднем на 17%) сразу после лечения и через месяц после него (в среднем на 25%). Количество прогрессивно-подвижных форм сперматозоидов к моменту окончания курса НИЛТ возросло в среднем на 25% и оставалось таким в течение месяца. Результатом проведенного курса НИЛТ явилось наступление беременности у 11 из 50 (22%) супружеских пар: у 8 – в естественном репродуктивном цикле, у 3 – после проведения процедур вспомогательных репродуктивных технологий
Антиоксидантная терапия при нарушениях генетического аппарата сперматозоидов	Целостность цепочки ДНК сперматозоидов после оплодотворения сегодня рассматривается как один из основополагающих факторов нормального развития беременности. Фрагментация ДНК сперматозоидов может быть следствием как внутренних (мутации, влияющие на компактизацию молекулы ДНК, так и внешних факторов (ионизирующее излучение, гонадотоксины, воздействия повышенных температур, окислительный стресс, инфекции). Кроме того, причиной для повышенной фрагментации ДНК в сперматозоидах может быть курение, варикоцеле, эндокринные нарушения.	Антиоксидантная терапия положительно влияет на основные параметры эякулята, способствует улучшению основных его показателей, включая жизнеспособность сперматозоидов, что положительным образом сказывается на оплодотворяющей способности эякулята, а также на результатах ВРТ и частоте живорождений. Показано, что одним из наиболее оптимальных методов оценки ФДНКС является TUNEL.

Окончание табл.

Метод лечения	Курс лечения	Оценка эффективности лечения/результаты
	Согласно эпидемиологическим данным, распространенность повышенного уровня фрагментации ДНК сперматозоидов у мужчин с бесплодием достигает 8% . Более того, у значительной части мужчин с бесплодием и повышенной фрагментацией ДНК сперматозоидов может не быть никаких отклонений при исследовании (нормозооспермия). Для обнаружения повреждений ДНК сперматозоидов используют методы верификации фрагментации ДНК, такие как: структурный анализ хроматина сперматозоидов (SCSA), тест на дисперсию хроматина (SCD), никконцевое мечение dUTP при помощи терминальной дезоксирибонуклеотидил трансферазы (TUNEL) и электрофорез в геле (Comet), окрашивание анилиновым синим и хромомицином А3. Оценивалось влияние возраста пациента на вероятность патологической фрагментации ДНК сперматозоидов	Использование антиоксидантной терапии и выполнение хирургических вмешательств по поводу варикоцеле способствует нормализации целостности структуры ДНК сперматозоидов

Оценка результатов исследования показала, что диагностика мужского бесплодия является достаточно сложной и многогранной проблемой. В условиях большой неопределенности при проектировании систем поддержки принятия диагностических решений рекомендуется использовать методологию синтеза гибридных решающих правил [13]. Рассматриваемой в представленных материалах патологией должны заниматься, на наш взгляд, не только урологи и андрологи, но и «команда» смежных специалистов, включающая эндокринологов, генетиков, репродуктологов и семейных врачей. Конвергенция знаний и опытов в этом случае может привести к «прорывным результатам». Высокая значимость при постановке диагноза инфекционно-воспалительного бесплодия у мужчин заставляет задуматься о возможности создания интерактивных компьютерных программ и приложений, позволяющих определить дальнейшую тактику лечения и прогноз течения заболевания.

Список литературы

1. Male infertility in the Russian Federation: statistical data for 2000–2018 / G. S. Lebedev, N. A. Golubev, I. A. Shaderkin [et al.] // *Experimental and Clinical Urology*. 2019. Vol. 4. P. 4–13.
2. Inhorn M. C., Patrizio P. Infertility around the globe: new thinking on gender, reproductive technologies and global movements in the 21st century // *Hum Reprod Update*. 2015. Vol. 21, is. 4. P. 411–426. <http://doi.org/10.1093/humupd/dmv016>.
3. Фрагментация ДНК в сперматозоидах и ее взаимосвязь с нарушением сперматогенеза / С. А. Руднева, Е. Е. Брагина, Е. А. Арифудин [и др.] // *Андрология и генитальная хирургия*. 2014. Т. 15, № 4. С. 26–33. <http://doi.org/10.17650/2070-9781-2014-4>.
4. European Association of Urology guidelines on Male Infertility: the 2012 update / A. Jungwirth, A. Giwercman, H. Tournaye [et al.] // *Eur Urol*. 2012. Vol. 62, no. 2. P. 324–332. <http://doi.org/10.1016/j.eururo.2012.04.048>.
5. Применение математических моделей на основе технологии мягких вычислений для прогнозирования и диагностики урологических заболеваний / С. П. Серегин, С. Н. Корневская, А. Г. Коцарь [и др.] // *Биотехнология и биомедицинская инженерия: сборник научных трудов по материалам X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 25-летию биотехнологического факультета и 20-летию кафедры биологической и химической технологии*. Курск: Курск. гос. мед. ун-т, 2017. С. 107–117.
6. Винник Ю. Ю., Борисов В. В. Диагностика мужского бесплодия: современное состояние проблемы // *Клиническая лекция. Consilium Medicum*. 2017. Т. 19, № 7. P. 65–69. http://doi.org/10.26442/2075-1753_19.7.65-69.
7. Фрагментация ДНК сперматозоидов: клиническая значимость, причины, методы оценки и коррекции / С. Ю. Боровец, В. А. Егорова, А. М. Гзгзян [и др.] // *Урологические ведомости*. 2020. Т. 10, № 2. С. 173–180. <http://doi.org/10.17816/uroved102173-180>.
8. Роль ингибина В в регуляции сперматогенеза и его клиническая значимость при мужском бесплодии / Н. П. Лихоносков, А. Х. Аюб, А. Ю. Бабенко [и др.] // *Урологические ведомости*. 2019. Т. 9, № 1. С. 39–45. <http://doi.org/10.17816/uroved9139-45>.
9. Наумов Н. П., Щеплев П. А., Полозов В. В. Роль антиоксидантов в профилактике мужского бесплодия // *Андрология и генитальная хирургия*. 2019. Т. 20, № 1. С. 22–29. <http://doi.org/10.17650/2070-9781-2019-20-1-22-29>.
10. Математические модели оценки кровоснабжения простаты и устройство биоуправляемой магнитотерапии хронического простатита / Н. А. Корневский, С. П. Серегин, Д. А. Зубарев [и др.] // *Медицинская техника*. 2017. № 6 (306). С. 25–28.

11. Использование нечетких моделей для прогнозирования и диагностики заболеваний в урологии / С. П. Серегин, Д. А. Зубарев, И. И. Хрипина // Медико-экологические информационные технологии-2016: сборник научных статей по материалам XIX Международной научно-технической конференции / отв. ред. Н.А. Кореневский; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2016. С. 111–117.

12. Синтез гибридных нечетких решающих правил для классификации клинических вариантов течения генитального герпеса на основе моделей системных взаимосвязей / Н. А. Кореневский, М. И. Лукашов, М. В. Артеменко [и др.] // Фундаментальные исследования. 2014. № 10-5. С. 901–907.

S. P. Seregin¹, V. A. Klyuchnikova² ✉

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

² *Kursk State Medical University, Kursk, Russia*

✉ e-mail: olga_kluchnikova@mail.ru

SPECIFIC DIAGNOSIS OF MALE INFERTILITY AND THE CHOICE OF TREATMENT ON THE ETIOLOGICAL FACTORS OF THE DISEASE

The paper analyzes diagnostic methods and the choice of treatment tactics for male infertility.

Keywords: male infertility; diagnosis; spermogram; methods for the diagnosis.

УДК 621.317

Д. С. Коптев¹ ✉

¹ *ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия*

✉ e-mail: d.s.koptev@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕИНВАЗИВНОГО ОПТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ НАСЫЩЕНИЯ КРОВИ КИСЛОРОДОМ

В статье разработана математическая модель неинвазивного оптического двухволнового метода определения уровня насыщения крови кислородом с учетом наличия в составе крови только двух поглощающих фракций: оксигемоглобина и дезоксигемоглобина.

Ключевые слова: сатурация крови; экстремумы кровенаполнения; абсорбция; фотоплетизмограмма.

Фотометрический способ регистрации сигнала артериальной пульсации крови основан на методе фотометрии, в основу которого положена способность биологической ткани, содержащей пульсирующий сосуд, изменять степень поглощения светового потока, проходящего сквозь ткань.

В соответствии с законом Бугера – Ламберта – Бера [1] поглощение света будет зависеть от толщины биологической ткани, длины волны света и оптических свойств тканей, через которые это излучение проходит:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot e^{-\varepsilon_i(\lambda) \cdot C_i \cdot d}, \quad (1)$$

где $I(\lambda)$ – интенсивность света, прошедшего через биологическую ткань; $I_0(\lambda)$ – интенсивность света, падающего на биологическую ткань; $\varepsilon_i(\lambda)$ – коэффициент молярной экстинкции i -го поглощающего вещества; C_i – молярная концентрация i -го поглощающего вещества; d – толщина биологической ткани, через которую проходит излучение (рис. 1).

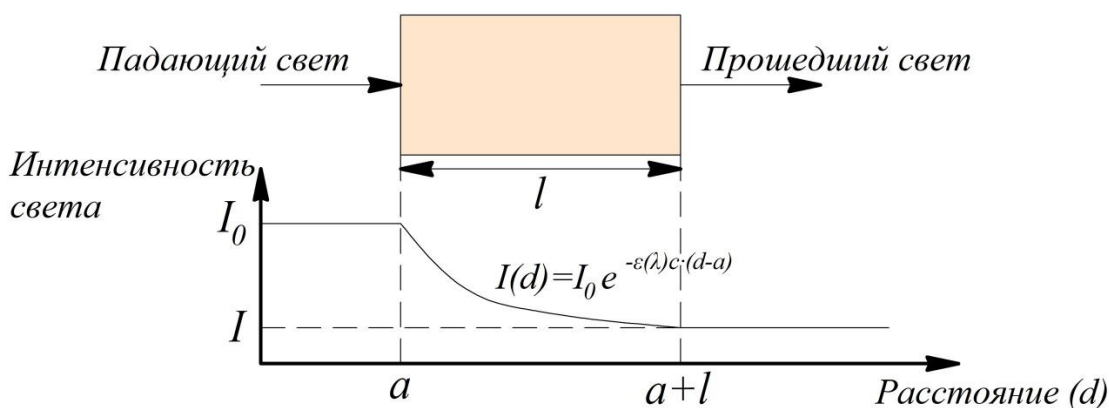


Рис. 1. Иллюстрация Закона Бугера –Ламберта – Бера

Указанный закон справедлив для одного вещества, находящегося в прозрачном, немутном растворе и постоянной оптической длине пути. Кроме того, между абсорбентом и растворителем не должно протекать химических реакций. В случае, когда исследуемый образец состоит из нескольких абсорбентов, как показано на рисунке 2, общая интенсивность прошедшего света, представленная в уравнении (1), является линейной суперпозицией интенсивностей каждого абсорбента (2).

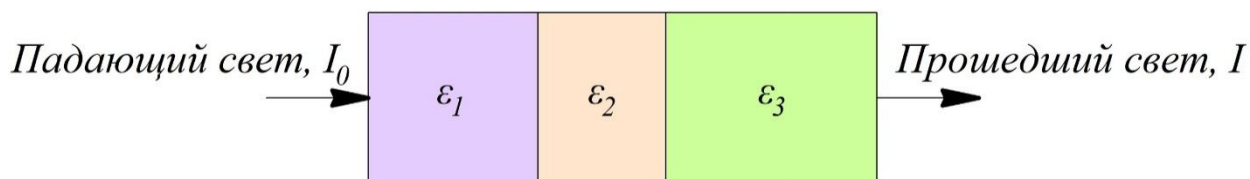


Рис. 2. Поглощающий слой, состоящий из нескольких абсорбентов

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot e^{\sum -\varepsilon_i(\lambda) \cdot C_i \cdot d_i} = I_0(\lambda) \cdot e^{-D(\lambda)}. \quad (2)$$

В основе всех неинвазивных методов оптической оксиметрии лежит изменение поглощения электромагнитной энергии молекулой гемоглобина при изменении ее химического состава, а точнее, разница в коэффициентах молярной экстинкции, характеризующих поглощение света различными длинами волн разными фракциями гемоглобина. Коэффициенты экстинкции четырех наиболее распространенных разновидностей гемоглобина представлены на рисунке 3 в диапазоне длин волн от 570 до 1000 нм.

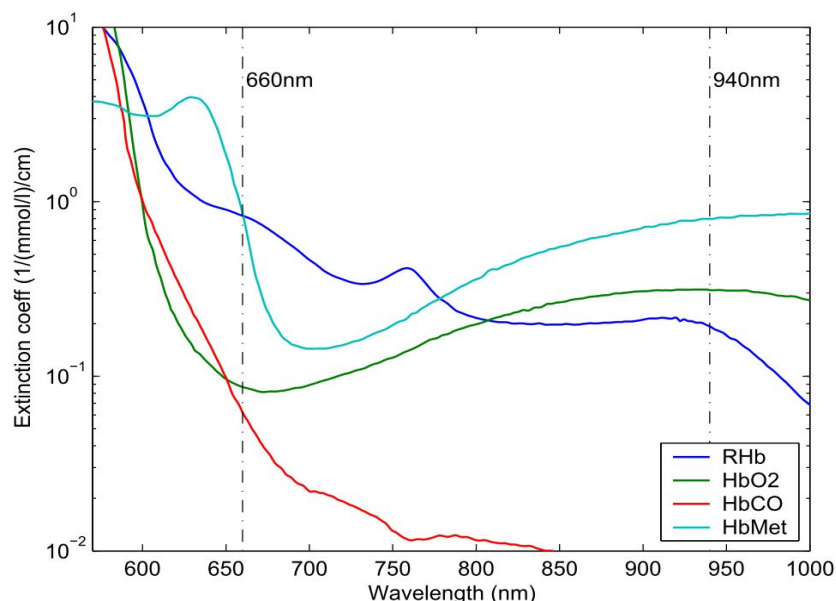


Рис. 3. Зависимость коэффициента молярной экстинкции от длины волны излучения для различных форм гемоглобина

Представленные спектры поглощения показывают, что карбоксигемоглобин (HbCO) практически не поглощает свет на длинах волн выше 850 нм и имеет очень схожее поглощение с оксигемоглобином на коротких длинах волн (от 570 нм до 640 нм). Метгемоглобин (metHb) имеет сильное поглощение на длинах волн до 640 нм и выше 840 нм. Длины волн, наиболее часто используемые в пульсовой оксиметрии, отмечены вертикальными линиями. Это красная ($\lambda_1 = 660\text{ нм}$) и ближняя инфракрасная ($\lambda_2 = 940\text{ нм}$) области спектра излучения, т. к. для получения наибольшей чувствительности в определении уровня насыщения крови кислородом необходимо выбирать длины волн излучения источников в тех участках спектра, для которых разность между коэффициентами поглощения оксигемоглобином (HbO₂) и дезоксигемоглобином (Hb) максимальна и противоположна по знаку.

В качестве количественной оценки поглощения света при пульсовой оксиметрии в соответствии с законом Бугера – Ламберта – Бера используется

значение оптической плотности $D(\lambda)$, которое с учётом свойств натурального логарифма $\ln(e^x) = x$ и $\ln\left(\frac{1}{x}\right) = -\ln(x)$ можно записать в виде

$$D(\lambda) = \ln(I_0(\lambda) / I(\lambda)) = \varepsilon(\lambda) \cdot C \cdot d. \quad (3)$$

Необходимо отметить, что данный закон строго справедлив только для монохроматического света. В ряде работ [2–6] показано, что суммарная оптическая плотность смеси веществ определяется как сумма поглощений компонент:

$$D(\lambda) = d_j \cdot \sum_{j=1}^n \varepsilon_j(\lambda_j) \cdot C_j. \quad (4)$$

Толщину биологической ткани, содержащей пульсирующий сосуд, можно представить в виде

$$d = d_k + \Delta d_k + d_t, \quad (5)$$

где d_k – исходный диаметр пульсирующего сосуда; Δd_k – изменение диаметра пульсирующего сосуда; d_t – толщина неппульсирующих компонентов биологической ткани, содержащей пульсирующий сосуд.

На рисунке 4 показано, как формируется фотоплетизмографический сигнал.

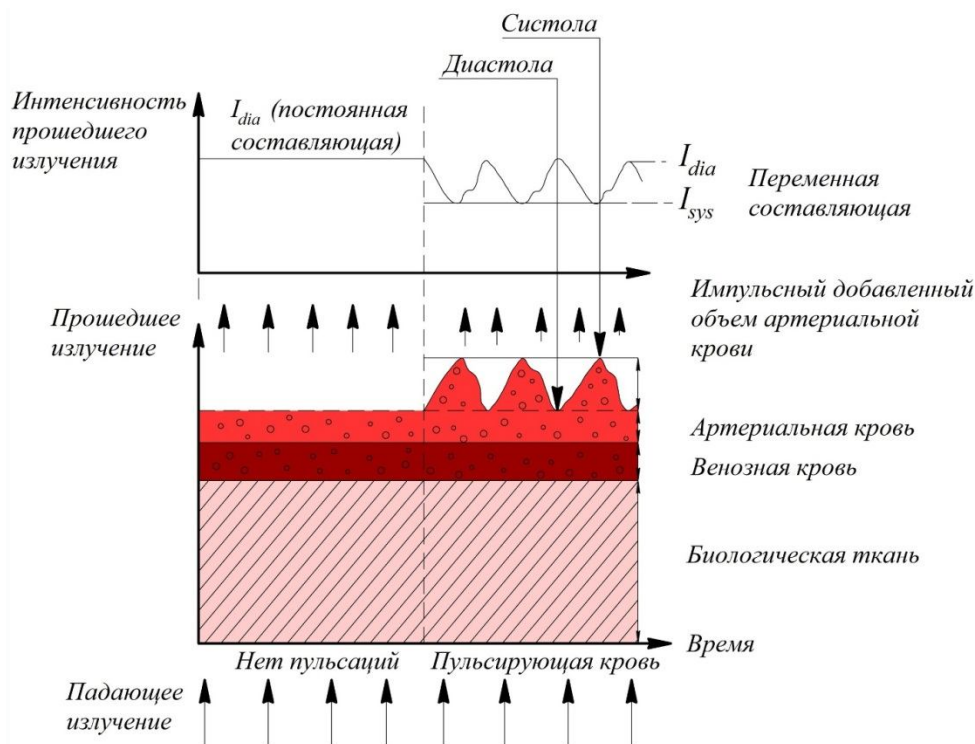


Рис. 4. Процесс формирования фотоплетизмографического сигнала

В нижней части рисунка показаны слои ткани в исследуемом образце, а в верхней части – получаемый фотоплетизмографический (ФПГ) сигнал. Постоянная составляющая ФПГ сигнала определяется при отсутствии пульсаций объема крови. Значение постоянной составляющей медленно изменяется вследствие дыхания, активности симпатической нервной системы, терморегуляции и изменений общей концентрации гемоглобина. В пульсоксиметрах зависящая от времени артериальная пульсация ФПГ-сигнала, также называемая переменной составляющей, отделяется от общего передаваемого сигнала. С учетом пульсирующей составляющей при прохождении монохроматического излучения сквозь биологическую ткань (например, мочку уха) значение интенсивности света на входе фотодетектора изменяется в пределах между максимумом I_{dia} в момент минимального кровенаполнения (диастола) и минимумом I_{sys} в момент максимального кровенаполнения (систола). На начальном этапе разработки математической модели примем, что в составе крови имеют место только две фракции: оксигемоглобин HbO_2 и дезоксигемоглобин Hb , поэтому суммарное поглощение света каждой длины волны определяется компонентами HbO_2 и Hb и тканями. На основании закона Бугера – Ламберта – Бера, используя пульсовую составляющую крови, можно записать два дополнительных уравнения для моментов времени, соответствующих максимальному и минимальному кровенаполнению. Таким образом, система уравнений для пульсовой оксиметрии будет иметь вид [7; 8]

$$\begin{cases} \ln(I_o(\lambda_1)/I_{sys}(\lambda_1)) = \varepsilon_{HbO_2}(\lambda_1) \cdot C_{HbO_2} d_{k1} + \varepsilon_{Hb}(\lambda_1) \cdot C_{Hb} d_{k1} + \varepsilon(\lambda_1) d_t, \\ \ln(I_o(\lambda_1)/I_{dia}(\lambda_1)) = \varepsilon_{HbO_2}(\lambda_1) \cdot C_{HbO_2} d_{k2} + \varepsilon_{Hb}(\lambda_1) \cdot C_{Hb} d_{k2} + \varepsilon(\lambda_1) d_t; \\ \ln(I_o(\lambda_2)/I_{sys}(\lambda_2)) = \varepsilon_{HbO_2}(\lambda_2) \cdot C_{HbO_2} d_{k1} + \varepsilon_{Hb}(\lambda_2) \cdot C_{Hb} d_{k1} + \varepsilon(\lambda_2) d_t; \\ \ln(I_o(\lambda_2)/I_{dia}(\lambda_2)) = \varepsilon_{HbO_2}(\lambda_2) \cdot C_{HbO_2} d_{k2} + \varepsilon_{Hb}(\lambda_2) \cdot C_{Hb} d_{k2} + \varepsilon(\lambda_2) d_t, \end{cases} \quad (6)$$

где $I_o(\lambda_1)$, $I_o(\lambda_2)$ – интенсивность падающего света для длин волн λ_1 и λ_2 ; $I_{sys}(\lambda_1)$, $I_{sys}(\lambda_2)$ – интенсивность прошедшего света при максимальном значении кровенаполнения сосуда для длин волн λ_1 и λ_2 ; d_{k1} – толщина сосуда при максимальном кровенаполнении; $I_{dia}(\lambda_1)$, $I_{dia}(\lambda_2)$ – интенсивность прошедшего света при минимальном значении кровенаполнения сосуда для длин волн λ_1 и λ_2 ; d_{k2} – толщина сосуда при минимальном кровенаполнении; $\varepsilon(\lambda_1)$, $\varepsilon(\lambda_2)$ – коэффициенты молярной экстинкции биологической ткани для длин волн λ_1 и λ_2 ; d_t – толщина просвечиваемой биологической ткани без учета крови.

Данную систему уравнений необходимо решить для нахождения зависимости функциональной сатурации от следующего ряда параметров:

$$\text{SpO}_2 = C_{\text{HbO}_2} / (C_{\text{HbO}_2} + C_{\text{Hb}}) = f(I_0(\lambda_1), I_0(\lambda_2), I_{\text{sys}}(\lambda_1), I_{\text{sys}}(\lambda_2), I_{\text{dia}}(\lambda_1), I_{\text{dia}}(\lambda_2)).$$

Упростим систему (6) путем вычитания второго и четвертого уравнений из первого и третьего соответственно:

$$\begin{cases} \ln(I_{\text{dia}}(\lambda_1) / I_{\text{sys}}(\lambda_1)) = (\varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_1) \cdot C_{\text{HbO}_2} + \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_1) \cdot C_{\text{Hb}}) \cdot (d_{k1} - d_{k2}); \\ \ln(I_{\text{dia}}(\lambda_2) / I_{\text{sys}}(\lambda_2)) = (\varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_2) \cdot C_{\text{HbO}_2} + \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_2) \cdot C_{\text{Hb}}) \cdot (d_{k1} - d_{k2}). \end{cases} \quad (7)$$

С учётом того, что величины $d_{k1} - d_{k2} = \Delta d_k$ одинаковы для красного и инфракрасного света, для однозначного решения относительно SpO_2 определим переменные C_{HbO_2} и C_{Hb} , получим:

$$\begin{cases} \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_1) \cdot C_{\text{HbO}_2} + \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_1) \cdot C_{\text{Hb}} = \frac{\ln(I_{\text{dia}}(\lambda_1) / I_{\text{sys}}(\lambda_1))}{\Delta d}; \\ \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_2) \cdot C_{\text{HbO}_2} + \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_2) \cdot C_{\text{Hb}} = \frac{\ln(I_{\text{dia}}(\lambda_2) / I_{\text{sys}}(\lambda_2))}{\Delta d}. \end{cases} \quad (8)$$

Система (8) представляет собой систему линейных алгебраических уравнений, которую удобно решить относительно неизвестных C_{HbO_2} и C_{Hb} по методу Крамера, в соответствии с которым искомые величины определяются в следующем виде:

$$C_{\text{HbO}_2} = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad C_{\text{Hb}} = \frac{\Delta_2}{\Delta}. \quad (9)$$

Воспользовавшись выражением для определения функциональной сатурации крови и проведя простейшие преобразования, можно записать:

$$\text{SpO}_2 = \frac{\frac{\ln(I_{\text{dia}}(\lambda_1) / I_{\text{sys}}(\lambda_1))}{\ln(I_{\text{dia}}(\lambda_2) / I_{\text{sys}}(\lambda_2))} \cdot \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_2) - \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_1)}{\frac{\ln(I_{\text{dia}}(\lambda_1) / I_{\text{sys}}(\lambda_1))}{\ln(I_{\text{dia}}(\lambda_2) / I_{\text{sys}}(\lambda_2))} \cdot (\varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_2) - \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_2)) + \varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_1) - \varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda_1)}.$$

Для получения аналитического решения воспользуемся возможностью разложения величин $\ln(I_{\text{dia}}(\lambda_1) / I_{\text{sys}}(\lambda_1))$ и $\ln(I_{\text{dia}}(\lambda_2) / I_{\text{sys}}(\lambda_2))$ в ряд Маклорена в соответствии с формулой

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \dots = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1} x^n}{n}. \quad (10)$$

Для логарифмического соотношения $\ln(I_{dia}(\lambda_1)/I_{sys}(\lambda_1))$ с учётом только первого члена ряда имеем

$$\ln\left(\frac{I_{dia}(\lambda_1)}{I_{sys}(\lambda_1)}\right) = \ln\left(\frac{I_{dia}(\lambda_1) - I_{sys}(\lambda_1)}{I_{sys}(\lambda_1)} + 1\right) = \ln\left(\frac{\Delta I(\lambda_1)}{I_{sys}(\lambda_1)} + 1\right) = \frac{\Delta I(\lambda_1)}{I_{sys}(\lambda_1)}, \quad (11)$$

где $\Delta I(\lambda_1) = I_{dia}(\lambda_1) - I_{sys}(\lambda_1)$.

Аналогично для второго соотношения $\ln(I_{dia}(\lambda_2)/I_{sys}(\lambda_2))$ получим

$$\ln\left(\frac{I_{dia}(\lambda_2)}{I_{sys}(\lambda_2)}\right) = \ln\left(\frac{I_{dia}(\lambda_2) - I_{sys}(\lambda_2)}{I_{sys}(\lambda_2)} + 1\right) = \ln\left(\frac{\Delta I(\lambda_2)}{I_{sys}(\lambda_2)} + 1\right) = \frac{\Delta I(\lambda_2)}{I_{sys}(\lambda_2)},$$

где $\Delta I(\lambda_2) = I_{dia}(\lambda_2) - I_{sys}(\lambda_2)$.

Таким образом, справедливо следующее равенство:

$$\frac{\ln(I_{dia}(\lambda_1)/I_{sys}(\lambda_1))}{\ln(I_{dia}(\lambda_2)/I_{sys}(\lambda_2))} = \frac{\Delta I(\lambda_1)}{I_{sys}(\lambda_1)} / \frac{\Delta I(\lambda_2)}{I_{sys}(\lambda_2)} = R,$$

где R – аргумент калибровочной зависимости SpO_2 .

Следовательно, искомую величину функциональной сатурации крови SpO_2 можно записать в виде

$$SpO_2 = \frac{\varepsilon_{Hb}(\lambda_1) - R \cdot \varepsilon_{Hb}(\lambda_2)}{\varepsilon_{Hb}(\lambda_1) - \varepsilon_{HbO_2}(\lambda_1) + R \cdot (\varepsilon_{HbO_2}(\lambda_2) - \varepsilon_{Hb}(\lambda_2))}. \quad (12)$$

Выражение (12) и есть главная функциональная зависимость, которая лежит в основе работы всех пульсовых оксиметров. Основная задача пульсового оксиметра – измерить с возможно большей точностью величину R и затем поставить в соответствие измеренному значению R величину SpO_2 по калибровочной характеристике, заложенной в память прибора в виде функции (12).

Спектры поглощения HbO_2 и общего дезоксигемоглобина Hb достаточно хорошо изучены. На длинах волн 340, 410, 430, 450, 500, 569, 586, 805 нм поглощение света этими формами гемоглобина практически одинаково. Эти точки носят название изобестических, которые необходимо использовать в качестве реперных, когда необходимо исключить разницу в измерениях, связанных с неодинаковым пропусканием света венозной и артериальной кровью. На длинах волн 470, 660, 940 нм наблюдаются наибольшие различия в коэффициентах молярной экстинкции для Hb и HbO_2 . Проводя измерения на этих длинах волн в сочетании с измерениями на одной или более изобестических точках, определяется процент оксигенированной крови.

Экспериментально было установлено, что значения $\frac{\Delta I(\lambda)}{I_{\text{sys}}(\lambda)}$ для λ_1 и λ_2

лежат в пределах от 0,0125 до 0,1 и зависят от степени сжатия биологической кюветы между источниками излучения и фотоприемником, а также состоянием организма обследуемого в целом [8; 9]. При выполнении расчетов используем только первый член разложения выражения (11) в ряд Маклорена и получим следующее упрощенное выражение для аргумента калибровочной зависимости: $R = \frac{\Delta I(\lambda_1)}{I_{\text{sys}}(\lambda_1)} / \frac{\Delta I(\lambda_2)}{I_{\text{sys}}(\lambda_2)}$. Зададим следующие исходные данные для исследования данной модели (табл.).

Исходные данные для исследования модели

Порядковый номер исследования	Длина волны, нм	Коэффициент молярной экстинкции	
		оксигемоглобина $\varepsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda)$	дезоксигемоглобина $\varepsilon_{\text{Hb}}(\lambda)$
1	650	0,118	0,872
	805	0,196	0,196
2	660	0,1	0,82
	805	0,196	0,196
3	650	0,118	0,872
	940	0,3	0,16
4	660	0,1	0,82
	940	0,3	0,16

Результаты математического моделирования представлены на рисунке 5.

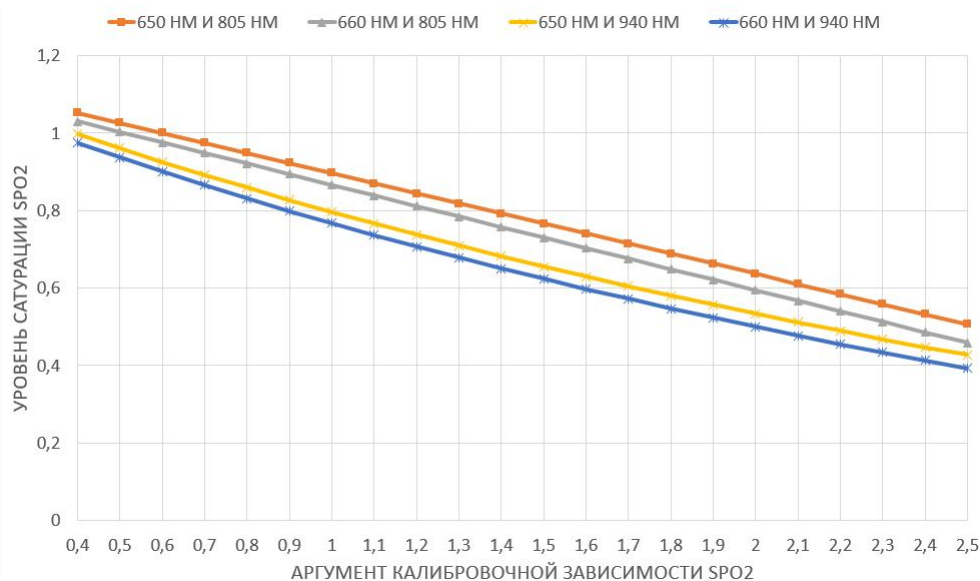


Рис. 5. Результаты математического моделирования

Из полученных результатов моделирования видно, что максимальную крутизну $SpO_2(R)$, а соответственно и самую высокую чувствительность имеет нижний график, что обуславливает практически повсеместное использование длин волн 660 нм и 940 нм в пульсоксиметрах при определении уровня оксигенации крови.

Список литературы

1. Бугер П. Оптический трактат о градации света. М.: Изд-во АН СССР, 1950.
2. Multicomponent analysis of hemoglobin derivatives with reversed-optics spectrophotometer / A. Zwart, A. Buursma, E. J. van Kampen [et al.] // Clin Chem. 1984. Vol. 30, no. 3. P. 373-9.
3. Pologe J.A. Pulse oximetry: technical aspects of machine desing // Int. Anesth. Clin. 1987. Vol. 25, no. 3. P. 137–154.
4. Aoyagi T., Miyasaka K. Pulse oximetry: its invention, contribution to medicine, and future tasks // Anesthesia and Analgesia. 2002. Vol. 94, no. 2. P. 11–13.
5. Skin photoplethysmography: a review / A.A. Kamal [et al.] // Comput. Methods Programs Biomed. 1989. Vol. 28. P. 257.
6. Шурыгин И. А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. СПб.: Невский диалект; М.: БИНОМ, 2000. 301. С. 16.
7. Стерлин Ю. Г. Специфические проблемы разработки пульсовых оксиметров // Медицинская техника. 1993. № 1. С. 26–30.
8. Орлов А. С. Определение степени насыщения циркулирующей крови кислородом по амплитуде пульсовой волны // Медицинская техника. 1992. № 5. С. 16–18.
9. Лебединский К. М., Мазурок В. А., Матус К. М. Пульсовой оксиметр с логарифмическим фотоприемником // Медицинская техника. 2010. № 4 (262). С. 25–30.

D. S. Koptev¹ ✉

¹ Southwest State University, Kursk, Russia

✉ e-mail: d.s.koptev@mail.ru

MATHEMATICAL MODEL OF A NON-INVASIVE OPTICAL METHOD FOR DETERMINING THE LEVEL OF BLOOD OXYGEN SATURATION

The article developed a mathematical model of a non-invasive optical two-wave method for determining the level of blood oxygen saturation, taking into account the presence of only two absorbing fractions in the blood: oxyhemoglobin and deoxyhemoglobin.

Keywords: blood saturation; extremums of blood filling; absorption; photoplethysmogram.

УДК 004.891.3

Е. В. Крикунова¹, Р. И. Сафронов², А. В. Серебровский¹, С. А. Филист¹ ✉

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

² Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И. И. Иванова, Курск, Россия

✉ e-mail: sfilist@gmail.com

МОДЕЛИ САМООРГАНИЗУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛИЗА АДАПТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОРГАНИЗМА

Рассматривается возможность классифицировать адаптационный потенциал сложных систем посредством латентных переменных, формируемых на основе понятия структурно-функциональной единицы. Предложена модель перехода сложной системы из одного функционального состояния в другое. Модель позволяет осуществлять контроль динамики ФС сложной системы. При должном выборе индикаторных переменных, позволяющих определять переход системы из одного ФС в другое, можно прогнозировать эффективность внешних воздействий на систему посредством определения ее функционального резерва, соответствующего определенному классу экзогенного фактора. Для системы ФС рассматривается как двухкомпонентный вектор, характеризующий соотношение неактивированных и активированных структурно-функциональных единиц.

Ключевые слова: сложная система; функциональное состояние; латентные переменные; логистическая модель; структурно-функциональная единица; индикаторные переменные.

Адаптационная способность человека может рассматриваться как латентная переменная, информацию о которой получают посредством индикаторных переменных, построив соответствующие модели, обеспечивающие устойчивые связи между ними. В качестве модели сложной системы выбрана модель, основанная на активизации структурно-функциональных единиц (СФЕ) [1]. Уровень адекватной реакции системы на экзогенные факторы определяется числом СФЕ, активизированных или деактивированных в результате соответствующей акции [2]. Система рассчитана на номинальный режим работы, под которым будем понимать минимальное количество «активированных» СФЕ согласно принципу «бритвы Оккама». Возможности самоорганизации системы определяются числом «свободных» СФЕ, т. е. таких СФЕ, которые могут принять участие в модификации структуры системы – формирования функциональных систем согласно теории функциональных систем П. К. Анохина.

Результат воздействия на систему определяется наличием функциональной системы, адаптированной под это воздействие, и числом свободных СФЕ, способных модифицировать или создать функциональную систему,

адаптированную к этому воздействию [3]. Из этого определения следует, что функциональное состояние системы (ФСС) относительно i -го экзогенного фактора связано функциональной зависимостью с количеством свободных СФЕ, способных активизировать защитные функции организма на i -й экзогенный фактор.

Чтобы определить ФСС, необходимо выбрать множество индикаторных переменных, которые, с одной стороны, были бы доступны для измерения, а с другой – достаточно полно отражали ФСС или ее подсистем при всех дискретных значениях адаптационного потенциала – числа свободных СФЕ. Это условие отражают следующие выражения:

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

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

$$Y_i = Y_{i-1} + \psi(P_i), \quad (3)$$

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

где θ_i – ФС функциональной системы в i -м состоянии; $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ – множество индикаторных переменных; Y_i – вектор, характеризующий i -е состояние ФС θ_i с компонентами y_1 – число включенных в функциональную систему θ_i СФЕ, y_2 – число СФЕ, находящихся в резерве в данном ФС θ_i ; P_{ij} – условная вероятность перехода ФС из состояния θ_{i-1} в состояние θ_i при условии, что она была в состоянии θ_{i-1} , в случае воздействия на систему фактора α_j , $j = \overline{1, M}$ (при этом $\alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_M$) [4; 5].

Для построения модели системы в соответствии с вышеизложенным подходом необходимо иметь информацию о количестве свободных СФЕ в системе, а также ее ФС. Следовательно, должен быть построен классификатор ФСС и классификатор адаптационных возможностей или функционального резерва (ФР) сложной системы.

Решающий модуль для определения состояния сложной системы в выбранном пространстве признаков не может быть обучаемым классификатором, т. к. координаты такого пространства нельзя измерить непосредственно, а также сформировать обучающую выборку с априорно известными значениями признаков. Наиболее перспективным способом решения поставленной задачи является построение экспертной системы с набором «свидетельств», которые характеризовали бы принадлежность объекта наблюдения к определенному нечеткому множеству, причем различные свидетельства относятся к компетенции различных экспертов. В конечном счете каждый эксперт анализирует некоторое множество косвенных признаков (индикаторных переменных) и на основе их анализа делает заключение о принадлежности объекта

наблюдения (латентной переменной) к некоторому интервалу на соответствующей шкале. Так как указать четкие интервалы на этой шкале не представляется возможным, то такую интервальную шкалу назовем нечеткой [6].

Классификационная модель живой системы основана на формировании подмножеств информативных признаков – индикаторных переменных, выбор и анализ которых основан на экспертном оценивании. Идея измерения латентных переменных основана на опросе экспертов с *последующим усреднением их мнений, что позволяет получить некоторую точку на интервальной шкале*. При этом индикаторные переменные получают посредством опросника или синтезируются согласно методам, описанным в [3; 4], причем грань между респондентом и экспертом стирается, т. к. оцениваться может не только объект через опросник (метод), но и сам опросник (метод).

В модели нечеткого шкалирования, представленной на рисунке 1, выделено два уровня экспертного оценивания. На первом уровне исследуемый объект характеризуется некоторыми информационными «срезами». Каждый информационный срез представлен подмножеством косвенных по отношению к искомой латентной переменной признаков.

Эксперты второго уровня анализируют эти подмножества признаков и выносят решение о принадлежности исследуемого объекта или его свойства к нечеткому интервалу на порядковой шкале. Такие решения представляются в виде нечетких решающих правил продукционного типа. Решающие правила могут использовать как только одно подмножество косвенных признаков, так и произвольную комбинацию признаков, взятых из нескольких подмножеств. Обычно решающие правила, которые в данном случае выступают в качестве «слабых» классификаторов, строятся по одному множеству косвенных признаков и отражают мнения экспертов о состоянии сложной динамической системы, полученные по результатам анализа одного множества косвенных признаков. Ситуация может измениться, когда на первом экспертном уровне осуществляется локальное шкалирование на четких или нечетких шкалах. Локальное шкалирование состоит в том, что по подмножеству косвенных признаков получают четкую или нечеткую шкалу для локальной (локальных) латентных или нелатентных переменных. В этом случае решающие правила строятся экспертами второго уровня по различным подмножествам информативных признаков с учетом их трансформации в локальные переменные.

Решающие правила на втором уровне формируются по разным подмножествам признаков разными экспертами. Каждое нечеткое решающее правило определяет уверенность или принадлежность данной латентной переменной к данному нечеткому множеству нечеткой шкалы. На рисунке 1 в целях компактности представления концептуальной модели выбрано только три нечетких множества, обозначенные терминами *min, med, max*.

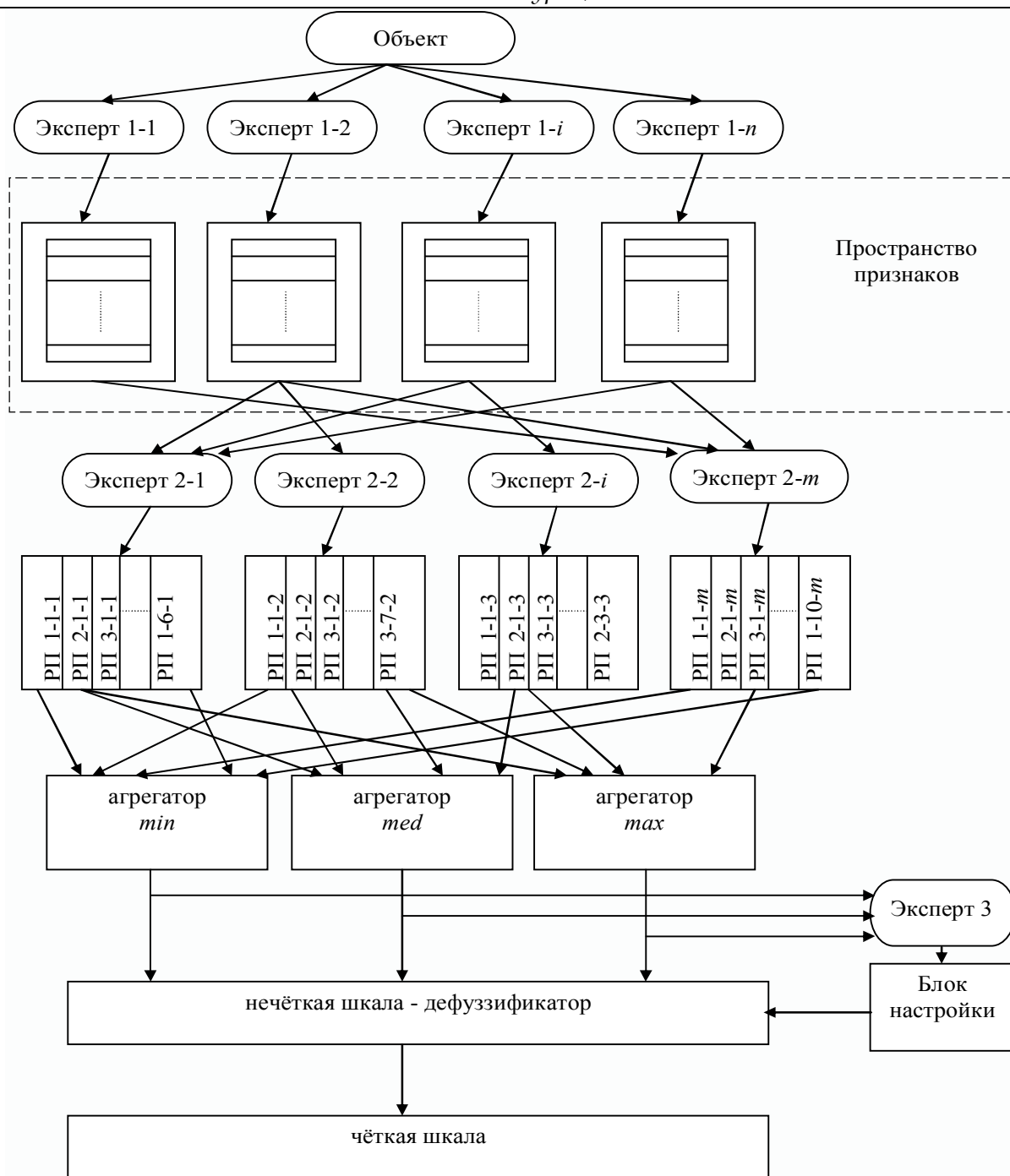


Рис. 1. Модель нечёткого шкалирования

На уровне концептуальной модели, представленном агрегаторами, осуществляется агрегация нечетких решающих правил для каждого термина. Известно множество методов и алгоритмов построения агрегаторов нечетких решающих правил [7; 8]. Основным недостатком этих методов, на наш взгляд, является то, что авторы не пытаются обосновать свои подходы к агрегации нечетких решающих правил и не представляют рабочих методов, позволяющих верифицировать полученный результат, поэтому разработчику остается только констатировать качество работы полученной модели и при

отрицательном результате натуральных испытаний внести соответствующие изменения в модель. Для нечетких моделей, связанных с долгосрочным прогнозом, такая возможность отсутствует, поэтому при разработке метода агрегации будем ориентироваться на хорошо зарекомендовавшие себя методы агрегации, используемые в системах медицинского прогнозирования.

Сформировав пространство информативных признаков для каждого подмножества косвенных информативных признаков, можем приступить к построению «слабых» классификаторов для определения искомого латентных переменных.

В каждом подмножестве косвенных признаков строятся «слабые» классификаторы, принимающие решения по соответствующему подмножеству косвенных информативных признаков. Для агрегирования решений «слабых» классификаторов используются «сильные» классификаторы агрегаторы, которые агрегируют решения «слабых» классификаторов.

Сильные классификаторы, согласно модели рисунка 1, объединяются в нечеткую шкалу посредством дефuzziфикатора. Окончательная задача состоит в том, чтобы по нечеткой шкале получить точку, соответствующую функциональному резерву (ФР) исследуемой системы. Нечеткая шкала должна быть разбита на нечеткие множества. Так как априорных данных об этой шкале нет, т. е. она представляет собой некий конструкт, то на ней произвольно введем три нечетких множества посредством трех термов: «высокий», «средний», «низкий», которые разбивают шкалу $[0, 1]$ на три пересекающихся подмножества (рисунок 2).

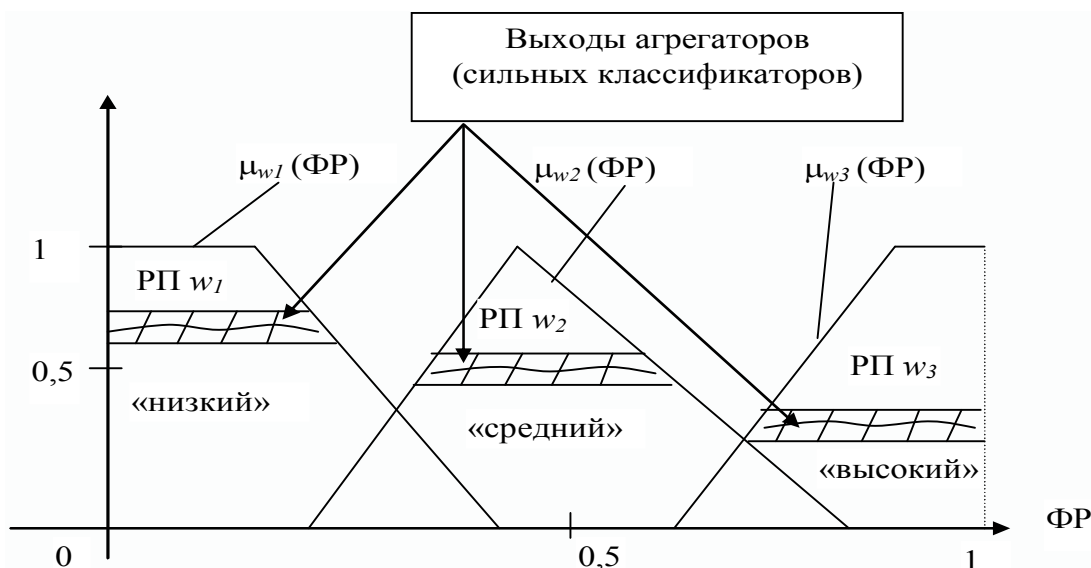


Рис. 2. Технология измерения ФР на нечеткой интервальной шкале

Принадлежность искомой точки к этим подмножествам определяется посредством набора нечетких продукций и правил их агрегации (посредством сильных классификаторов). После определения принадлежности объекта к каждому из этих подмножеств посредством дефuzziфикации опреде-

ляем окончательную (четкую) координату искомой точки на измерительной шкале. Окончательный этап этого процесса иллюстрирует рисунок 2.

Для того чтобы реализовать технологию измерения ФР, представленную на рисунке 2, необходимо сформировать множество решающих правил для определения значений функций принадлежности для каждого из термов w_1, w_2, w_3 .

Так как в формируемом признаковом пространстве могут быть представлены не все релевантные информативные признаки или сегменты, то было предложено ввести дополнительный «слабый» псевдоклассификатор, который мы назовем *D*-классификатором. Псевдоклассификатор генерирует на выходе число в диапазоне от 0 до 1, значение которого подбирается для каждого объекта обучающей выборки таким образом, чтобы минимизировать ошибку «сильного» классификатора при его обучении. На схеме модели это прерогатива Эксперта 3 (см. рис. 1). Псевдоклассификатор ничего не дает при классификации неизвестного образца, но позволяет перераспределить соотношения весов других, не фиктивных «слабых» классификаторов, с учетом влияния ненаблюдаемого фактора.

Настройку решающего модуля осуществляем в два этапа. «Слабые» классификаторы формируются на основе экспертных оценок. После формирования «слабых» классификаторов формируется сильный классификатор посредством обучения по результатам опросов респондентов с заболеваниями, включенными в задачи исследования.

Выводы

1. Предложена концептуальная модель функционального состояния сложной системы, основанная на понятии *функциональный резерв СФЕ*, позволяющая построить классификационные модели для оценки адаптационного потенциала сложной системы на качественном уровне посредством соответствующего выбора управляемых акций и суррогатных маркеров.

2. Модель для определения ФР сложной системы в пространстве векторных латентных переменных основана на нечетком шкалировании компонентов вектора состояния системы, отличающейся трехуровневой схемой экспертного оценивания, на первом уровне которой формируются слабые классификаторы на основе суррогатных маркеров, эксперты второго уровня формируют решающие правила для сильных классификаторов второго уровня, построенного на основе агрегирования решений «слабых» классификаторов, а эксперт третьего уровня формирует нечеткую шкалу для дефузификатора на выходе классификатора, что позволяет строить решающие модули для классификации и прогнозирования функционального состояния сложных систем.

3. Предлагаемая модель может быть использована в различных целях:

- для оценки степени опасности экологического загрязнения окружающей среды;
- для оценки степени эффективности лекарственных средств и их побочных реакций;
- для формирования тестов на профессиональную пригодность и др.

Список литературы

1. Гайдес М. А. Общая теория систем (системы и системный анализ). Тель Авив: Госпиталь им. Хаима Шибы, Тель Ашомер, 2004. 360 с.
2. Структурно-функциональная модель для мониторинга влияния управляющих воздействий на функциональное состояние самоорганизующихся систем / А. Н. Шуткин, П. С. Кудрявцев, В. В. Протасова [и др.] // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. Научно-технический журнал. 2015. № 2 (30). С. 105–119.
3. Филист С. А., Уварова В. В., Шуткин А. Н. Структурно-функциональная модель мета-анализа медико-экологических данных // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Общетехническая. 2015. Вып. 7. С. 102–110.
4. Нейросетевые модели для метаанализа медико-экологических данных / А. Н. Шуткин, А. Г. Курочкин, В. В. Протасова [и др.] // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2015. № 6. С. 48–54.
5. Гибридные многоагентные классификаторы в биотехнических системах диагностики заболеваний и мониторинге лекарственных назначений / А. Н. Шуткин, М. А. Ефремов, О. В. Шаталова [и др.] // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2015. № 6. С. 42–48.
6. Теория проектирования нечетких сетевых экспертных систем для управления медико-экологической безопасностью / Н. А. Корневский, С. А. Филист, А. Б. Красковский [и др.] // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2009. № 9-1 (64), т. 11. С. 146–151.
7. Метод и алгоритм классификации сложных объектов на основе частотного и частотно-временного анализа медленных волн системных ритмов / А. А. Маслак, И. И. Волков, Ф. А. Старков [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 1(40), ч. 1. С. 47–52.
8. Филист С. А., Волков И. И., Емельянов С. Г. Метод классификации сложных объектов на основе анализа структурных функций медленных волн // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. № 4. С. 6–11.

E. V. Krikunova¹, R. I. Safronov², A. V. Serebrovsky¹, S. A. Philist¹ ✉

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

² *Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanova, Kursk, Russia*

✉ e-mail: sfilist@gmail.com

MODELS OF SELF-ORGANIZING SYSTEMS FOR ANALYSIS OF THE ADAPTIVE CAPABILITIES OF THE BODY

The article considers the possibility of classifying the adaptive potential of complex systems by means of latent variables formed on the basis of the concept of a structural-functional unit. A model of the transition of a complex system from one functional state (FS) to another is

proposed. The model makes it possible to control the dynamics of the FS of a complex system. With a proper choice of indicator variables that allow determining the transition of the system from one FS to another, it is possible to predict the effectiveness of external influences on the system by determining its functional reserve corresponding to a certain class of exogenous factor. For the FS system, it is considered as a two-component vector characterizing the ratio of non-activated and activated structural and functional units.

Ke words: complex system; functional state; latent variables; logistic model; structural - functional unit; indicator variables.

УДК 004.9

Л. В. Стародубцева¹✉, В. В. Стародубцев¹, Е. Н. Корневская²

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

² Донецкий национальный технический университет, Донецк, Донецкая Народная Республика

✉ e-mail: lilja-74@inbox.ru¹

ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ ГИБРИДНЫХ НЕЧЕТКИХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе рассмотрены исторические предпосылки разработки гибридных нечетких интеллектуальных технологий для медицинских исследований, раскрывается их сущность и перспективы использования.

Ключевые слова: гибридные нечеткие решающие правила; теория распознавания образов; интеллектуальные технологии; медицинская диагностика.

Значительное количество проблем медицинской диагностики решается методами теории распознавания образов (ТРО), которая в современном представлении насчитывает более трехсот методов, методик и алгоритмов [1; 2; 3].

Многочисленные исследования в различных областях знаний, включая медицину, показали, что наилучшие показатели качества классификации достигаются, когда структура исследуемых данных соответствует выбираемым типам математических моделей [4; 5; 6; 7; 8; 9].

Анализ задач прогнозирования и медицинской диагностики позволил сделать вывод, что часто они имеют сложную структуру, не поддающуюся точному аналитическому описанию, поскольку человек является чрезвычайно сложным, динамичным объектом [4; 5; 10; 11].

В такой ситуации классические методы ТРО «работают» достаточно «плохо». Для повышения качества принимаемых решений в условиях плохой

формализации и нечеткого описания исследуемых классов состояний ряд исследователей предлагает использовать теорию нечеткой логики принятия решений (ТНЛПР), разработанную Л. Заде, значительно расширенную его учениками [10; 12; 13; 14; 15].

Базовыми элементами ТНЛПР являются характеристические функции $\mu_A(x)$, характеризующие в интервале $[0,1]$ степень принадлежности (соответствия) x нечеткому множеству A . В современной литературе функцию $\mu_A(x)$ называют функцией принадлежности четкой переменной x к нечеткому множеству A . Функции принадлежности определяются либо числами в интервале $[0, 1]$, либо в виде лингвистических переменных, обозначающие слова или словосочетания.

В практических приложениях для задания функций принадлежности используют разные виды и формы кривых. Функции принадлежности являются основой для построения нечетких правил логического вывода (НПЛВ). Нечеткий логический вывод реализуется набором правил, которые содержат нечеткие высказывания типа «если – то» и функции принадлежности для соответствующих лингвистических термов.

Правило типа «если – то» называют нечеткой импликацией, которое записывается в виде

$$\text{ЕСЛИ}(x \text{ это } A), \text{ ТО } [y \text{ это } B], \quad (1)$$

где A и B – лингвистические выражения, которые идентифицируются нечетким образом с помощью соответствующих функций принадлежности для переменных x и y . Для N переменных x_i выражение (1) принимает вид

$$\text{ЕСЛИ } (x_1 \text{ это } A_1) \text{ и } (x_2 \text{ это } A_2) \text{ и } \dots \text{ и } (x_N \text{ это } A_N), \text{ ТО } [y \text{ это } B], \quad (2)$$

где x_1, x_2, \dots – N -мерный входной вектор X , который составляет аргумент условия; A_1, A_2, \dots, A_N и B – величины коэффициентов принадлежности $\mu_A(x_i)$ и $\mu_B(y)$.

Специалисты, решающие задачи оценки состояния сложных систем с использованием нечеткой логики Л. Заде, часто отмечают, что при мощных математических возможностях этой логики сложно, а часто практически невозможно получить нечеткие многомерные модели, описывающие реальные объекты исследования. Достаточно сложными являются задачи выбора форм и параметров функций принадлежности, а также способы их агрегации в модели, адекватно описывающие состояния исследуемых объектов [5; 10; 11; 16; 17].

Изучая достоинства и недостатки современных подходов к использованию ТНЛПР в различных сферах человеческой деятельности, профессор Н. А. Корневский пришел к выводу о том, что возможности нечеткой логики принятия решений могут быть значительно расширены, если логику нечеткого представления в виде функций принадлежности перенести на другие типы

моделей, адекватно описывающие различные классы состояний, а выбор параметров элементов решающих правил и их агрегацию в финальные решающие правила производить с учетом структуры данных, исследуемой методами разведочного анализа. Развитие этой идеи легло в основу методологии синтеза гибридных решающих правил (МСГНРП), достаточно подробно описанной в работах [5; 11; 16; 17].

Отличительной особенностью МСГНРП является активное соединение естественного интеллекта врачей (клиническое мышление) и интеллекта инженера-когнитолога с элементами искусственного интеллекта. Клиническое мышление восполняет недостаток необходимых статистических данных и позволяет при взаимодействии с инженером-когнитологом строить формальные модели для плохоформализуемых задач. Инженер-когнитолог, используя данные разведочного анализа, подбирает математические модели, адекватные структуре данных решаемых задач. Рациональное взаимодействие интеллектуальных составляющих обеспечивается соответствующим алгоритмическим обеспечением МСГНРП. Такой подход даёт возможность создавать качественно новые экспертные системы (ЭС), позволяющие решать более широкий круг задач повышения качества ведения пациентов в условиях неполноты и неопределённости исходных данных.

Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил, разработанная на кафедре биомедицинской инженерии (БМИ) ЮЗГУ, в своем базовом виде реализуется с использованием следующих основных этапов:

1. В ходе разведочного анализа высококвалифицированные эксперты формируют алфавит исследуемых классов состояний и состав пространства информативных признаков.

2. Если в ходе разведочного анализа структура данных позволяет строить разделяющие гиперповерхности и классификационные эталоны, то для функции принадлежности $\mu_{\omega_\ell}(d_{lk})$ к исследуемым классам состояний ω_ℓ базовая переменная выбирается как расстояние от разделяющей поверхности (эталона) с номером k до координат исследуемого объекта. Механизмы построения $\mu_{\omega_\ell}(d_{lk})$ подробно описаны в работах [5; 11; 16; 17].

3. Если по условию задачи отсутствие хотя бы одного из свидетельств приводит к необходимости отказа от решения в пользу класса ω_ℓ , рекомендуется использовать правила типа

$$UR_\ell = \min_r [US_\ell(r)], \quad (3)$$

где UR_ℓ – уверенность в принадлежности объекта к классу ω_ℓ ; $US_\ell(r)$ – уверенность в ω_ℓ от параметра r .

Параметры определяются для частных решений по признаку x_i , вычисляемому параметру y_i , решающему правилу нижнего уровня US_ℓ и т.д.

4. Если решение необходимо принимается при наличии хотя бы одного свидетельства в пользу исследуемой гипотезы ω_ℓ , то рекомендуется использовать правила типа

$$UR_\ell = \max_r [US_\ell(r)]. \quad (4)$$

5. Если используется несколько свидетельств, удовлетворяющих условиям (3) и (4), целесообразно проверить эффективность правила типа

$$UR_\ell = \max_k \max_j [US_{\ell,k,j}(r)]. \quad (5)$$

6. Если частные свидетельства таковы, что приводят к увеличению уверенности в ω_ℓ или к ее опровержению, то целесообразно использовать идею Е. Шортлифа по применению накопительных итерационных формул вида

$$UR_\ell(r+1) = UR_\ell(r) + US_\ell(r+1)[1 - UR_\ell], \quad (6)$$

где $US_\ell(r+1)$ – уверенность в ω_ℓ от свидетельства, поступающего на $(r+1)$ -м шаге (в частном случае $US_\ell(r+1) = \mu_{\omega_\ell}(x_{i+1})$). Для опровержения гипотезы ω_ℓ вводится мера недоверия \overline{UR}_ℓ :

$$\overline{UR}_\ell(q+1) = \overline{UR}_\ell(q) + \overline{US}_\ell(q+1)[1 - \overline{UR}_\ell], \quad (7)$$

где q – номер свидетельства против класса ω_ℓ .

Формулы (6) и (7) можно использовать совместно:

$$URF_\ell = UR_\ell(J) - \overline{UR}_\ell(Q), \quad (8)$$

где J – число итераций в формуле (6); Q – число итераций в формуле (7).

В работах [5; 11; 16; 17] показано, как описанные наборы решающих правил объединять в коллективы гибридных моделей, обеспечивающих решение сложных медицинских задач с требуемой для практического здравоохранения точностью.

Разработанная учеными ЮЗГУ методология была опробована и доказала свою эффективность при решении широкого круга задач в области медицины, психологии, профпатологии, экологии и эргономики.

Список литературы

1. Вапник В. Н., Червоненкис А. Я. Теория распознавания образов. М.: Наука, 1974. 487 с.
2. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Методы распознавания. М.: Высш. шк., 2004. 261 с.
3. Галушкин А. И. Синтез многослойных систем распознавания образов. М: Энергия, 1974. 386 с.

4. Корневский Н. А. Принципы и методы построения интерактивных систем диагностики и управления состоянием здоровья человека на основе полифункциональных моделей: автореф. дис. ... докт. техн. наук. СПб., 1993. 32 с.
5. Корневский Н. А., Родионова С. Н., Хрипина И. И. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений: монография. Ст. Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.
6. Терехина А. Ю. Анализ данных методами многомерного шкалирования. М.: Наука, 1986. 215 с.
7. Sammon J. W. JR. Interactive pattern analysis and classification // IEEE Transactions on computers. 1970. Vol. C-19, is. 7. P. 594–616.
8. Sammon Y. W. A. Nonlinear mapping for data structure analysis // IEEE Trans/ Comput. 1969. Vol. 18, no. 5. P. 401–409.
9. Sammon J. W. JR., Proctor A. H., Roberts D. F. An interactive-graphic subsystem For pattern analysis // Pattern Recognition Pergamon Press. 1971. Vol. 3. P. 37–52.
10. Воронцов И. М., Шаповалов В. В., Шерстюк Ю. М. Здоровье. Опыт разработки и обоснование применения автоматизированных систем для мониторинга и скринирующей диагностики нарушений здоровья. СПб.: ООО «ИПК Коста», 2006. 432 с.
11. Корневский Н. А., Горбатенко С. А., Серебровский В. И. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография. Ст. Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.
12. Заде Л. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений // Математика сегодня. М.: Знание, 1974. С. 5–49.
13. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 312 с.
14. Zadeh L. A. Fuzzy sets // Information and Control. 1965. Vol. 8. P. 338–353.
15. Zadeh L. A. Advances in fuzzy mathematics and engineering fuzzy sets and fuzzy information-granulation theory. Beijing: Beijing Normal University-Press, 2005.
16. Корневский Н. А. Проектирование нечетких решающих сетей, настраиваемых по структуре данных для задач медицинской диагностики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2005. Т. 4, № 1. С. 12–20.
17. Корневский Н. А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1 (289). С. 33–35.

L. V. Starodubtseva¹ ✉, V. V. Starodubtsev¹, E. N. Korenevskaya²

¹ Southwest State University, Kursk, Russia

² Donetsk national technical University, Donetsk, Donetsk People's Republic

✉ e-mail: lilja-74@inbox.ru

HISTORICAL BACKGROUND FOR THE DEVELOPMENT OF HYBRID FUZZY INTELLIGENT TECHNOLOGIES FOR MEDICAL RESEARCH

The paper examines the historical background for the development of hybrid fuzzy intelligent technologies for medical research, reveals their essence and prospects for use.

Keywords: hybrid fuzzy decision rules; pattern recognition theory; intelligent technologies; medical diagnostics.

УДК 57.087

Д. С. Родионов¹ ✉

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

✉ e-mail: dmit5324@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИКИ ФОРМ ПИЕЛОНЕФРИТА ПРИ МОЧЕКАМЕННОЙ БОЛЕЗНИ

В работе рассматриваются вопросы дифференциальной диагностики серозного и гнойного пиелонефритов у больных с мочекаменной болезнью с использованием лабораторных показателей состояния перекисного окисления липидов с применением нечеткой логики принятия решений. Проверка результатов срабатывания полученных решающих правил на контрольной выборке показала, что диагностическая эффективность предлагаемого метода достигает 93%, что приемлемо для использования в медицинской практике.

Ключевые слова: пиелонефрит; мочекаменная болезнь; перекисное окисление липидов; серозный; гнойный; гибридные нечеткие решающие правила.

Одной из актуальных проблем урологии является проблема лечения больных, страдающих мочекаменной болезнью (МКБ). Одним из осложнений МКБ является пиелонефрит. Многочисленными исследованиями установлено усиление перекисного окисления липидов (ПОЛ) на фоне снижения антиокислительной активности как универсального процесса, играющего важную роль в патогенезе многих заболеваний. Процессы ПОЛ и сопутствующие нарушения систем антиоксидантной системы играют важную роль в патогенезе воспалительных заболеваний почек и свидетельствуют о перспективности новых подходов к дифференциальной диагностике форм пиелонефрита.

При выборе методов исследования использован предыдущий опыт по синтезу математических моделей дифференциальной диагностики серозных и гнойных форм пиелонефрита у беременных на основе данных об иммунном и оксидантном статусе организма, описанный в работе [1]. Однако дальнейшие исследования авторов показали, что выбранный состав информативных признаков не учитывает особенностей системного взаимовлияния наличия МКБ на протекание пиелонефрита и в силу этого не является оптимальным. Это делает целесообразным уточнение как списка информативных признаков, так и параметров решающих правил с целью повышения качества ведения исследуемой категории пациентов.

В условиях нечеткой природы исследуемых классов состояний и неявной их связи с используемым пространством признаков в работах [2; 3; 4] для выбора информативных признаков обосновывается использование теории измерения латентных переменных с миделью Г. Раша. В данной работе выбор информативных признаков осуществлялся с использованием интерактивного пакета RUMM 2020. В результате этого этапа исследований было показано, что для дифференциальной диагностики исследуемых форм пиелонефрита у беременных с качеством не хуже, чем в работе [1], достаточно использовать показатели, характеризующие оксидантный статус организма, исключив блок признаков иммунного статуса. Это позволяет сократить время и затраты на исследования почти в два раза при сохранении требуемого качества диагностики.

Список отобранных информативных признаков представлен в таблице.

Показатели оксидантного статуса плазмы крови больных острым и гнойным пиелонефритом

Показатели	Ед. изм.	1	2
		Серозный пиелонефрит	Гнойный пиелонефрит
		до лечения	до лечения
x_1 : МДА	Мкмоль/л	$0,75 \pm 0,08$	$4,4 \pm 0,2$
x_2 : АГП	у.е.	$0,38 \pm 0,03$	$1,3 \pm 0,06$
x_3 : СОД	у.е.	$16,6 \pm 0,5$	$8,3 \pm 0,4$
x_4 : Каталаза	мкат/л	$15,4 \pm 0,5$	$8,6 \pm 0,3$

По этой группе признаков эксперты выделили три класса состояний пациентов, важных для определения тактики лечения: серозный пиелонефрит (класс $\omega_{СП}$); гнойный пиелонефрит (класс $\omega_{ГП}$); переходная форма пиелонефрита между серозной и гнойной формами (класс $\omega_{ПС}$).

С учетом нечеткой природы исследуемых классов состояний роль информативных признаков в диагностике исследуемых классов состояний ω_ℓ представлена соответствующими функциями принадлежности $\mu_\ell(x_i)$ ($\ell = СП -$

серозный пиелонефрит, гп – гнойный пиелонефрит, пс – переходная форма пиелонефрита).

Формируя пространство информативных признаков и выбирая форму и параметры соответствующих функций принадлежности, эксперты придерживаются такого правила, что добавление новой информации (нового информативного признака) должно увеличивать уверенность в исследуемой гипотезе ω_ℓ . С учетом этого в качестве агрегирующей формулы нечеткого заключения, согласно рекомендациям [5; 2] целесообразно использовать модифицированную итерационную формулу расчета уверенности Е. Шотлифа, в которой меры доверия от вновь вводимого признака x_{i+1} заменяются соответствующими функциями принадлежности $\mu_\ell(x_{i+1})$.

Тогда внутри группы признаков r коэффициент уверенности в том, что пациент принадлежит классу $\omega_\ell(KY_{r\ell})$ на $(q+1)$ -шаге итерации определяется нечетким выражением

$$KY_{r\ell}(q+1) = KY_{r\ell}(q) + \mu_{r\ell}(x_{j+1})[1 - KY_{r\ell}(q)], \quad (1)$$

где $KY_{r\ell}(1) = \mu_{r\ell}(x_1)$; q – номер итерации выражения (1).

Финальные уверенности в классификации $KY_{0\ell}$ получают агрегацией коэффициентов уверенности по группам:

$$KY_{0\ell}(p+1) = KY_{0\ell}(p) + KY_{r\ell}(r+1)[1 - KY_{0\ell}(p)], \quad (2)$$

где $KY_{0\ell}(p) = KY_{1\ell}(1)$; p – номер итерации выражения (2).

Решение о принадлежности к одному из классов состояния принимается по максимальной величине финальных коэффициентов уверенности при условии, что максимальный из коэффициентов уверенности превышает заданное экспертами пороговое значение KY^Π :

$$\Omega_\ell = \max[KY_{0r\Pi}, KY_{0сп}, KY_{0пс}]. \quad (3)$$

Рекомендуемая величина порога $KY^\Pi = 0,6$. При равенстве коэффициентов уверенности по выбранным классам решение принимается в пользу более тяжелой формы заболевания. При $KY_\ell < KY^\Pi$ принимается решение об отсутствии гнойной формы пиелонефрита.

В ходе экспертного оценивания и математического моделирования было показано, что уверенность в дифференциальной диагностике выбранных форм пиелонефрита превышает величину 0,9. Этот результат был подтвержден на репрезентативных контрольных выборках.

Список литературы

1. Система поддержки принятия решений при дифференциальной диагностике форм пиелонефрита у беременных женщин на основе иммунного и оксидантного статуса / С. П. Серегин, Т. Н. Говорухина, С. Н. Родионова,

И. М. Холименко, С. В. Петров, Г. В. Сипливый, В. В. Дмитриева // Медицинская техника. 2019. Т. 53, № 5. С. 45–48.

2. Корневский Н. А., Родионова С. Н., Хрипина И. И. Методология синтеза гибридных нечётких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений: монография. Ст. Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.

3. Использование теории измерения латентных переменных для оценки уровня психоэмоционального напряжения / Н. А. Корневский, А. Н. Шуткин, Е. А. Бойцова, Е. Н. Корневская // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. № 3(11). С. 103–118.

4. Корневский Н. А., Шуткин А. Н., Бойцова Е. А. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша // Медицинская техника. 2015. № 6. С. 37–40.

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

UDC 611.8

Ebiem Chioma Deborah¹ ✉, **M. A. Zhukova²**

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

² *Kursk State Medical University, Kursk, Russia*

✉ e-mail: ebiemchiochio022@gmail.com

USE OF MEDICAL DECISION SUPPORT SYSTEMS IN NEUROLOGY

The current level of health care development involves the use of information systems to improve the efficiency of medical care, including in the field of neurology. The paper briefly discusses the main trends in the development and operation of a system for supporting medical decision-making in the differential diagnosis of emergency neurological conditions, such as: strokes, traumatic brain injuries and spinal cord injuries, infectious diseases, including early diagnosis in the emergency departments of clinics.

Keywords: medical decision-making systems; neurology; prevention; treatment of neurological diseases.

In the conditions of modern healthcare, the greatest attention is paid to the problem of the development and application of information medical systems, their integration in the direction of building a single information space. Medical information systems include systems for supporting medical decision-making, the work of which is aimed at improving the quality of medical care.

The purpose of the work: to study the capabilities of medical decision support systems to improve the quality of differential diagnosis of acute focal and diffuse lesions of the central nervous system in patients with traumatic focal brain lesions and brain strokes.

The term "decision support system" refers to a computer system that, by collecting and analyzing information, is able to influence decision-making processes in various areas of human activity [1]. In the field of health care, "medical decision support systems" (CDSSs) are used, which are used in both diagnostic and therapeutic activities. CDSS are software that can perform a number of functions that significantly improve the quality of medical services.

Depending on the functions and tasks performed, DSS are classified as follows [2; 3]:

1. Information and reference CDSS: Reference and library systems; Electronic medical records; Integral anamnesis; Automation of medical appointments; Automatic support for clinical guidelines; Automatic control of medical care quality criteria

2. Intelligent DSS, which are computing systems:

- Models constructed using methods of multidimensional mathematical statistics, neural networks

- Models constructed using mathematical logic methods

- Systems that model the doctor's reasoning

3. Hybrid CDSS, which include information and reference and intelligent components.

Clinical Decision support Systems (CDSS), a special type of information system designed to assist decision makers. It is important to note the multiplicity of classification options, but some of them are not widely accepted, and others, successful for their time, have lost their relevance [4].

CDSS in neurology

Diagnostic DSSRS are used for diseases of the nervous system. The system of differential diagnosis of headaches was proposed by Maizels M. and Wolfe WJ. (Maizels M, Wolfe WJ, 2008) [5]. Episodic migraine and chronic tension headache were diagnosed by the expert system in 100% of cases (35 and 11 cases, respectively), transformed migraine-in 85.7% of cases (42/49 patients). Episodic tension headache (2 cases) and episodic bundle pain (1 case) were also correctly diagnosed in all cases. In addition, the peculiarity of this information system was its ability to determine the correctness of antitumor therapy. The diagnostic accuracy of excessive drug use was 82.7% (34/52 patients).

For the diagnosis of polyneuropathy, a decision support system based on a fuzzy logic algorithm with the inclusion of clinical and EMNG data was proposed [6]. A total of 84 patients were examined, in which, according to clinical and ENMG studies, motor polyneuropathy was observed in 39 cases, and sensitive

polyneuropathy-in 45 cases. The control group consisted of 20 healthy individuals. The data to be entered into the analysis included clinical symptoms (motor, sensory disorders, sensation and pain patterns, etc.) and ENMG results.

The result was the presence/absence of polyneuropathy and the predominant involvement of motor, sensory, or all fibers, as well as the myelin sheath or axial cylinder. The system's diagnostic accuracy reached 93.3%.

Expert systems to support the doctor's decisions are used in the differential diagnosis of demyelinating diseases. Thus, an artificial neural network was proposed for the differential diagnosis of optic neuritis and anterior ischemic neuropathy of the optic nerve [7]. Neural network training was conducted on 116 patients with verified diagnoses of optic neuritis and anterior ischemic optic neuropathy (clinical data and additional research results met the "gold standard" for these diseases). The study was conducted directly on 128 patients with a suspected diagnosis of a particular disease. The following clinical indicators were evaluated: gender, age, degree and rate of vision loss / improvement, presence of vascular diseases (hypertension, diabetes mellitus, migraine), edema of the optic disc, changes in visual fields, including scotomas, and local pain syndrome. The coincidence of diagnoses with the opinion of specialists in optical neuritis was 97.8% (88/90), and in anterior ischemic neuropathy of the optic nerve - 94.7% (36/38). Mitsui, Haruya.). we have developed an expert system based on a multicore learning algorithm for the differential diagnosis of multiple sclerosis and opticomyelitis (Devic's opticomyelitis).

The study involved 30 patients with opticomyelitis (56% - 17/30 had antibodies to aquaporin-4), 25 patients with multiple sclerosis and 35 healthy (control group). For differential diagnosis, we used a combination of clinical (total EDSS scores, 9 m self-walking, 9-hole filling test), neuropsychological (10-word memory test), and neuroimaging/visualization criteria of the brain (cortical thickness, sub-cortical core state, volume and number of hypointensive foci in T1 mode in T2/FLARE mode, anisotropy of the cortical-spinal pathway, visual radiation and corpus callosum, state of MRI associations, including at the level of neck pathways, and visual pathways. The accuracy of the differential diagnosis between multiple sclerosis and opticomyelitis was 88%, with the volume and number of foci in the white matter, the state of associative connections, and the results of neuropsychological tests being the most significant variables. Isolated clinical and radiological syndrome can be the debut of multiple sclerosis, and therefore much attention is paid to the correct diagnosis and interpretation of this condition.

One of the most difficult sections of emergency medicine is traumatic injuries and, especially, combined injuries with damage to the brain and / or spinal cord. Traumatic brain injuries are one of the most pressing problems of medicine and society as a whole. More than 50% of these injuries, including traumatic brain injury, are under the age of 40. Traumatic injuries are the leading cause of death and disability at a young age.

The structure of the CDSS contains several modules, the coordinated work of which significantly increases the accuracy of diagnosis and the appointment of treatment or prevention measures.

1. The data collection and storage module receives information about the patient's examination, forming a database.

2. The survey data processing module structures the patient data.

3. Module for forming conclusions and making a diagnosis. Based on deviations in the parameters of examinations and screenings, symptoms and syndromes are identified.

4. The module for forming a treatment regimen is based on clinical recommendations.

5. The module for selecting and adjusting the treatment regimen allows the attending physician to adjust the treatment plan. When changes are made to the treatment regimen, additional data processing takes place and an additional algorithm for treating a particular pathology is developed.

6. The interface of the attending physician allows the medical professional to enter the data of the patient's examinations, conduct screenings, receive the results of calculations in the form of recommended treatment regimens, as well as make adjustments to the treatment regimens.

A feature of modern diagnostics in the field of neurology is a large number of used methods of instrumental diagnostics of diseases of the central and peripheral nervous systems, namely magnetic resonance imaging (MRI), computed tomography (CT), electroencephalography (EEG), electroneuromyography (ENMG), ultrasound (ultrasound), angiography. The introduction of DSSR is necessary to improve the accuracy of the diagnosis of neurological diseases based on the analysis of the results of instrumental studies and the choice of methods for their treatment and prevention.

Another section of emergency medicine is brain strokes. Every year, about 15 million new cases of stroke are registered in the world, including about 800 thousand in the United States and about 1 million in Europe. In the United States, brain strokes are the leading cause of long-term disability. According to the American Association for the Study of Cardiovascular Diseases in 2010, there were more than 6.8 million people who had a stroke in the United States. The total cost of annual medical (direct and indirect) expenses in the United States exceeded \$72 billion in 2013 prices [8]. Various expert systems have been developed and proposed for clinical use in this field. In the review of the possibilities of ES in cerebral stroke, it is noted that they can primarily be used in the analysis of neuroimaging images, including in remote access mode and in telemedicine, in the classification of stroke mechanisms, in predicting the outcome and determining indications for rehabilitation.

One of the important problems is the accurate diagnosis of stroke in the first few hours of the disease, when there may not yet be changes in the CT that are

characteristic of the ischemic process . In hospitalized patients without CT changes, the rate of erroneous diagnosis of stroke reaches 13-30%. A group of researchers from the United States proposed an ES based on an artificial neural network to support the decision when setting in the absence of changes on CT . The sensitivity and specificity of ES in diagnostics was 80.0% and 86.2%, the accuracy of AI diagnostics reached 85.2% (pseudo-stroke-81.1%). We compared the effectiveness of an artificial neural network, discriminant analysis, and logistic regression in predicting the course of a brain stroke. The prediction accuracy using an artificial neural network reached 99.9% for hemorrhagic stroke and 97.8% for ischemic stroke. He proposed an expert algorithm using a committee (ensemble) of critical trees to predict the 30-day outcome of a hemorrhagic stroke. The retrospective study included 423 patients who analyzed their age, gender, presence of arterial hypertension, diabetes mellitus, CHD, history of stroke, presence of anemia, and the need for dialysis. The total score on the Glasgow com scale, systolic, diastolic and mean blood pressure, anemia and blood glucose levels, localization, volume and localization of hemorrhage, midline displacement and hydrocephalus were also evaluated. A comparative analysis of this algorithm showed its advantage over the artificial neural network algorithm, the support vector machine, logistic regression, and the hemorrhagic stroke prognosis rating scale. The accuracy, sensitivity, and specificity of the algorithm using a committee (ensemble) of decision trees was 78.5%, 79.0%, and 78.4%.

Differential diagnosis is one of the most difficult sections of clinical medicine. Of particular importance is the implementation of differential diagnostic measures at the pre-hospital stage in the conditions of emergency and emergency departments and emergency departments, when, along with the critical condition of the patient, there is often a lack of time to conduct a full range of examinations. One of the important tasks at the stages of emergency medical care and reception is the differential diagnosis of emergency lesions of the nervous system. The most difficult for differential diagnosis are nervous intoxication, brain strokes, traumatic brain injuries and infectious lesions of the nervous system. The complexity of the diagnosis of these conditions lies in the urgent, urgent nature of the disease, the need for the fastest possible medical care, including intensive therapy, as well as the beginning of specific treatment - restoration of blood flow (thrombolysis, thromboextraction), surgical treatment of hemorrhagic stroke, aneurysm rupture, antibacterial/antiviral therapy of infectious diseases.

In neurology, the use of CDSS can be an indispensable link in the emergency diagnosis of strokes, traumatic brain injuries, neuroinfections, toxic lesions of the nervous system, if the diagnosis is complicated by the absence of specific pathological changes in the results of instrumental studies.

In the Russian Federation, a system of automation of clinical guidelines and treatment audit (SACRAL) has been developed in the field of neurology, designed for differential diagnosis of acute cerebral circulatory disorders and making per-

sonalized decisions on the tactics of managing patients with these pathologies [2]. The program is based on formalization, subsequent coding of clinical recommendations according to the rule "if..., then..." and the formation of decision tables based on automated analysis of the entered data of laboratory and instrumental studies, which allows differentiating the type of stroke, the severity of neurological disorders and the severity of the patient's condition. The configuration provides prompt updating of the content of the latest clinical guidelines, and when a patient is discharged from the hospital, an audit form is filled out, including indicators of the quality of medical care provided. An important function of this program for the prevention of the development of repeated episodes of acute cerebral circulatory disorders is the development of a form of dispensary observation of persons who have suffered a stroke at the stage of outpatient management.

Conclusions. The introduction of CDSS in various fields of medicine, including neurology, is an integral part of the development of high-tech medical care. In neurology, DSSS can be used primarily for the urgent differential diagnosis of neurological diseases, as well as for the development of personalized treatment regimens and prevention measures for various diseases.

Reference

1. Systems for supporting medical decisions in medicine / S. V. Frolov, A. Yu. Kulikov, O. A. Ostapenko [et al.] // *Nauchnyj zhurnal*. 2018. No. 9.
2. Rebrova O. Yu. Efficiency of medical decision support systems: methods and results of evaluation // *Clinical and experimental thyroidology*. 2019. Vol. 15, no. 4. P. 148–155.
3. System of automation of clinical guidelines and audit of treatment (SACRAL) in neurology / G. I. Nazarenko, E. B. Kleimenova, M. Konstantinova [et al.] // *Doctor*. 2014. No. 9. P. 84–87.
4. Kiriyyenko V. E. On one approach to the classification of decision support systems // *Problems of management in social systems*. 2013. No. 5. P. 66–73.
5. A clinical decision support system for the diagnosis of probable migraine and probable tension-type headache, based on specific examples / Yin Qiming, Znao dong, Xudong Lu [et al.] // *Journal of Headache and Pain*. 2015. Vol. 16, is.1. P. 1-9.
6. Kunhimangalam Rida, Sujit Ovallat, Paul K. Joseph. A clinical decision support system with integrated EMR for the diagnosis of peripheral neuropathy // *Journal of Medical Systems*. 2014. Vol. 38, is. 4.
7. The study of acute optic neuritis: a review and proposed protocol / A. Petzold, M. P. Wattjes, F. Costello [et al.] // *Nature Reviews Neurology*. 2014. Vol. 10, is. 8. P. 447–458.
8. Heart disease and stroke statistics-2013 update / A. S. Go, D. Mozaffarian, V. L. Roger [et al.] // *American Heart Association Report. Circulation*. 2013. Vol. 127, is. 1. P. e6-e245.

Обади Мехдхар Фадхль Ахмед¹ ✉

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

✉ e-mail: mehdar@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫБОРКИ ДАННЫХ ВИДЕОДАТЧИКА

В работе рассмотрен процесс моделирования устройства приема изображений на основе КМОП видеодатчика, отражена основная особенность данной модели. Приведены формулы для расчета времени одного цикла считывания. Также была оценена пропускная способность датчика с применением КМОП-технологии 0,5 мкм. Было выполнено моделирование работы устройства с помощью системы автоматизированного проектирования.

Ключевые слова: КМОП-датчики; моделирование; цикл считывания; процесс выборки строки; пропускная способность датчика.

В настоящее время применяются различные способы для проведения тестовых испытаний устройств на основе КМОП-структур с помощью средств моделирования. Данные устройства широко используются в промышленности и медицине и их исследование и моделирование позволяет определить пути решения задач повышения быстродействия при обработке и передаче информации в видеосистемах на базе таких структур [1–3].

Особенность разработки модели предложенного устройства приема изображения заключается в записи значений освещенности в форме интервалов времени. Для вычислений и моделирования работы схемы было использовано программное обеспечение MATLAB.

Для расчета времени одного цикла считывания используем следующую формулу:

$$T_{\text{Ц}} = \max(T_{\text{запр.стр}} T_{\text{выб.стр}} + T_{\text{выб.стр}}) + T_{\text{записи}} + T_{\text{блок.пикселя}}$$

где $T_{\text{запр.стр}}$ – промежуток времени передачи запроса строки памяти; $T_{\text{выб.стр}}$ – промежуток времени для выбора одной из строк матрицы пикселей; $T_{\text{выб.столбца}}$ – промежуток времени для подачи сигнала выбора столбца на блок памяти; $T_{\text{записи}}$ – промежуток времени для записи значения в память кадра; $T_{\text{блок.пикселя}}$ – промежуток времени для блокировки пикселя, когда он прочитан для текущего кадра.

Запись в память и процесс выборки строки могут проходить параллельно, что уменьшает задержки. Также в расчет цикла не входит время по-

дачи сигнала от пикселя на схему выборки, т. к. цикл начинается и заканчивается сигналом от данной схемы. Была оценена пропускная способность датчика с применением КМОП технологии 0,5 мкм. Для этого использовали массив пикселей размером 8×8. Время работы схемы выборки ($T_{\text{выб.стр}}$) составляет $0,5 \cdot (K+1) \cdot 0,5$ нс для 2^K строк, т. е. время работы схемы выборки получается около 2 нс. $T_{\text{выб.столбца}}$ и $T_{\text{блок.пикселя}}$ равны 3 и 3,7 нс соответственно. Если время записи для современного блока памяти равно 5 нс, тогда время цикла составляет

$$T_{\text{Ц}} = \max(5, 2 + 3) + 5 + 3,7 = 13,7 \text{ нс}.$$

Используя время одного цикла, можно вычислить пропускную способность для матрицы, состоящей из N пикселей. В нашей схеме мы используем моделирование для N = 64. Максимальное значение можно получить как:

$$T_{\text{макс.проп}} = \frac{N}{T_{\text{Ц}}} = \frac{64}{13,7 \text{ нс}} = 4,67 \text{ Гпикс/с}.$$

В худшем случае, когда только один пиксель считывается за время цикла, пропускная способность:

$$T_{\text{мин.проп}} = \frac{1}{T_{\text{Ц}}} = \frac{1}{13,7 \text{ нс}} = 73 \text{ Мпикс/с}.$$

Значит, для считывания одного кадра матрицы 64х64 пикселей понадобится время:

$$T_{\text{мин.кадр}} = \frac{64 \times 64}{T_{\text{макс.проп}}} = 0,87 \text{ мкс};$$
$$T_{\text{макс.кадр}} = \frac{64 \times 64}{T_{\text{мин.проп}}} = 56 \text{ мкс}.$$

Из анализа данных показаний следует, что пропускная способность данной схемы позволяет выполнить формирование кадра в память за время не более 56 мкс. При работе схемы существуют различные факторы возникновения ошибок при считывании и передаче данных, один из основных – условия съемки и сложность рабочей сцены. Эти и другие причины являются уменьшением показателей пропускной способности и точность считывания изображения [4–5].

Для моделирования работы схемы выбора строки проведем исследование для считывания нескольких пикселей изображения (рис.). Например, необходимо записать значения освещенности для пикселей в строках и столбцах соответственно. Схема выборки получает несколько сигналов, вы-

бирает ячейку под определенным номером и посылает ответный сигнал для вычисления координат столбцов.

В момент времени t_1 подается сигнал от схемы выборки о том, что строка выбрана и будет записана. Тогда на время t_2 от пикселя подается сигнал на все активные столбцы, в этот момент и происходит запись в ячейки памяти с соответствующими координатами. По завершении записи сигнал выбора со строки снимается и считываются пиксели с других строк.

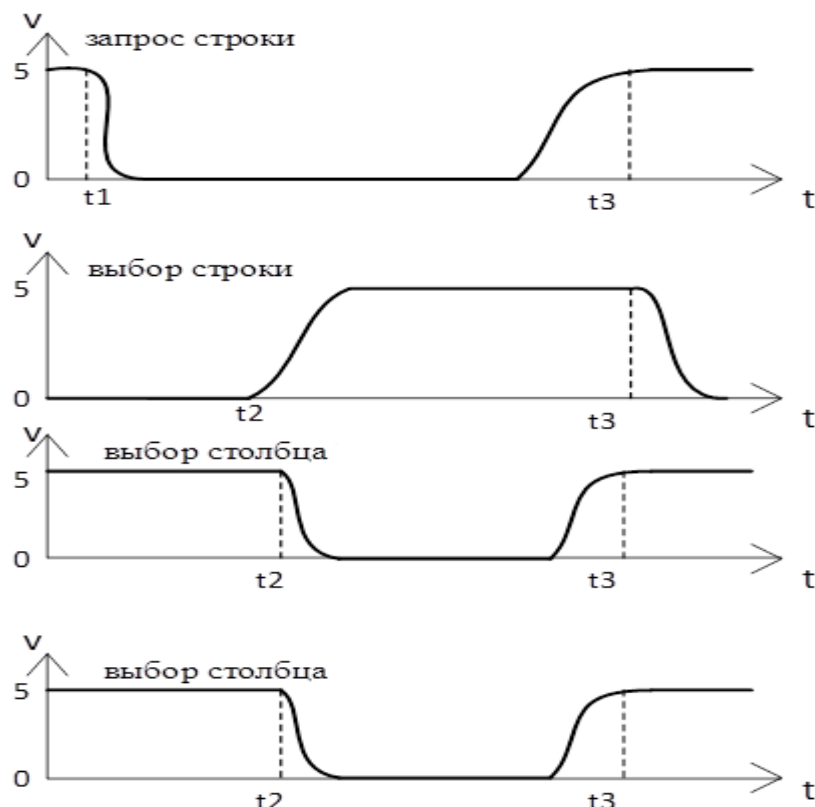


Рис. Временная диаграмма работы одного цикла записи

Получить точные показания возникновения ошибок при работе устройства не представляется возможным, однако попробуем оценить наихудший вариант для схемы размером 64x64 пикселя с помощью среды MATLAB.

1. Предположим, что 5% пикселей имеют одинаковое значение освещенности. После анализа шести полутоновых изображений получили не более 4% таких пикселей, но учитывая, что эти изображения значительно проще реальных сцен, примем 5% как наибольшее значение одинаковых пикселей, которые могут получить ошибочные значения освещенности.

2. Временной интервал t_1 между сигналами от двух соседних пикселей строки, имеющих одинаковую освещенность, составляет 2,5 нс. Это время необходимо для работы схемы выбора строки. Промежуток времени t_2 между сигналами от двух соседних пикселей, принадлежащих разным строкам,

11 нс. Для данного случая задержка включает запись одного пикселя, отключение одной строки и запрос на запись следующей.

3. Каждая строка может иметь как минимум один случай одинакового значения освещенности. Тогда максимально возможное значение задержки определяется как

$$\Delta t = \Delta t_2 M + \Delta t_1 MN \cdot 5\% = 11 \cdot 64 + 2,5 \cdot 64 \cdot 64 \cdot 5\% = 1,22 \text{ мкс.}$$

После получения значений времени накопления заряда пикселями можно определить другие характеристики работы схемы. Временные задержки при использовании среды MATLAB зависят от физических параметров КМОП-технологии 0,5 мкм. Для анализируемой схемы временные параметры будут следующими:

- время подачи сигнала «запрос строки» 1 нс;
- время запроса доступа к строке памяти или памяти кадра 5 нс;
- средняя задержка схемы выборки строки 2 нс;
- задержка сигнала выборки строки до определения столбцов 3 нс;
- задержка между окончанием записи данных и переходом к следующей строке 3,7 нс.

Из полученных результатов моделирования сделан вывод, что ошибки, вызванные ограничениями пропускной способности схемы считывания данных фотоэлементов, незначительны по сравнению с дробовым шумом фототока и фиксированным шумом элементов.

Выполнено моделирование работы устройства с помощью системы автоматизированного проектирования. Полученная схема считывания цифровых данных изображения от матрицы пикселей показала значения динамического диапазона более 140 дБ при высоких значениях пропускной способности. Анализ временных диаграмм блока фильтрации изображения показал скорость обработки кадра 25–27 мс, что достаточно для работы устройства при частоте 25 кадров в секунду.

Список литературы

1. Фахми Ш. С., Березин В. В. Проектирование устройств обработки сигналов на основе технологии «система на кристалле»: монография. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005. 144 с.
2. Иванов Н. С., Панищев В. С., Мишин А. Б. Устройство обработки изображения, полученного матрицей КМОП датчика с использованием счетчика времени накопления заряда // Известия Юго-Западного государственного университета. 2014. № 4. С. 53–59.
3. Иванов Н. С., Панищев В. С., Решетникова В. П. КМОП-датчик с предварительной обработкой изображения // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 2, ч. 1. С. 118–123.

4. A 1.4-ns access 700-MHz 288-kb SRAM macro with expandable architecture / H. Shimizu, K. Ijitsu, H. Akiyoshi, K. Aoyama, H. Takatsuka, K. Watanabe, R. Nanjo, Y. Takao // ISSCC Digest of Technical Papers. 1999, Feb. P. 190–191.

5. A 35 mm film format CMOS image sensor for camera-back applications / J. Hurwitz, M. Panaghiston, K. Findlater, R. Henderson, T. Bailey, A. Holmes, B. Paisley // In ISSCC Digest of Technical Papers. 2002. P. 48–49.

Obadi Mehdkhar Fadkhl Ahmed¹ ✉

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

✉ e-mail: mehddar@mail.ru

SIMULATION OF THE VIDEO SENSOR DATA SAMPLING PROCESS

The paper considers the process of modeling an image receiving device based on a CMOS video sensor, and reflects the main feature of this model. Formulas for calculating the time of one reading cycle are given. The throughput of the sensor with the use of CMOS technology 0.5 microns was also evaluated. The simulation of the device operation was performed using a computer-aided design system.

Keywords: CMOS sensors; simulation; read cycle; row sampling process; sensor bandwidth.

УДК 618.14-002.1

V. V. Aksenov¹ ✉

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

✉ e-mail: vitalaxen@mail.ru

DEVELOPMENT OF DECISIVE RULES FOR THE DIAGNOSIS OF ACUTE ENDOMETRITIS AND THE STUDY OF CLASSIFICATION QUALITY INDICATORS

The article deals with the synthesis of mathematical models of classification of patients with acute endometritis and healthy women. The obtained models provide confidence in the correct classification and diagnosis, which allows us to recommend them for use in medical practice in the detection and differential diagnosis of acute endometritis.

Keywords: acute endometritis; mathematical models; classification; diagnosis.

To develop the decisive rules for the diagnosis of acute endometritis (AE) were used discriminant analysis and the statistical software package "Statistica 10.0". The task was to assign each of the classified biological objects $X_i =$

$(x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(P-1)})^T$, $i = 1, 2, \dots, n$ to one of the classes in accordance with the recommendations of Ayvazyan S. A. [1]. In this regard, the "class" of a bioobject will be understood as a general set described by a single-modal density function $f(X)$ (or a single-modal probability polygon in the case of discrete features X). This classification of biological objects is based on the principle of plausibility: the observation will belong to the class, that is, to the general population within which (which) it looks more plausible [1]. However, first, this principle can be adjusted to take into account the specific weights of classes and the specifics of the so-called "loss function" $c(j|X|i)$, which determines the cost of losses from assigning a class i bio-object to a class with the number j . And, secondly, in order to implement this principle in practice, it is necessary to have a complete description of the hypothetical classes, that is, knowledge of the functions $f_1(X), f_2(X), \dots, f_k(X)$, which set the solution problem for the 1st, 2nd, ..., k - classes, respectively. The latter difficulty is avoided by using training samples in the case of classification with training and by using a mixture of distributions model in the case of classification without training [2, 3, 4].

Obviously, it is desirable to build such classification methods that minimize the loss (or probability) of incorrect classification of biological objects. These two quality characteristics of the classification method are related. We have already introduced the value of the losses $c(j|i)$ that occur when one bio-object of the i -th class is assigned to class j (for $i = j$). Therefore, if we do this $m(j|i)$ times in the classification process, then the losses associated with the assignment of class i bio-objects to class j will amount to $m(j|i) c(j|i)$. Therefore, the desire to minimize the average specific loss C is equivalent to the desire to maximize the probability of correct classification of biological objects.

The classified observations are interpreted in this problem as a sample from the general population described by the so-called mixture of k classes with a probability density $f(X) = \sum_{j=1}^k \pi_j f_j(X)$, where π_j is the a priori probability of occurrence in this sample of an element from class (general population) j with density $f_j(X)$ or, in other words, π_j is the specific weight of elements of the j – class in the general population.

We introduce the concept of a classification procedure (a decision rule, a discriminant function) $\delta(X)$. The function $\delta(X)$ can only take positive values $1, 2, \dots, k$, and those X at which it takes a value equal to j , we will refer to the class j , that is

$$S_j = \{X : \delta(X) = j\}, \quad j = 1, 2, \dots, k.$$

Decision rule $\delta(X)$ a split can be specified $S = (S_1, S_2, \dots, S_k)$ the total space $\Pi(X)$ on k disjoint regions.

A classification procedure (discriminant function) $\delta(X)$ (or S) is optimal if it is accompanied by minimal losses among all other classification procedures. If the classification procedure is optimal, the observation X_v ($v = 1, 2, \dots, n$) will be as-

signed to class j when the average specific losses from its assignment to this particular class are minimal compared to similar losses associated with the assignment of this observation to any other class [1].

Taking into account the above-mentioned features of the classification of biological objects, when using the discriminant method for the classification of patients with AE and healthy women, we adopted the following class symbols: G_1:0-healthy women, G_2: 1 – patients with AE.

When processing hematological indicators by the discriminant method, the following values of classification functions for each class of biological objects were obtained (Table 1). Taking into account the obtained coefficients of classification functions for hematological indicators for healthy women, the following discriminant model was obtained: $y_1 = 1,115x_1 + 0,284x_2 + 0,762x_3 + 0,587x_4 + 0,644x_5 + 0,281x_6 - 0,355x_7 - 0,462x_8 - 0,275x_9 + 0,878x_{10} - 246,272$.

Table 1

Coefficients of classification functions for patients with OE and healthy women by hematological parameters

Hematological index	G_1:0	G_2:1
Hemoglobin, x_1	1,128	1,207
Red blood cells, x_2	0,297	0,452
White blood cells, x_3	0,775	0,804
Rod-shaped neutrophils, x_4	0,6	0,577
Segmented neutrophils, x_5	0,657	0,992
Lymphocytes, x_6	0,294	0,598
Monocytes, x_7	-0,342	0,004
Eosinophils, x_8	-0,449	-0,254
Platelets, x_9	-0,262	-0,069
ESR, x_{10}	0,884	1,067
Constant	-242,582	-219,178

For patients with OE according to the same indicators, the discriminant model has the form: $y_2 = 1,087x_1 + 0,332x_2 + 0,684x_3 + 0,457x_4 + 0,872x_5 + 0,478x_6 - 0,116x_7 - 0,374x_8 - 0,189x_9 + 0,947x_{10} - 218,276$.

According to the Mahalanobis distance, the obtained mathematical models allow us to classify healthy women and patients with AE at the required level (Table 2) according to hematological parameters.

Mathematical models of classification of patients with AE and healthy women according to highly informative hematological, biochemical parameters, indicators of systemic humoral and cellular immunity are synthesized.

Table 2

Mahalanobis distance for classification of AE patients
and healthy women by hematological signs

Attribute code	Observed	G 1:0	G 2:1
1	G 1:0	0,356	333,965
2	G 1:0	0,469	317,653
3	G 1:0	1,834	339,025
4	G 1:0	0,966	383,167
5	G 1:0	0,831	375,657
6	G 1:0	0,408	317,019
7	G 1:0	0,694	360,022
8	G 1:0	1,136	371,685
9	G 1:0	0,593	373,526
10	G 2:1	390,347	5,372
11	G 2:1	385,229	4,984
12	G 2:1	369,598	2,355
13	G 2:1	357,370	0,698
14	G 2:1	383,402	1,029
15	G 2:1	372,219	3,235
16	G 2:1	405,348	2,678
17	G 2:1	319,655	4,406
18	G 2:1	332,194	5,959

The obtained diagnostic decision rules provide confidence in the correct classification and diagnosis above 87%, which allows us to recommend them for use in medical practice in the detection and differential diagnosis of AE [2-5].

References

1. Ayvazyan S. A. Applied statistics. Basic econometrics. M.: YUNITI-DANA, 2001. Vol. 2. 423 p.
2. Aksenov V. V. Mathematical methods for classification of patients with various diseases (in obstetric practice) and healthy individuals // Medical-ecological information technology 2018: collection of scientific articles on the materials of the XXI International scientific and technical conference; ed. by N. A. Korenevsky. Kursk: Southwest St. Univ., 2018. P. 47–49.
3. Diagnostic significance and clustering of parameters of systemic humoral immunity in acute endometritis / N. M. Agarkov, V. V. Aksenov, A.V. Ivanov [et al.] // Clinical laboratory diagnostics. 2017. Vol. 62, no. 12. P. 750–753.
4. Improving the diagnosis of acute endometritis based on modeling and cluster analysis of local immunity parameters / N. M. Agarkov, O. V. Golovchen-

ko, V. V. Aksenov [et al.] // Clinical laboratory diagnostics. 2018. Vol. 63, no. 4. P. 239–242.

5. Ivanov V. A., Aksenov V. V., Agarkov N. M. Etiology, pathogenesis and clinic of diseases of the female reproductive system // Educational and methodological manual. Kursk, 2017. 33 p.

УДК 617- 089

Н. А. Кореневский¹, С. Н. Родионова¹ ✉, Р. Т. Аль-Касасбех², В. В. Аксёнов¹

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

² Прикладной университет Аль-Балка, Амман, Иордания

✉ e-mail: knsofia@mail.ru

КОНТРОЛЬ НАРУШЕНИЙ ФУНКЦИЙ ВНИМАНИЯ У ОПЕРАТОРОВ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ МЯГКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Рассматриваются вопросы синтеза нечетких решающих правил прогнозирования и ранней диагностики свойств функции внимания у операторов человеко-машинных систем с использованием специализированного прибора контроля психических свойств внимания и памяти и технологии мягких вычислений.

Ключевые слова: внимание; оператор; человеко-машинные системы; мягкие вычисления; нечеткая логика; прогноз; ранняя стадия.

Многочисленные исследования функционального состояния и состояния здоровья операторов человеко-машинных систем показали, что их деятельность часто сопряжена с высоким риском появления и развития нарушения когнитивных функций, отвечающих за коммуникативный контакт человека с людьми и окружающей средой [1; 2; 3].

К существенным факторам риска появления и развития нарушений когнитивных функций операторов человеко-машинных систем относят стрессы, высокие уровни психоэмоционального напряжения и утомления, наличие ионизирующих и электромагнитных излучений, наследственность, прием некоторых видов лекарственных средств и ряд других эндогенных и экзогенных факторов риска.

Исследователи, занимающиеся проблемой оценки и реабилитации когнитивных функций, отмечают, что одной из актуальных задач современной психологии, психофизиологии, неврологии, инженерной психологии, психиатрии и других смежных наук является прогнозирование, своевременное выявление и точная классификация состояний когнитивных функций, что поз-

волит обеспечить адекватную коррекцию, профилактику и лечение возникающих нарушений.

В современной когнитивной психологии различают легкие и умеренные нарушения. Легкие нарушения когнитивных (ЛКН) функций для большинства людей не являются критичными, кроме ряда профессий, предъявляющих особые требования к вниманию, памяти, мышлению и др. При определенных обстоятельствах легкие когнитивные нарушения приводят к стадии умеренных когнитивных нарушений (УКН), к которой относятся нарушения интеллектуально-мнестических функций различной модальности, не достигающие степени деменции (приобретенное слабоумие).

В данной работе рассматриваются вопросы оценки состояния функции внимания как одной из важнейших функций, обеспечивающих надежное и безопасное функционирование большого класса человеко-машинных систем.

Специально для исследований важных для практики свойств внимания и памяти в Юго-Западном государственном университете (г. Курск, Россия) на основе планшетного компьютера разработан прибор, методическое и программное обеспечение которого позволяют определять количественные характеристики таких свойств внимания, как концентрированность (КВ), объем (ОВ), селективность (СВ), переключаемость (ПВ), распределяемость (РВ) и устойчивость (УВ). Подробное описание методик и конструкции прибора приведены в работах [4; 5; 6].

Анализ структуры данных, используемых в психодиагностике для оценки состояния когнитивных функций, включая прогноз и раннюю диагностику состояния когнитивной функции внимания, показал, что решаемые в работе задачи относятся к классу плохоформализуемых задач с нечетко определяющимися границами различных состояний исследуемых показателей [1; 2; 3; 7; 8].

Опыт решения задач с аналогичной структурой данных, полученный на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета, показал, что для решения выбранного класса задач целесообразно использовать методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП), достаточно подробно описанную в работах [1; 7; 9; 10; 11; 12; 13].

Одним из базовых элементов гибридных нечетких решающих правил является функция принадлежности $\mu_{\ell}(Y_S)$ к исследуемым классам состояний.

В соответствии с общими рекомендациями МСГНРП в задачах прогнозирования выбираются два класса:

- ω_0 – обследуемый в течение заданного времени T_0 не будет иметь когнитивных нарушений свойств функции внимания с идентификатором S , которые определяются по шкале Y_S ;

• ω_{Π} – через заданное время T_0 у обследуемого будет зафиксировано нарушение свойств функции внимания, определяемых идентификатором S (S – переключаемость, селективность, ..., объем, ...).

Для задач ранней диагностики эксперты-психологи определили четыре класса состояний ω_{ℓ} ($\ell = н$ (норма), $\ell = л$ (легкое когнитивное нарушение), $\ell = у$ (умеренное когнитивное нарушение), $\ell = к$ (начальная клиническая стадия)) [1; 8].

Для решаемых в работе задач МСГНРП модифицируется в следующую последовательность действий:

1. Специально подготовленной группой экспертов с учетом медико-технических и технологических ограничений отбираются методы и средства клинической оценки анализируемых свойств функции внимания. Определяется информативность показателей, определяющих исследуемые свойства внимания, осуществляется выбор наиболее информативных признаков (показателей) Y_S . С учетом рекомендаций МСГНРП для выбранных классов состояний эксперты методом Делфи строят соответствующие функции принадлежности $\mu_{\ell}(Y_S)$.

2. Определяются механизмы уточнения принадлежности обследуемого к исследуемым классам состояний дополнительно к $\mu_{\ell}(Y_S)$: поправочные нормировочные функции времени $f_{es}(t)$, учитывающие время отклонения Y_S от их номинальных значений за период наблюдения; усредненные значения $Y_{S\ell}$ за период наблюдения; поправочные коэффициенты $K_{\ell S}$, учитывающие различные условия, способствующие появлению и развитию когнитивных расстройств.

3. С учетом рекомендаций МСГНРП [9; 10] полученные составляющие агрегируются в частные решающие правила оценки уверенности в принадлежности обследуемого к классам ω_{ℓ} :

$$UTP_{\ell S} = F_p[\mu_{\ell}(Y_S), \mu_{\ell}(Y_{SC}), f_{\ell S}(t), K_{\ell S}, T_{\Pi}]; \quad (1)$$

$$UTR_{\ell S} = F_R[\mu_{\ell}(Y_S), \mu_{\ell}(Y_{SC}), f_{\ell S}(t), K_{\ell S}], \quad (2)$$

где $UTP_{\ell S}$ – уверенность в том, что у обследуемого разовьется расстройство когнитивной функции или её свойств с идентификатором S ; $UTR_{\ell S}$ – уверенность в наличии ранней стадии ℓ расстройства когнитивной функции или её свойств с идентификатором S ; F_p и F_R – соответствующие функции агрегации; T_{Π} – время, на которое осуществляется прогноз.

4. Определяются факторы риска, приводящие к появлению и развитию исследуемых когнитивных нарушений. Синтезируются модели оценки уверенности UFR_P в появлении и развитии факторов риска (P = психоэмоциональное напряжение, утомление, шизофрения, инсульт, ...). На шкалах UFR_P

строятся функции принадлежности к классу прогноз появления и развития исследуемых когнитивных расстройств $\mu_{\Pi S}(UFR_p)$. Агрегация (1) с $\mu_{\Pi S}(UFR_p)$ дает уточненную прогностическую модель

$$UTP_{\ell S}^* = Ag_p[UTP_{\ell S}, \mu_{\Pi S}(UFR_p)], \quad (3)$$

где Ag_p – соответствующая функция агрегации.

5. При наличии технических возможностей по рекомендациям [7; 14; 15; 16] строятся частные модели прогнозирования (показатель UB_{Π}) и ранней диагностики (показатель UB_R) когнитивных нарушений по биологически активным точкам (БАТ), «связанным» с исследуемым когнитивным нарушением.

Агрегация UB_{Π} и UB_R с моделями (1), (2) и (3) дает уточненные модели прогнозирования и ранней диагностики

$$UPB_{\ell S} = Ag_{PB}[UTP_{\ell S}, UB_{\Pi}]; \quad (4)$$

$$URB_{\ell S} = Ag_{RB}[UTR_{\ell S}, UB_R], \quad (5)$$

где $UPB_{\ell S}$ – уверенность в появлении и развитии когнитивных нарушений по классу ω_{ℓ} для когнитивной функции (свойства) S с учетом энергетического разбаланса БАТ; $URB_{\ell S}$ – уверенность в наличии ранних стадий когнитивных нарушений по классу ω_{ℓ} для функции (свойству) S ; Ag_{PB} , Ag_{RB} – соответствующие функции агрегации, определяемые в соответствии с рекомендациями [1; 7; 8; 10].

Энергетический разбаланс БАТ может быть использован для определения уровня психоэмоционального напряжения YP и утомления YU [7], входящие в состав показателя UFR_p . Кроме того, показатели YP и YU рекомендуется использовать для управления процессами когнитивной реабилитации как индикаторы состояния пациента.

6. При наличии технических возможностей выбирается тип нагрузки на исследуемые когнитивные функции (свойства) и, используя рекомендации [7; 9], синтезируется модель оценки функционального резерва FR_S , для которой определяются функции принадлежности к классам ω_{ℓ} – $\mu_{\ell S}(FR_S)$. Функции $\mu_{\ell S}(FR_S)$, агрегируясь с моделями (3), (4) или (5), дают финальную модель принятия решения по исследуемым классам состояний исследуемых свойств внимания:

$$UFP_{\ell S} = AGP_{F\ell S}[UPB_{\ell S}, \mu_{\ell S}(FR_S)]; \quad (10)$$

$$UFR_{\ell S} = AGR_{F\ell S}[URB_{\ell S}, \mu_{\ell S}(FR_S)], \quad (11)$$

где $UFP_{\ell S}$, $UFR_{\ell S}$ – прогностические и диагностические уверенности в принимаемых решениях; $AGP_{F\ell S}$ и $AGR_{F\ell S}$ – соответствующие функции агрегации.

Предлагаемый метод синтеза моделей оценки когнитивных функций и их свойств позволяет получить наборы нечетких моделей решающих задачи: оценки риска появления и развития когнитивных нарушений (прогноз); выявление классов риска нарушений когнитивных функций (ранняя диагностика), определять профессиональную пригодность и надежность работы человека; формирования рекомендаций по управляющим воздействиям с целью реализации процессов коррекции и реабилитации исследуемых психологических свойств функции внимания.

Рассмотренный метод синтеза решающих правил был апробирован при получении математических моделей прогнозирования появления и развития нарушений таких показателей внимания, как концентрированность, объем, селективность, переключаемость, распределяемость и устойчивость у операторов ПЭВМ. Экспертное доверие к полученным математическим моделям превышает величину 0,85. В ходе статистических испытаний на контрольных выборках, составленных для операторов ЭВМ, было показано, что уверенность в правильном прогнозе по наиболее «страдающему» показателю концентрированности внимания на трехлетний период прогноза превышает 0,85.

Список литературы

1. Метод синтеза математических моделей прогнозирования и ранней диагностики нарушений когнитивных функций / Н. А. Корневский, А. В. Поляков, С. Н. Родионова, Т. Н. Говорухина // Системный анализ и управление в биотехнических системах. 2019. Т. 18, № 4. С. 85–92.

2. Прогнозирование появления и развития расстройств когнитивной функции внимания в процессе трудовой деятельности операторов информационно-насыщенных человеко-машинных систем / А. В. Поляков, Н. Л. Коржук, С. Н. Родионова, Е. А. Николаева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2019. Т. 9, № 2. С. 102–116.

3. Диагностика ранних стадий когнитивных нарушений внимания на основе гибридных нечетких решающих правил / А. В. Поляков, С. Н. Родионова, Н. Л. Коржук, Л. В. Стародубцева // Моделирование, оптимизация, информационные технологии. 2019. Т. 7, № 4. С. 3–4.

4. Аппаратно-программный комплекс для психофизиологических исследований на базе платформы Android с AFE-интерфейсом / С. Н. Корневская, Е. С. Шкатова, М. А. Магеровский, А. Н. Шуткин // Медицинская техника. 2016. № 5 (299). С. 24–27.

5. Программно-технический комплекс для исследования основных параметров внимания и памяти / Н. А. Корневский, Д. Е. Скопин, Р. Т. Аль-Касасбех, А. А. Кузьмин // Медицинская техника. 2010. № 1. С. 32–35.

6. Поляков А. В., Родионова С. Н., Филипов С. В. Аппаратно-программный комплекс для оценки и реабилитации функции внимания и памяти // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы: сборник трудов XXXII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биомедсистемы - 2019». Рязань, 2019. С. 75–78.

7. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н. А. Корневский, А. Н. Шуткин, С. А. Горбатенко, В. И. Серебровский. Ст. Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.

8. Корневский Н. А., Поляков А. В., Челебаева Ю. А. Прогнозирование и ранняя диагностика заболеваний сердечно-сосудистой системы по электрическому разбалансу меридианных структур организма // Медико-экологические информационные технологии – 2019: сборник научных статей по материалам XXII Международной научно-технической конференции / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2019. С. 58–62.

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

10. Корневский Н. А., Родионова С. Н., Хрипина И. И. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений: монография. Ст. Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.

11. Корневский 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.

12. Корневский Н. А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования // Телекоммуникации. 2006. № 6. С. 25–31.

13. Корневский Н. А., Шуткин А. Н., Бойцова Е. А. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша // Медицинская техника. 2015. № 6. С. 37–40.

14. Корневский Н. А., Буняев В. В., Яцун С. М. Компьютерные системы ранней диагностики состояния организма методами рефлексологии: монография. Новочеркасск: Ред. журнала «Известия вузов. Электромеханика», 2003. 206 с.

15. Кореневский Н. А., Крупчатников Р. А. Информационно-интеллектуальные технологии в рефлексодиагностике и рефлексотерапии: монография. Ст. Оскол: ТНТ, 2013. 528 с.

16. 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: монография. Ст. Оскол: ТНТ, 2013. 528 с.

N. A. Korenevsky¹, S. N. Rodionova¹ ✉, R. T. Al-Kasasbeh², V. V. Aksenov¹

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

² *The Al-Balqa University of Applied Sciences, Amman, Jordan*

✉ e-mail: knsofia@mail.ru

MONITORING OF ATTENTION DISORDERS IN OPERATORS OF HUMAN-MACHINE SYSTEMS BASED ON SOFT COMPUTING TECHNOLOGY

The article deals with the synthesis of fuzzy decision rules for predicting and early diagnostics of the properties of the attention function in operators of human-machine systems using a specialized device for monitoring the mental properties of attention and memory and soft computing technology.

Keywords: attention; operator; human-machine systems; soft computing; fuzzy logic; prediction; early stage.

УДК 616-009

**Н. А. Кореневский¹, С. Н. Родионова¹ ✉, Р. Т. Аль-Касасбех²,
А. И. Сурнина¹**

¹ *ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия*

² *Прикладной университет Аль-Балка, Амман, Иордания*

✉ e-mail: knsofia@mail.ru

ОЦЕНКА НАРУШЕНИЙ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ РАЗБАЛАНСУ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ТОЧЕК

Рассматриваются вопросы синтеза нечетких решающих правил прогнозирования и ранней диагностики нарушений когнитивных функций у операторов человеко-машинных систем с использованием методов и средств анализа энергетических характе-

ристик биологически активных точек в сочетании с другими высокоинформативными признаками, характеризующими различные аспекты функционирования организма.

Ключевые слова: когнитивные функции; оператор; человеко-машинные системы; биологически активные точки; энергетические характеристики; нечеткая логика; превентивный прогноз.

В психологии термин «когнитивные функции» используется для понимания умственных процессов, благодаря которым человек получает возможность воспринимать, перерабатывать, анализировать и запоминать различную информацию.

В психологической науке к когнитивным функциям относят внимание, память, мышление, осознанную речь и др.

Известно, что в ходе выполнения многих видов операторской деятельности происходят нарушения различных когнитивных функций, заключающиеся в отклонении их функциональных возможностей от общепринятой нормы, причем различные виды операторной деятельности приводят к специфическим когнитивным нарушениям, например, у операторов, подвергающихся воздействию интенсивных электромагнитных полей, наблюдаются расстройства памяти, внимания и мышления; у операторов, наблюдающих за скоростной сменой обстановки, страдают функции внимания; стрессы, высокие уровни психоэмоционального напряжения и утомления приводят к расстройствам памяти, внимания и т. д.

Современные психология, психиатрия и неврология используют достаточно большое разнообразие методов и средств для решения задач оценки различных когнитивных функций и их свойств, которые технически выполнены как самостоятельные приборы и программы, так и в составе достаточно мощных компьютерных комплексов для когнитивной реабилитации (Creha Com, Cogni Plus, комплекс для исследования особенностей внимания и памяти авторской разработки и др.) [1; 2; 3; 4]. В предлагаемой работе исследуется вопрос повышения качества принятия решений при прогнозировании и ранней диагностике нарушений когнитивных функций с использованием авторских методов и средств на основе анализа энергетических характеристик биологически активных точек (БАТ) в сочетании с другими высокоинформативными признаками, характеризующими различные аспекты функционирования организма [1; 2; 5; 6; 7; 8].

Синтез искомых решающих правил производится в рамках общей теории биофизики акупунктуры, разработанной на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета. В рамках этой теории для оценки состояния когнитивных функций в данной работе предлагается использовать метод, в соответствии с которым определяется величина энергетического разбаланса того списка БАТ, который относится к исследуемой когнитивной функции. Эта задача решается с привлечением экспертов в области биофизики акупунктуры и рефлексотерапии. Далее величина энерге-

тического разбаланса ER_s для выбранной когнитивной функции с идентификатором s определяется как базовая переменная для функции принадлежности $\mu_\ell(ER_s)$ к исследуемой патологии. Эта задача решается с привлечением экспертов в составе врачей-специалистов. Таким образом, для определения уверенности $U_{\ell r}$ в принятии решения по патологии ω_ℓ для задачи r ($r = п$ – прогноз, $r = р$ – ранняя стадия заболевания; $r = д$ – дифференциальный диагноз) используются две модели:

$$ER_s = F_E(EY_{sj}); \quad (1)$$

$$U_{\ell r} = \mu_{\ell r}(ER_s), \quad (2)$$

где EY_{sj} – энергетический разбаланс БАТ с именем Y_{sj} , выбранные как информативные по органу (системе) s .

При выборе модели оценки величины энергетического разбаланса целесообразно использовать рекомендации работ [5; 6; 9], посвященных синтезу нечетких моделей принятия решений по величине отклонений сопротивлений БАТ от их номинальных значений.

Условие энергетического разбаланса с выходом на расчет его уровня ER_s определяется выражением

$$\begin{aligned} & \text{ЕСЛИ} \left[(\delta R_{Y_1}^D > \delta R^П) \text{ И } (\delta R_{Y_2}^D > \delta R^П), \dots, (\delta R_{Y_{ms}}^D > \delta R^П) \right], \\ & \text{ТО} \left[ER_s = F_E(EY_j) \right], \text{ ИНАЧЕ } (ER_s = 0), \end{aligned} \quad (3)$$

где $\delta R_{Y_j}^D$ – величина относительного отклонения сопротивления R_{Y_j} из списка ДЗТ от своего номинального значения для БАТ с идентификатором Y_j ; $\delta R^П$ – пороговое значение отклонений БАТ от номинального значения.

Исходя из величины информативности точки с номером j и (или) её функций, определенных атласом меридиан, эксперты строят графики функций $EY_j(\delta R_j)$, для которых после усреднения определяются соответствующие аналитические выражения.

После получения выражения (1) формируется экспертная группа из врачей-специалистов и профпатологов, которая изучает медико-биологические свойства параметра ER_s как информативного признака в задачах синтеза нечетких решающих правил прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики профессиональных заболеваний ω_ℓ .

Учитывая меру доверия к роли биофизики акупунктуры и пользуясь рекомендациями работ [8; 10; 11; 12], для каждой патологии определяются формы и параметры функций принадлежности $\mu_{\ell r}(ER_s)$ для математической модели (2).

Для усиления меры доверия к принимаемому решению в формулу (2) целесообразно включить составляющую, позволяющую учитывать динамику энергетического разбаланса в соответствии со следующей логикой. Если величина энергетического разбаланса уменьшается, то уверенность в принимаемом решении соответствует текущему измерению, если не изменяется или растет, то уверенность в принимаемом решении в пользу класса ω_ℓ увеличивается пропорционально росту энергетического разбаланса.

Такая логика реализуется выражением

$$U_{\ell_r}(t) = \begin{cases} U_{\ell_r}(t), & \text{если } \Delta ER_s^T > 0; \\ U_{\ell_r}(t) + \mu_{\ell_r}^T(\Delta ER_s^T) - U_{\ell_r}(t) \cdot \mu_{\ell_r}^T(\Delta ER_s^T), & \text{если } \Delta ER_s^T \leq 0, \end{cases} \quad (4)$$

где $U_{\ell_r}(t)$ – величина уверенности в гипотезе ω_ℓ по задаче r в текущий момент времени;

$$\Delta ER_s^T = ER_s^T(t) - ER_s^T(t-1);$$

$ER_s^T(t)$ – величина энергетического разбаланса в текущий момент времени;
 $ER_s^T(t-1)$ – величина энергетического разбаланса в предыдущем измерении;
 $\mu_{\ell_r}^T(\Delta ER_s^T)$ – функция принадлежности к классу ω_ℓ по задаче r с базовой переменной по величине растущего энергетического разбаланса.

Величину времени повторного контроля ER_s^T и параметры дополнительной функции принадлежности определяют эксперты, исходя из максимального доверия к информативной ценности БАТ.

Дальнейшее увеличение доверия к показателю U_{ℓ_r} достигается учетом динамики энергетического разбаланса при использовании дозированной нагрузки.

В работе [8] в качестве дозированной нагрузки предлагается использовать физические нагрузки или нарушение естественного «электрического тока» меридианов путем подачи на его точки электрического напряжения, создающего «противоток» меридианной энергетике.

С учетом динамики энергетического разбаланса от воздействия стандартной нагрузки уверенность в принимаемом решении определяется выражением

$$U_{\ell_r}(t) = \begin{cases} U_{\ell_r}(t) + \mu_{\ell_r}^N(ER_s^N) - f_{\ell_r}(\Delta ER_s^N), & \text{если } \Delta N > 0; \\ U_{\ell_r}(t), & \text{если } \Delta N \leq 0; \end{cases} \quad (5)$$

где $\mu_{\ell_r}^N(ER_s^N)$ – функция принадлежности к классу ω_ℓ по задаче r по базовой переменной ER_s^N ; ER_s^N – величина энергетического разбаланса сразу после

действия нагрузки; $f_{cr}(\Delta ER_s^N)$ – функция корректировки для $U_{cr}(t)$ от динамики возвращения ER_s^N к исходному состоянию ER_s (до нагрузки) с областью определения $[0, \dots, 1]$;

$$\Delta ER_s^N = ER_s^N - ER_s^D;$$

ER_s^D – энергетический разбаланс через фиксированное время T_F после снятия нагрузки.

Рассмотренный метод был использован для оценки состояния памяти и внимания у операторов человеко-машинных систем. Анализ известных атласов меридиан показал, что память человека представлена биологически активными точками С3, С7, VC14, V15, V43 во французской классификации. Прямых связей биологически активных точек (БАТ) с функцией внимания нет. Однако в силу достаточно сильной функциональной зависимости между свойствами внимания и памяти было принято решение исследовать возможность использования энергетических характеристик БАТ, «связанных» с памятью, для решения задач прогнозирования и ранней диагностики нарушений функции внимания.

На основе рекомендаций [6; 8] в качестве диагностически значимых выбрана пара точек меридиана сердца С3 и С7. Остальные точки можно учитывать при желании получить более точную оценку.

Энергетический разбаланс меридиана сердца ER_C для оценки функций внимания и памяти по точкам С3 и С7 определяется по формуле (3).

С учетом рекомендаций по выбору формы и параметров функций принадлежности, приведенных в работах [11; 12; 13], эксперты получили нечеткие модели оценки уверенности в прогнозе нарушений функций памяти $U_{ПП} = \mu_{ПП}(ER_C)$ и внимания $U_{ВП} = \mu_{ВП}(ER_C)$.

В работах [7; 3; 14; 15; 16] было показано, что прогностическая уверенность может быть значительно увеличена, если дополнительно к энергетическому разбалансу БАТ добавить такие факторы риска, как уровни длительного психоэмоционального напряжения и хронического утомления, а также показатели внимания и памяти, регистрируемые прибором ПКФ-ВП. Методы и математические модели оценки уровней психоэмоционального напряжения и утомления описаны в работах [7; 11]. Методы и средства оценки параметров внимания и памяти с использованием прибора ПКФ-ВП описаны в работах [1; 2; 4; 7].

В соответствии с общими рекомендациями МСГНРП были получены гибридные нечеткие прогностические модели вида:

$$UP_{ПП}(q+1) = UP_{ПП}(q) + Qn(q+1)[1 - UP_{ПП}(q)]; \quad (6)$$

$$UP_{ПВ}(q+1) = UP_{ПВ}(q) + Qv(q+1)[1 - UP_{ПВ}(q)], \quad (7)$$

где $UP_{ПП}(q)$, $UP_{ПВ}(q)$ – уверенности в прогнозе появления нарушений функций памяти и внимания на q -м шаге итерации;

$$UP_{ПП}(1) = Q_{П}(1) = \mu_{ПП}(ER_C); \quad UP_{ПВ}(1) = Q_{В}(1) = \mu_{ПВ}(ER_C);$$

$Q_{П}(2)$, $Q_{В}(2)$ – прогностические уверенности по классам $\omega_{ПП}$ и $\omega_{ПВ}$ с базовой переменной «уровень длительного психоэмоционального напряжения»; $Q_{П}(3)$, $Q_{В}(3)$ – прогностические уверенности по классам $\omega_{ПП}$ и $\omega_{ПВ}$ с базовой переменной «уровень хронического утомления»; $Q_{П}(4)$, $Q_{В}(4)$ – прогностические уверенности по классам $\omega_{ПП}$ и $\omega_{ПВ}$ с базовой переменной по показателям памяти и внимания, регистрируемым прибором ПКФ-ВП.

В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что при таком расширенном составе информативных признаков уверенность в правильном прогнозе состояния когнитивных функций внимания и памяти превышает уровень 0,9. Такой результат позволяет рекомендовать предложенные прогностические модели для практического применения.

Гибридные модели диагностики ранних стадий нарушений функций памяти и внимания имеют вид

$$UR_{ПП} = \mu_{ПП}(ER_C) + UR_{П} - \mu_{ПП}(ER_C) UR_{П}; \quad (8)$$

$$UR_{ПВ} = \mu_{ПВ}(ER_C) + UR_{В} - \mu_{ПВ}(ER_C) UR_{В}, \quad (9)$$

где $UR_{ПП}$, $UR_{ПВ}$ – уверенности в наличии ранних стадий нарушений функций памяти и внимания; $\mu_{ПП}(ER_C)$, $\mu_{ПВ}(ER_C)$ – функции принадлежности, определяющие уверенности в наличии ранних стадий нарушений функций памяти и внимания по величине энергетического разбаланса БАТ; $UR_{П}$, $UR_{В}$ – уверенности в наличии ранних стадий нарушений функций памяти и внимания по показателям, регистрируемым прибором ПКФ-ВП.

В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что при таком составе информативных признаков уверенность в наличии ранних стадий нарушений функций памяти и внимания превышает уровень 0,94.

Список литературы

1. Аппаратно-программный комплекс для психофизиологических исследований на базе платформы Android с AFE-интерфейсом / С. Н. Корневская, Е. С. Шкатова, М. А. Магеровский, А. Н. Шуткин // Медицинская техника. 2016. № 5 (299). С. 24–27.
2. Программно-технический комплекс для исследования основных параметров внимания и памяти / Н. А. Корневский, Д. Е. Скопин, Р. Т. Аль-Касасбех, А. А. Кузьмин // Медицинская техника. 2010. № 1. С. 32–35.

3. Прогнозирование появления и развития расстройств когнитивной функции внимания в процессе трудовой деятельности операторов информационно-насыщенных человеко-машинных систем / А. В. Поляков, Н. Л. Коржук, С. Н. Родионова, Е. А. Николаева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2019. Т. 9, № 2 С. 102–116.

4. Поляков А. В., Родионова С. Н., Филипов С. В. Аппаратно-программный комплекс для оценки и реабилитации функции внимания и памяти // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы: сборник трудов XXXII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биомедсистемы - 2019» / под общ. ред. В. И. Жулева. Рязань: ИП Коняхин А.В., 2019. С. 75–78.

5. Корневский Н.А., Крупчатников Р.А. Информационно-интеллектуальные технологии в рефлексодиагностике и рефлексотерапии: монография. Ст. Оскол: ТНТ, 2013. 528 с.

6. Корневский 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: монография. Ст. Оскол: ТНТ, 2013. 528 с.

7. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н. А. Корневский, А. Н. Шуткин, С. А. Горбатенко, В. И. Серебровский. Ст. Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.

8. Корневский Н. А., Поляков А. В., Челебаева Ю. А. Прогнозирование и ранняя диагностика заболеваний сердечно-сосудистой системы по электрическому разбалансу меридианных структур организма // Медико-экологические информационные технологии – 2019: сборник научных статей по материалам XXII Международной научно-технической конференции / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2019. С. 58–62.

9. Корневский Н. А., Буняев В. В., Яцун С. М. Компьютерные системы ранней диагностики состояния организма методами рефлексологии: монография. Новочеркасск: Ред. журнала «Известия вузов. Электромеханика», 2003. 206 с.

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

11. Корневский Н. А., Родионова С. Н., Хрипина И. И. Методология синтеза гибридных нечётких решающих правил для медицинских интеллек-

туальных систем поддержки принятия решений: монография. Ст. Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.

12. Корневский 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.

13. Корневский Н. А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования // Телекоммуникации. 2006. № 6. С. 25–31.

14. Метод синтеза математических моделей прогнозирования и ранней диагностики нарушений когнитивных функций / Н. А. Корневский, А. В. Поляков, С. Н. Родионова, Т. Н. Говорухина // Системный анализ и управление в биотехнических системах. 2019. Т. 18, № 4. С. 85–92.

15. Диагностика ранних стадий когнитивных нарушений внимания на основе гибридных нечетких решающих правил / А. В. Поляков, С. Н. Родионова, Н. Л. Коржук, Л. В. Стародубцева // Моделирование, оптимизация, информационные технологии. 2019. Т. 7, № 4. С. 3–4.

16. Корневский Н. А., Шуткин А. Н., Бойцова Е. А. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша // Медицинская техника. 2015. № 6. С. 37–40.

N. A. Korenevskiy¹, S. N. Rodionova¹ ✉, R. T. Al-Kasasbeh², A. I. Surnina¹

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

² *Al'Balqa Applied University, Amman, Jordan*

✉ e-mail: knsofia@mail.ru

ASSESSMENT OF COGNITIVE IMPAIRMENT BY ENERGY IMBALANCE OF BIOLOGICALLY ACTIVE POINTS

The article deals with the synthesis of fuzzy decision rules for predicting and early diagnosis of cognitive function disorders in operators of human-machine systems using methods and tools for analyzing the energy characteristics of biologically active points (BAT) in combination with other highly informative features that characterize various aspects of the functioning of the organ.

Keywords: cognitive functions; operator; human-machine systems; biologically active points; energy characteristics; fuzzy logic; prediction; early stage.

С. С. Долматов¹ ✉, Е. Н. Коровин¹

¹ Воронежский государственный технический университет

✉ e-mail: saums@vorstu.ru

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ОСТРОГО НЕФРИТИЧЕСКОГО И НЕФРОТИЧЕСКОГО СИНДРОМОВ НА ОСНОВЕ СЕТИ ПЕТРИ

В статье описана разработка экспертной системы диагностики острого нефритического и нефротического синдромов на основе методов моделирования Сети Петри. Экспертные системы строятся для решения широкого круга проблем в таких областях, как: прогнозирование, диагностика, проектирование, планирование, мониторинг и т.д. Разработанная система диагностики позволит повысить качество и оперативность оказания медицинских услуг в области нефрологии.

Ключевые слова: экспертная система; моделирование; Сеть Петри; нефротический синдром; нефритический синдром.

Компьютеризация общества – одно из основных направлений научно-технического прогресса, которое вызвало существенные изменения в технологии разработки и использования программных средств. Эти изменения были подготовлены всем развитием теории и практики искусственного интеллекта, наиболее существенным результатом которого явился переход к так называемой новой информационной технологии и создание экспертных систем [1].

Цель исследований по экспертным системам состоит в разработке специальных программ, предназначенных для решения особых видов задач. К этому особому виду задач могут быть отнесены задачи из абсолютно любой предметной области. Главное, что отличает их от задач обычных, – это то, что человеку-эксперту решить их представляется очень сложным заданием. Таким образом, компетентно разработанная экспертная система, где в роли эксперта выступает уже не человек, а машина, позволит повысить качество оказания медицинской помощи. Данные системы получают результаты, не уступающие по качеству и эффективности решениям, получаемым обычным человеком – экспертом. Результаты работы экспертных систем могут быть объяснены пользователю на очень высоком уровне. Данное качество экспертных систем обеспечивается их способностью рассуждать о собственных знаниях и выводах. Экспертные системы вполне могут пополнять собственные знания в процессе взаимодействия с экспертом. Таким образом, их можно с полной уверенностью ставить в один ряд с вполне оформившимся искусственным интеллектом.

Признаки поражения почек отмечаются у каждого десятого жителя Земли. Ранняя диагностика острого повреждения почек, в том числе без использования инвазивных методов исследования, является актуальной проблемой в нефрологии [2; 3].

На основе проведенного анализа признаков, течения и особенностей нефрологических заболеваний были выделены следующие наиболее важные при диагностике и постановке диагноза позиции: b1 – потемнение и снижение количества мочи; b2 – появление крови в моче; b3 – расстройство зрения; b4 – образование отёков; b5 – повышение артериального давления; b6 – нарушение пищеварения; b7 – анемия (малокровие); b8 – гидроторакс (скопление жидкости в организме); b9 – бледность кожных покровов; b10 – признаки нефритического синдрома; b11 – признаки нефротического синдрома; b12 – общий анализ мочи (для диагностики нефритического синдрома); b13 – содержание белка > 5 г; b14 – содержание лимфы в моче; b15 – содержание соли в осадке; b16 – содержание эритроцитов до 6–7 г; b17 – содержание лейкоцитов до 10–12 г; b18 – общий анализ мочи (для диагностики нефротического синдрома); b19 – содержание белка 2–5 г; b20 – плотность 1,03–1,05; b21 – присутствие в осадке гиалиновых, восковидных цилиндров; b22 – общий анализ крови (для диагностики нефритического синдрома); b23 – СОЭ 30–40 мм/ч; b24 – гемоглобин 70–90; b25 – эозинофилия (наличие эозинофилов в крови); b26 – общий анализ крови (для диагностики нефротического синдрома); b27 – СОЭ 70–80 мм/ч; b28 – тромбоциты 500–600 г; b29 – гиперлипидемия > 6,5 моль (повышенное содержание липидов в крови); b30 – УЗИ (для диагностики нефритического синдрома); b31 – сужение почечных канальцев; b32 – УЗИ (для диагностики нефротического синдрома); b33 – набухание почки; b34 – скопление жидкости в желудочках сердца; b35 – биопсия (для диагностики нефритического синдрома); b36 – наличие маркеров, характерных для нефритического синдрома; b37 – биопсия (для диагностики нефротического синдрома); b38 – наличие IgA (иммуноглобулин А); b39 – ЭКГ (для диагностики нефритического синдрома); b40 – изменения не выявляются; b41 – ЭКГ (для диагностики нефротического синдрома); b42 – урежение сердечного ритма; b43 – сильное сокращение желудочков сердца; b44 – систолический шум верхушки сердца; b45 – диагноз нефритический синдром; b46 – диагноз нефротический синдром; b47 – лечебное питание; b48 – стол №7; b49 – медикаментозное лечение; b50 – антигипертензивные препараты; b51 – диуретики 40–80 мг в сутки; b52 – антиагреганты; b53 – стероиды; b54 – антибиотики группы пеницилин; b55 – пробиотики; b56 – Реополиглюкин; b57 – гормоны (преднизалон); b58 – витамин D < 8000 МЕ в сутки; b59 – препараты К; b60 – диуретики до 20–30 мг в сутки; b61 – медикаментозное лечение; b62 – лечебное питание; b63 – стол №3; b64 – противопоказаний не имеется.

Далее была разработана Сеть Петри, демонстрирующая последовательность шагов при постановке пациенту диагноза, а именно нефротического синдрома или нефритического синдрома, представленная на рисунке 1.

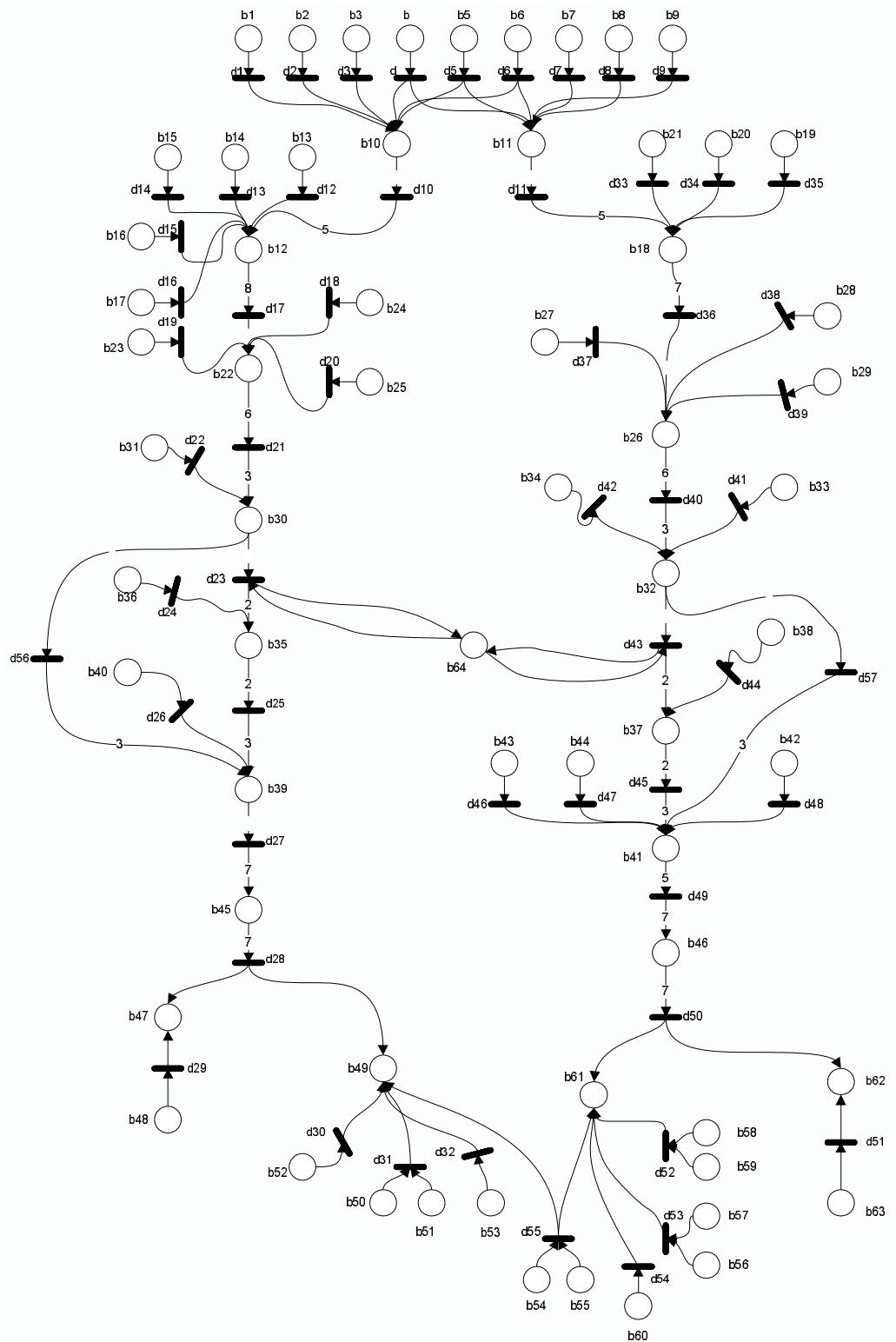


Рис. 1. Модель Сети Петри для диагностики нефротического или нефритического синдрома

Математическая модель Сети Петри имеет следующий вид:

$$V = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}, b_{16}, b_{17}, b_{18}, b_{19}, b_{20}, b_{21}, b_{22}, b_{23}, b_{24}, b_{25}, b_{26}, b_{27}, b_{28}, b_{29}, b_{30}, b_{31}, b_{31}, b_{33}, b_{34}, b_{35}, b_{36}, b_{37}, b_{38}, b_{39}, b_{40}, b_{41}, b_{42}, b_{43}, b_{44}, b_{45}, b_{46}, b_{47}, b_{48}, b_{49}, b_{50}, b_{51}, b_{52}, b_{53}, b_{54}, b_{55}, b_{56}, b_{57}, b_{58}, b_{59}, b_{60}, b_{61}, b_{62}, b_{63}, b_{64}\};$$
$$D = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_{12}, d_{13}, d_{14}, d_{15}, d_{16}, d_{17}, d_{18}, d_{19}, d_{20}, d_{21}, d_{22}, d_{23}, d_{24}, d_{25}, d_{26}, d_{27}, d_{28}, d_{29}, d_{30}, d_{31}, d_{32}, d_{33}, d_{34}, d_{35}, d_{36}, d_{37}, d_{38}, d_{39}, d_{40}, d_{41}, d_{42}, d_{43}, d_{44}, d_{45}, d_{46}, d_{47}, d_{48}, d_{49}, d_{50}, d_{51}, d_{52}, d_{53}, d_{54}, d_{55}, d_{56}, d_{57}\}.$$

В ходе выполнения работы разработанная Сеть Петри была использована для постановки диагноза пациенту, а также для выбора оптимального лечения по поставленному диагнозу.

На основе Сети Петри, представленной выше, на языке программирования Delphi была разработана программа, которая с некоторой точностью может диагностировать острый нефритический и нефротический синдромы, а также предлагать тактики лечения. Результаты представлены на рисунке 2.

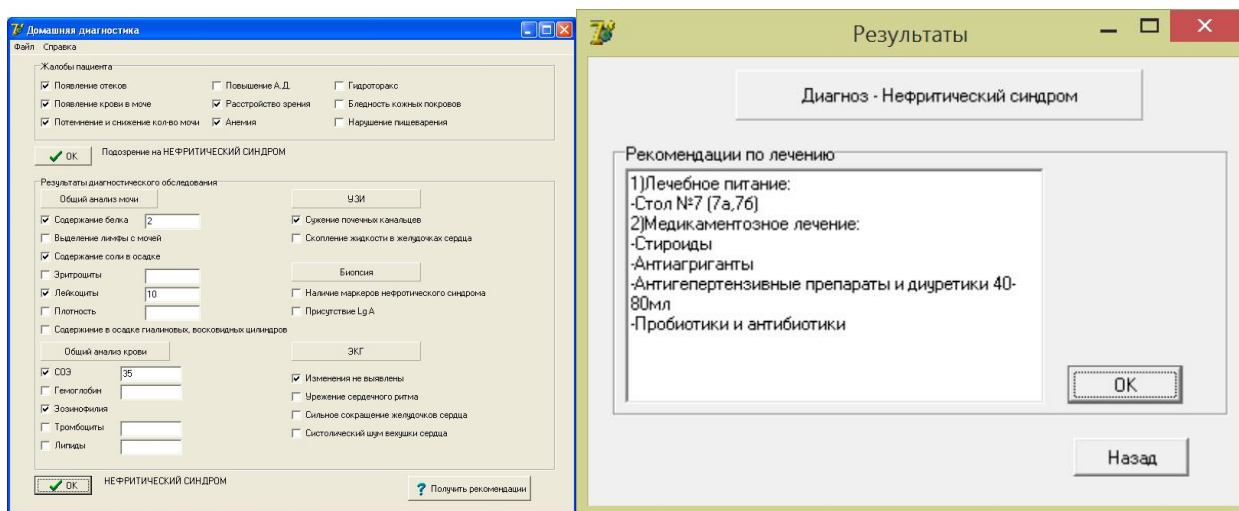


Рис. 2. Экспертная система диагностики острого нефритического и нефротического синдромов

Современные технические возможности позволяют выйти на качественно новый уровень представления течения заболевания, а именно визуально, на основе соответствующих математических моделей, пространственно смоделировать типовое развитие патологического процесса при конкретном заболевании. Уже сейчас, на современном этапе развития медицины, информационные нагрузки достигают пределов человеческих возможностей. Возникает дилемма: либо приходится жертвовать полнотой анализа информации, либо необходимо шире использовать различные методы компьютерной поддержки принятия решений. Медицинские экспертные системы позволяют врачу не только проверить собственные диагностические предположения, но и обратиться к компьютеру за консультацией в трудных диагностических случаях [4].

Список литературы

1. Кричевич В. С. Экспертные системы для персональных компьютеров: методы, средства, реализации: справ. пособие. Минск: Высшейш. шк., 1990. 197 с.
2. Нефрология: клинические рекомендации / под ред. Е. М. Шилова, А. В. Смирнова, Н. Л. Козиловской. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 850 с.
3. Ясницкий Л. Н. Введение в искусственный интеллект. М.: Академия, 2005. 176 с.
4. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Интеллектуальные информационные системы. М.: Финансы и статистика, 2004. 424 с.

S. S. Dolmatov¹ ✉, **E. N. Korovin¹**

¹*Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia*

✉ e-mail: saums@vorstu.ru

DEVELOPMENT OF AN EXPERT SYSTEM FOR DIAGNOSTICS OF OST-ROSE NEPHRITIC AND NEPHROTIC SYNDROMES BASED ON A PETRI NET

This article describes the development of an expert system for the diagnosis of acute nephritic and nephrotic syndromes based on Petri net modeling methods. Expert systems are built to solve a wide range of problems in areas such as forecasting, diagnostics, design, planning, monitoring, etc. The developed diagnostic system will improve the quality and efficiency of the provision of medical services in the field of nephrology.

Keywords: expert system; modeling; Petri net; nephrotic syndrome; nephritic syndrome.

УДК 004.932

Р. Л. Мбуйи Мукади¹ ✉, **В. С. Панищев¹**

¹*ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия*

✉ e-mail: robertmbuyi@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ DATA MINING ДЛЯ АНАЛИЗА БОЛЕЗНИ АЛЬЦГЕЙМЕРА

В последнее время комплекс методов DATA MINING привлекает большое внимание в информационной отрасли и в обществе в целом, в связи с тем, что широкая доступность огромных объемов данных породила проблему превращения таких данных в полезную информацию и знания в кратчайшие сроки. Полученная таким образом информация и знания могут использоваться в различных направлениях: от банковского и торго-

вого дела (анализ рынка, выявление мошенничества, удержание клиентов) до управления производством и научных исследований. В работе рассмотрено использование DATA MINING для исследования пациентов с болезнью Альцгеймера.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных; сравнительный анализ методов; исследования пациентов; болезнь Альцгеймера.

Цель работы – исследование возможностей различных алгоритмов DATA MINING для решения задач медицинской диагностики, в частности исследования болезни Альцгеймера.

Теоретической и методологической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных учёных.

В исследовании использовались следующие методы: основанные на положениях теории управления; обработки и извлечения данных; экономико-статистический метод; преобразования данных и принятия решений; хранения, интерпретации и оценки данных.

DATA MINING – это технология, использующаяся для поиска в больших объемах данных неочевидных, но объективных и полезных знаний. Неочевидные знания не могут быть обнаружены стандартными методами обработки информации или экспертом [1; 2]. Под объективными знаниями понимаются полностью соответствующие реальной действительности без проблемы субъективности. Практически полезным знаниям, полученным в результате применения технологии, находится практическое применение.

Сфера применения DATA MINING не ограничена [1–4], в нее включают интеграцию методов из различных дисциплин, таких как технологии баз данных и хранилищ данных, статистика, машинное обучение, высокопроизводительные вычисления, распознавание образов, нейронные сети, визуализация данных, информационный поиск, обработка изображений и сигналов, а также анализ пространственных или временных данных, что отражено на рисунке 1.

Задачи DATA MINING обычно подразделяются на два типа в зависимости от того, для чего решается конкретная задача. Это две задачи: описательного и прогнозного типа. Описательные задачи DATA MINING характеризуют общие свойства данных, тогда как интеллектуальные задачи DATA MINING делают вывод о доступном наборе данных, чтобы предсказать, как поведет себя новый набор данных (рис. 2).

К методам и алгоритмам DATA MINING относятся следующие: искусственные нейронные сети, метод опорных векторов, иерархические методы кластерного анализа, байесовские сети (Bayesian Networks), деревья решений, методы ближайшего соседа (Nearest Neighbor) и k-ближайшего соседа (k-Nearest Neighbor), символьные правила, линейная регрессия, корреляционно-регрессионный анализ; неиерархические методы кластерного анализа, в том числе алгоритмы k-средних и k-медианы; методы поиска ассоциативных правил, в том числе алгоритм Apriori; метод ограниченного перебора, эволюци-

онное программирование и генетические алгоритмы, разнообразные методы визуализации данных и множество других методов [2].



Рис. 1. DATA MINING как мультидисциплинарная область

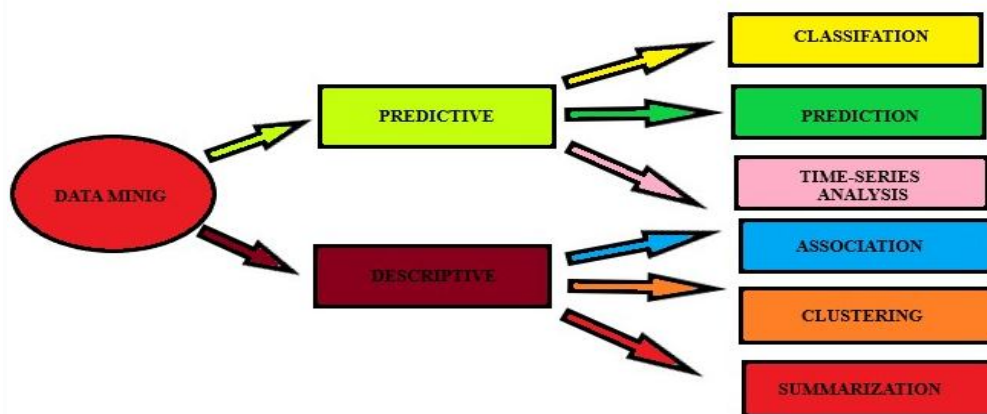


Рис. 2. Типы задач

Наиболее используемые алгоритмы следующие: алгоритм C4.5; метод k-средних (k- Means); метод опорных векторов (SVM-Supportvectormachine); алгоритм Apriori; EM-алгоритм; PageRank; AdaBoost; алгоритм k-ближайших соседей (KNN); наивный байесовский классификатор (NaiveBayes); алгоритм CART.

В работе решается практическая задача проведения анализа данных объема гиппокампа пациентов с последующим разделением общей совокупности на отдельные кластеры при помощи методов иерархической классици-

кации (TreeClustering), метода k-средних (k-Means) и метода опорных векторов (SVM-Supportvectormachine).

Для успешного выполнения поставленной задачи была использована полная версия программы Statistica.

Метод иерархической классификации – это классификатор, т. е. он берет данные и пытается определить, к какому классу они принадлежат.

Метод k-средних (k-means) классифицирует данные, его цель состоит в том, чтобы сгруппировать точки данных, основываясь на их сходстве. Эти группы называются «кластерами».

Метод опорных векторов (SVM) – ещё один контролируемый алгоритм классификатора, но в нём данные классифицируются только на две группы.

Вопросам построения интеллектуальных систем анализа морфологических признаков болезни Альцгеймера на основе обработки МРТ-изображений уделено внимание во многих работах [5–10]. Важной задачей при автоматизированной диагностике Альцгеймера является обнаружение гиппокампа на изображениях и вычисление параметров его объема, поскольку он является одной из областей головного мозга, поражающихся в первую очередь при данном заболевании.

Данные для исследования получены на основе работ [8–10].

В таблице приведен фрагмент данных для анализа.

Исходные данные для анализа

Левый гиппокамп, мм ³	Левый гиппокамп к головному мозгу, %	Правый гиппокамп, мм ³	Правый гиппокамп к головному мозгу, %	Объем мозга, мм ³
1 912,9858	0,142%	1 789,8982	0,132%	1 350 995,8000
1 891,4456	0,167%	1 981,7098	0,175%	1 132 149,1250
1 706,3013	0,123%	1 757,0749	0,127%	1 388 198,5000
2 613,0465	0,160%	2 001,1987	0,123%	1 630 450,8000
1 935,0390	0,172%	1 804,7710	0,161%	1 122 616,0000
2 236,0900	0,169%	2 387,8980	0,181%	1 319 984,0000
1 178,7750	0,065%	1 309,7500	0,072%	1 816 226,0000
1 546,8000	0,117%	1 362,1690	0,103%	1 325 329,0000
1 815,0290	0,152%	1 372,4260	0,115%	1 195 799,0000
1 797,0790	0,154%	1 723,2260	0,148%	1 163 254,0000
2 282,2480	0,197%	1 598,0870	0,138%	1 160 145,0000
2 441,2360	0,206%	2 133,0050	0,180%	1 187 706,0000
1 902,2156	0,150%	1 569,8792	0,124%	1 269 719,5000
1 625,2680	0,152%	1 762,7160	0,165%	1 066 600,0000
1 194,1569	0,079%	2 236,1586	0,149%	1 503 455,1000
2 127,8760	0,192%	1 931,4490	0,174%	1 108 507,0000
2 807,4220	0,214%	1 428,3280	0,109%	1 311 044,0000
2 480,7270	0,182%	1 734,5090	0,127%	1 365 465,0000
1 294,4710	0,096%	2 777,1630	0,206%	1 347 500,0000

На рисунке 3 показано сравнение результатов работы TreeClustering, K-Means и SVM.

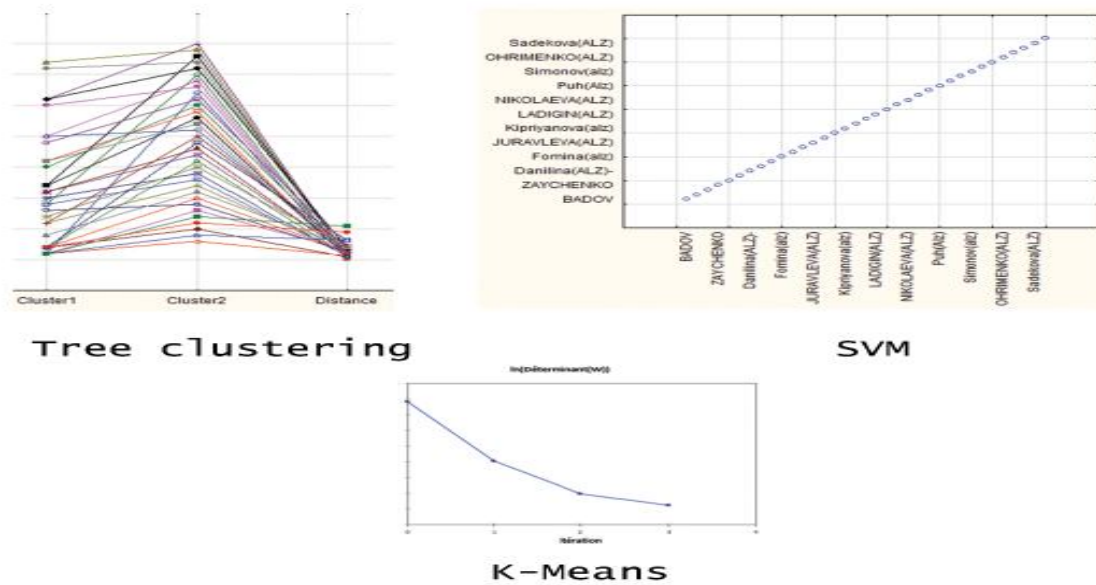


Рис. 3. Результат True Clustering, K-Means и SVM

Можно заметить, что первый алгоритм – TreeClustering – обрабатывает данные несколько раз и выдаёт результат без процента ошибок, но выдаёт в качестве ответа наличие 3 кластеров, в то время как в действительности данные группируются только в 2 кластера, а также отображается расстояние между ними. При детальном анализе можно заметить, что существуют пациенты, которых можно отнести к 2 кластерам сразу.

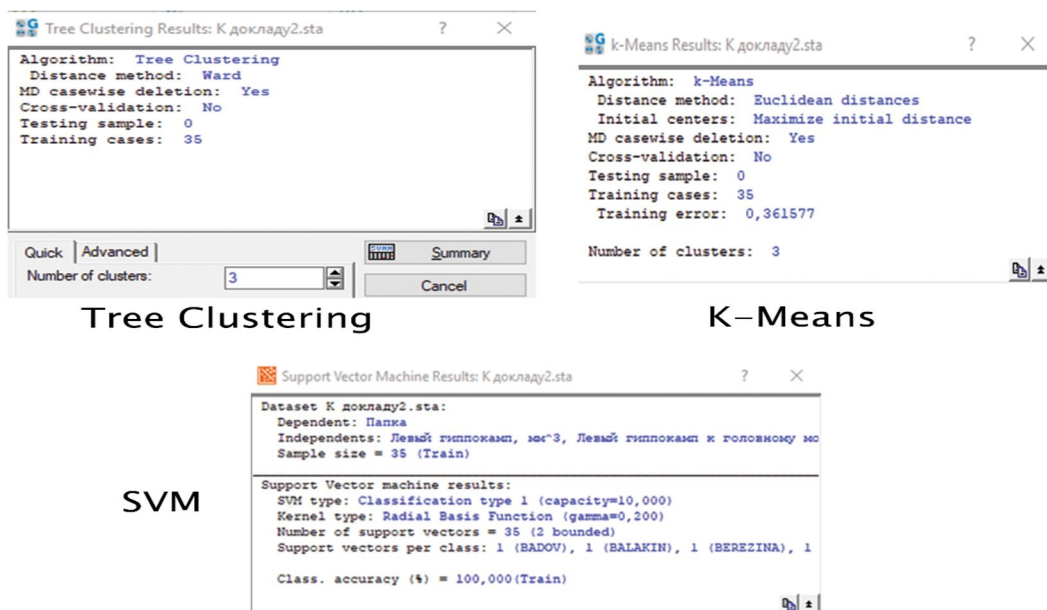


Рис. 4. Результат Tree Clustering, K-Means и SVM

Второй метод определяет 3 кластера, как и предыдущий метод, но отображается процент ошибок и с точным отнесением каждого пациента к конкретному кластеру (рис. 4).

Третий метод не осуществляет группировки, а выделяет для каждого пациента отдельный кластер.

Таким образом, в результате исследования получен результат, что для достижения данной цели наилучшим образом подходит метод K-Means, т. к. он даёт чёткое распределение всех пациентов на три кластера.

Заметим, что исследования преимуществ применения Data Mining при анализе открытых систем, характеризующихся многомерным описанием, подтверждено во многих «пограничных областях» экологии (внешнего окружения) и медицины (определенных кластеров заболеваний), рассматриваются во многих работах (например, в [11]).

Полученные результаты могут использоваться для анализа пространства признаков и разделения групп пациентов на кластеры в зависимости от развития болезни Альцгеймера, что позволит автоматизировать процесс принятия решений при диагностике и лечении в целях своевременного выявления болезни Альцгеймера и оценки динамики ее развития.

Список литературы

1. Барсегян А. А. Методы и модели анализа данных: OLAP и DataMining. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 336 с.
2. Xindong Wu. The top ten algorithms in Data Mining / ed. by Xindong Wu, Vipin Kumaz. CRC Press, 2009. 214 p.
3. Дюк В.А. Обработка данных на ПК в примерах. СПб.: Питер, 2007. 231 с.
4. Паклин Н. Б. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. СПб.: Питер, 2016. 706 с.
5. Автоматический анализ количественных характеристик гиппокампа при магнитно-резонансной томографии головного мозга для диагностики возможной болезни Альцгеймера (обзор литературы и результаты собственных исследований) / В. Н. Гридин, М. И. Труфанов, В. И. Солодовников, В. С. Панищев, В. Е. Сеницын, Н. Н. Яхно // Радиология – практика. 2017. № 6 (66). С. 41–59.
6. Automatic classification of patients with Alzheimer’s disease from structural MRI: A comparison of ten methods using the ADNI database / R. Cuingnet, E. Gerardin, J. Tessieras [et al.] // Neuroimage. 2011. No. 56. P. 766–781.

7. Rabeh A., Benzarti F., Amiri H. Diagnosis of Alzheimer disease from MRI images of the brain throughout time // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2017. Vol. 552. P. 219–226.

8. Вычисление количественных характеристик кортикальной пластинки теменной области и подкорковых структур головного мозга при анализе качественных данных магнитно-резонансной томографии для диагностики болезни Альцгеймера / В. Н. Гридин, В. С. Панищев, М. И. Труфанов, Н. Н. Яхно // *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2017. № 11. С. 3–10.

9. Алгоритм вычисления параметров гиппокампа при диагностике болезни Альцгеймера / В. Н. Гридин, В. А. Перепелов, В. С. Панищев, М. И. Труфанов, Н. Н. Яхно // *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2019. Т. 22, № 7. С. 5–15.

10. Статистическая обработка и методика сокращения размерности пространства данных пациентов при анализе когнитивных нарушений / Н. Н. Яхно, В. Н. Гридин, Д. С. Смирнов, В. С. Панищев, В. А. Парфенов, Т. М. Остроумова, Н. Н. Коберская // *Информационные технологии*. 2020. Т. 26, № 9. С. 515–522.

11. Исследование влияния экологических факторов на динамику уровней сердечно-сосудистой заболеваемости в городе / В. В. Протасова, Н. А. Корневский, М. В. Артеменко, В. С. Смирнов // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2010. № 1. С. 123–127.

R. L. Mbuyi Mukadi¹ ✉, **V. S. Panishchev¹**

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

✉ e-mail: robertmbuyi@gmail.com

RESEARCH ON DATA MINING TECHNIQUES FOR ALZHEIMER'S DISEASE ANALYSIS

Recently, the DATA MINING set of methods has attracted great attention in the information industry and in society as a whole, due to the fact that the wide availability of huge amounts of data has given rise to the problem of converting such data into useful information and knowledge in the shortest possible time. The information and knowledge thus obtained can be used in various areas: from banking and trade (market analysis, fraud detection, customer retention) to production management and research. The paper examined the use of DATA MINING to investigate patients with Alzheimer's disease.

Keywords: intelligent data analysis; DATA MINING; comparative analysis of methods; research of patients; with Alzheimer's disease.

УДК 681.3

Ю. С. Данилова¹ ✉, Е. А. Новикова¹

¹ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж,
Россия

✉ e-mail: pisarewskaya@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ БОЛЕЗНЕЙ ПЕЧЕНИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО СГЛАЖИВАНИЯ

Минздрав России характеризует эпидемическую ситуацию в стране по вирусному гепатиту А как очень неблагоприятную. Еще большие опасения Минздрава вызывает положение дел с вирусными гепатитами В и С, которые передаются через кровь при проведении различных обследований и процедур, а также половым путем. Эти болезни часто переходят в хроническую стадию, приводя к развитию цирроза и рака печени. Из всего вышесказанного видно, что проблема диагностики и лечения гепатита является весьма актуальной. Прогнозирование заболеваемости проводилось в программе STATISTICA с использованием метода экспоненциального сглаживания.

Ключевые слова: вирусный гепатит; прогнозирование; экспоненциальное сглаживание.

В настоящее время заболевания печени являются довольно распространенным явлением, так, например, вирусный гепатит А превратился в эпидемию. Еще большие опасения Минздрава вызывает положение дел с вирусными гепатитами В и С, которые передаются через кровь при проведении гинекологических, урологических и прочих обследований и процедур, а также половым путем. Эти болезни часто переходят в хроническую стадию, приводя к развитию цирроза и рака печени. Заболеваемость гепатитом С возрастает ежегодно на 7–15%.

Из всего вышесказанного следует, что проблема диагностики и лечения гепатита является весьма актуальной, поэтому для мониторинга ситуации по данным заболеваниям важным является осуществление прогнозирования состояния болезней печени.

В данной работе при прогнозировании заболеваемости применялся метод экспоненциального сглаживания (способ сглаживания временных рядов, вычислительная процедура которого включает обработку всех предыдущих наблюдений, при этом учитывается устаревание информации по мере удаления от прогнозного периода). Иначе говоря, чем больше времени прошло с момента конкретного наблюдения, тем меньше оно должно влиять на величину прогнозной оценки [1].

Прогноз заболеваемости проводился в программе STATISTICA. Результаты исследований приведены на рисунках 1–6 для Российской Федерации и Воронежской области. Построение прогноза было основано на

данных, взятых с ресурса Министерства здравоохранения Российской Федерации, за период с 2015 по 2019 г., статистика по хроническому гепатиту была взята с сайта Роспотребнадзора.

Исходные данные по статистике заболеваемости представлены в таблице.

Динамика показателей заболеваемости по Российской Федерации и Воронежской области

Показатели		2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Количество заболевших хроническим вирусным гепатитом, чел.	РФ	67986	65175	62387	61629	60894
	Воронежская область	439	532	568	628	782
Зарегистрированные случаи фиброза и цирроза печени, чел.	РФ	18640	19935	21285	22014	21438
	Воронежская область	377	338	350	390	482
Количество пациентов с заболеваниями печени, чел.	РФ	87172	89845	92385	94842	98449
	Воронежская область	1150	1250	1395	1451	1517

Как видно из таблицы, за последнее время ситуация заболеваемости по стране улучшилась по сравнению с предыдущими годами. Прогноз заболеваемости хроническим гепатитом представлен на рисунке 1.

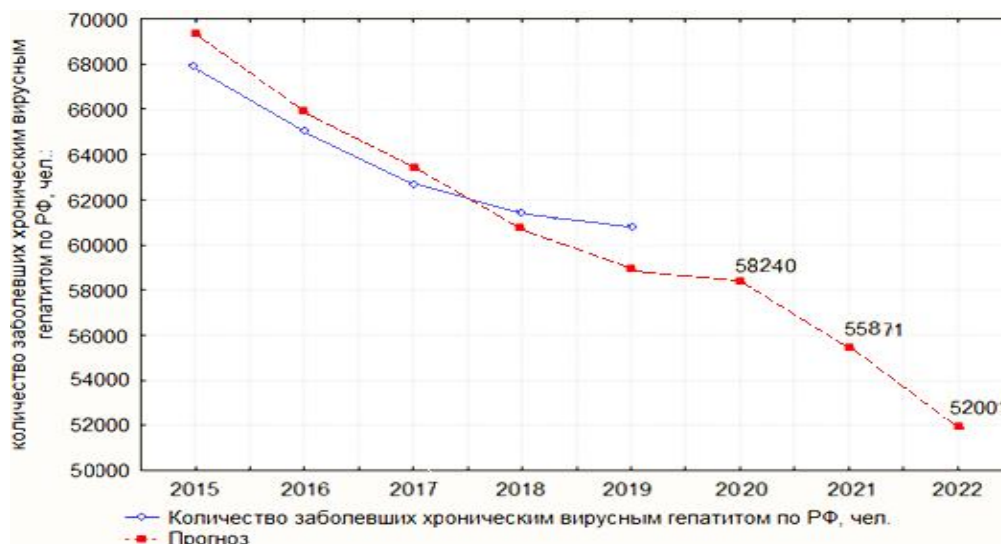


Рис. 1. Прогноз развития заболеваемости хроническим гепатитом в Российской Федерации

Исходя из полученных данных прогнозирования, количество заболевших вирусным гепатитом может сократиться на 10,7% к 2022 г.

На рисунке 2 представлено прогнозирование заболеваемости по Воронежской области.

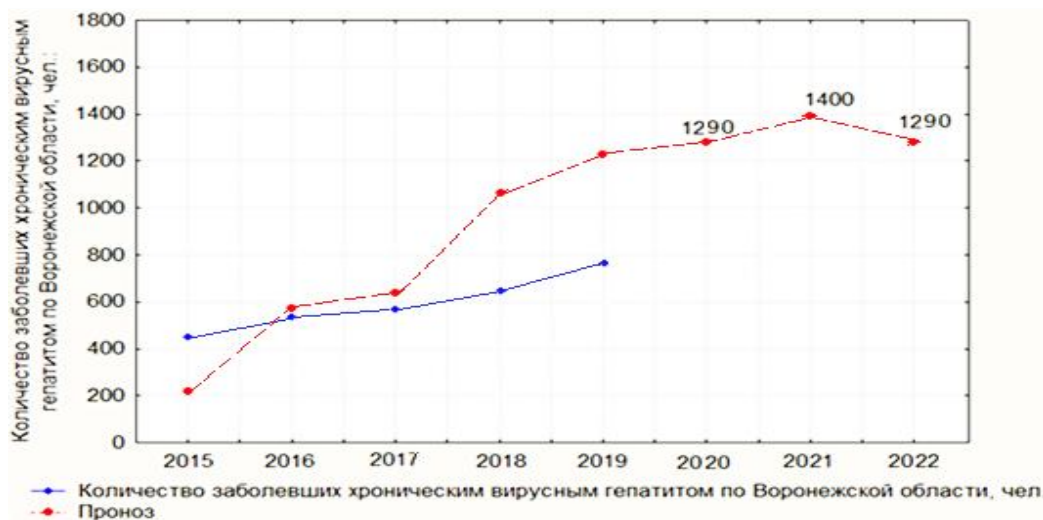


Рис. 2. Прогноз развития заболеваемости хроническим гепатитом по Воронежской области

По данным полученных прогнозов можно сделать вывод, что к 2022 г. заболеваемость хроническим гепатитом в Российской Федерации упадет примерно на 7 тысяч человек в год. Тем не менее заболеваемость хроническим вирусным гепатитом по Воронежской области может возрасти [2].

На следующем графике представлен прогноз заболеваемости циррозом печени по Российской Федерации на 2020–2022 гг. (рис. 3).

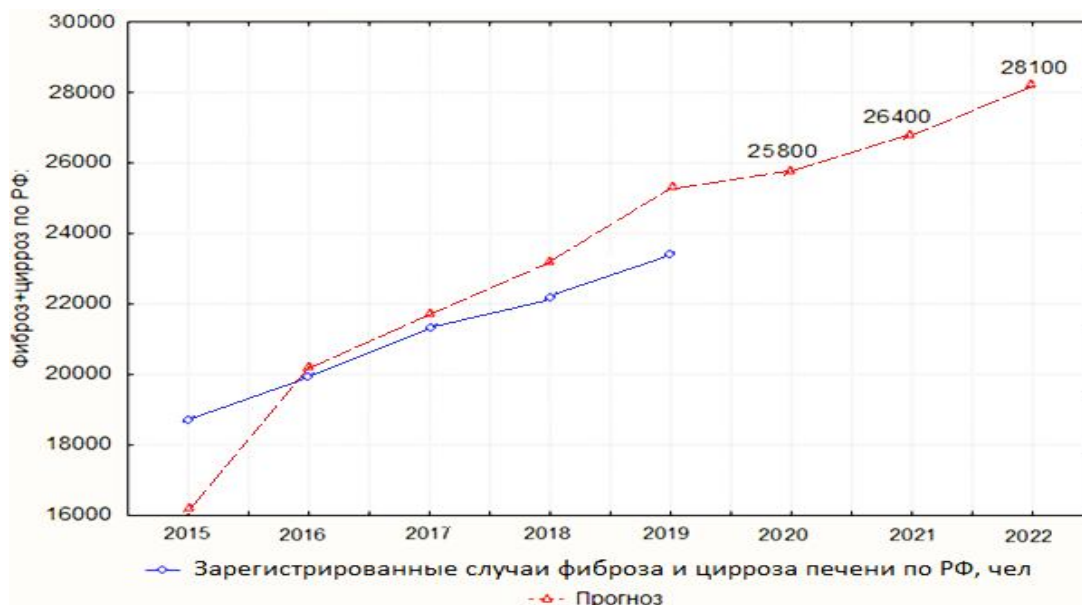


Рис. 3. Прогноз развития заболеваемости фиброзом и циррозом печени по Российской Федерации

Исходя из полученного прогноза, ситуация по заболеваемости фиброзом и циррозом печени может ухудшиться к 2022 г. в Российской Федерации, число заболевших может возрасти почти на 30% по сравнению с 2019 г.

Далее было проведено прогнозирование по полученным данным по Воронежской области (рис. 4). Ошибка прогнозирования составила 8% [3; 4].

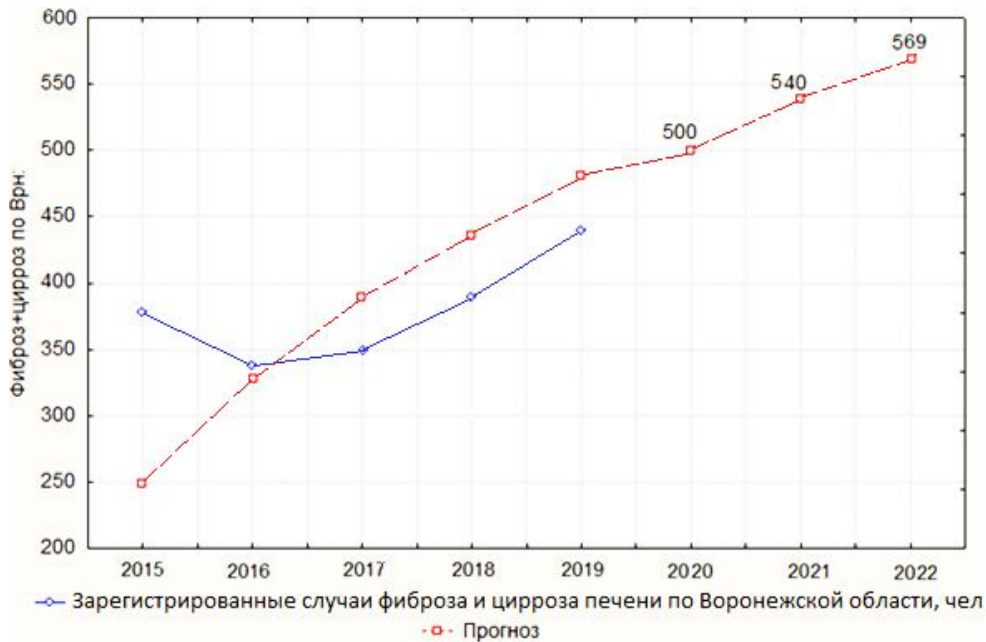


Рис. 4. Прогноз заболеваемости фиброзом и циррозом печени по Воронежской области

На рисунках 5, 6 представлены графики прогнозов дальнейшего развития заболеваемости по Российской Федерации и Воронежской области на 3 года вперед.

Прогнозирование заболеваний печени по Российской Федерации показало, что численность больных может возрасти более чем на 5 тыс. человек за 3 года.

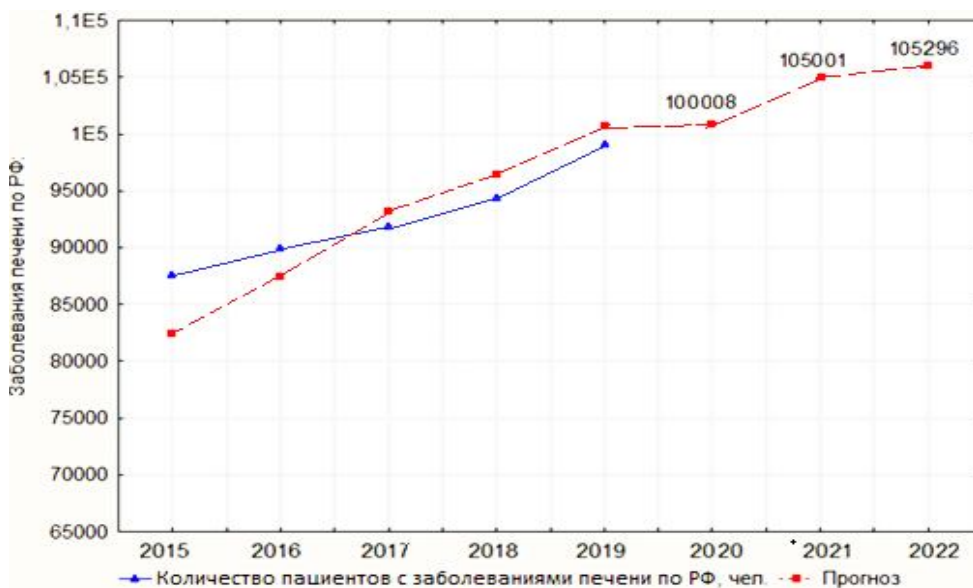


Рис. 5. Прогнозирование по показателю «Количество пациентов с заболеваниями печени по Российской Федерации»

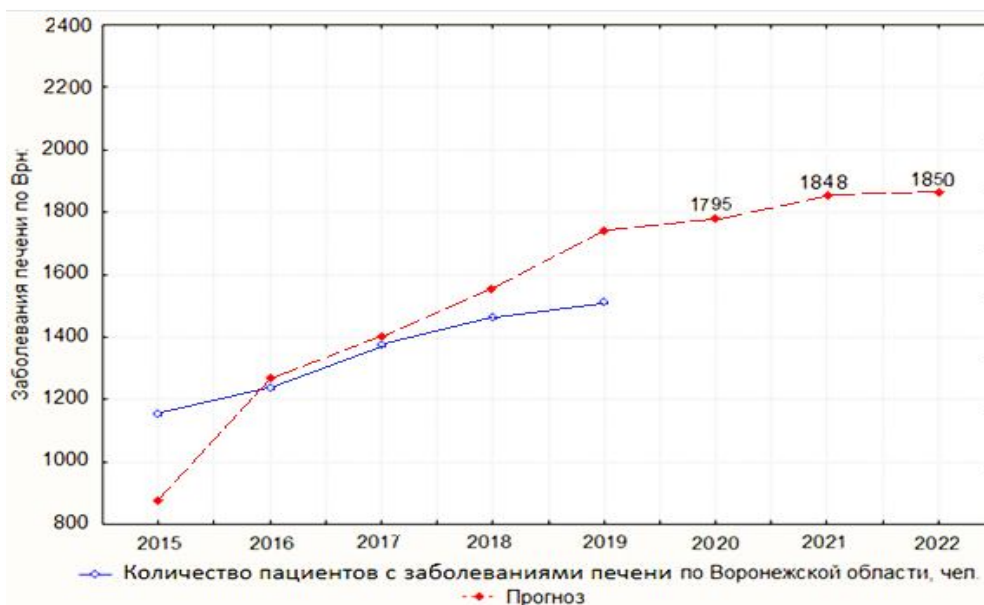


Рис. 6. Прогнозирование по показателю «Количество пациентов с заболеваниями печени по Воронежской области»

Так как данный прогноз имеет довольно большое среднее значение ошибки, то нельзя судить о высокой точности анализа, тем не менее тренд имеет возрастающий характер, что позволяет сделать вывод о возможном возрастании числа больных с патологиями печени по Воронежской области в период с 2019 по 2022 г. Таким образом, очевидно, что проблема актуальна на сегодняшний день, в связи с чем необходимо рассмотреть и проанализировать характеристику и классификацию исследуемых патологий, их этиологию и патогенез.

Список литературы

1. Данилова Ю. С., Коровин Е. Н., Новикова Е. И. Прогнозирование развития заболеваемости бронхиальной астмой в Российской Федерации на основе метода экспоненциального сглаживания // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2017. Т. 16, № 4. С. 906–910.
2. Болдинов И. Н., Данилова Ю. С. Разработка логического алгоритма диагностики хронического гепатита и цирроза печени // Программная инженерия: современные тенденции развития и применения (ПИ-2020): сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 30-летию создания кафедры программной инженерии. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2020. С. 109–113.
3. Новикова Е. И., Зеленов С. С., Данилова Ю. С. Модели диагностики сердечно-сосудистых заболеваний на основе статистического анализа // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т. 18, № 2. С. 127–132.

4. Новикова Е. И., Штырлина Д. П. Алгоритм процесса диагностики острого панкреатита на основе статистического анализа // Управление в биомедицинских, социальных и экономических системах: межвузовский сборник научных трудов. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2014. С. 46–50.

Y. S. Danilova¹ ✉, **E. I. Novikova¹**

¹ Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

✉ e-mail: pisarewskaya@mail.ru

FORECASTING THE DEVELOPMENT OF LIVER DISEASES BASED ON EXPONENTIAL SMOOTHING METHOD

The Ministry of Health of Russia characterizes the epidemic situation in the country for viral hepatitis A as very unfavorable. The Ministry of Health is even more concerned about the situation with viral hepatitis B and C, which are transmitted through blood during various examinations and procedures, as well as sexually. From the foregoing, it can be seen that the problem of diagnosing and treating hepatitis is very urgent. Morbidity prediction was carried out in the STATISTICA program using the exponential smoothing method.

Keywords: viral hepatitis; prediction; exponential smoothing.

УДК 004.891.3

Д. А. Медников¹, З. У. Протасова¹, О. В. Шаталова¹ ✉, **А. В. Серебровский¹**

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

✉ e-mail: shatolg@mail.ru

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В КАРДИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ: ОБЗОР

Представленная работа является обзорным исследованием в области систем поддержки принятия решений по кардиологическому риску.

Ключевые слова: сердечно-сосудистые заболевания; система поддержки принятия врачебных решений; латентные переменные; индикаторные переменные.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90116.

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются причиной около трети всех смертей в мире. Данные Всемирной организации здравоохранения показывают, что ССЗ являются ведущей причиной смерти во всем мире, как для полов, так и для всех возрастов. Во всем мире больше смертей от ССЗ,

чем от всех инфекционных, неонатальных и пищевых расстройств вместе взятых, и в два раза больше, чем от рака [1].

Эти факты иллюстрируют важность работы с ССЗ. Искусственный интеллект (ИИ) и системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) могут помочь врачам обеспечить лучшее и более персонализированное лечение своих пациентов. В течение предыдущих лет было приложено много усилий для внедрения СППВР. Большой класс СППВР основан на машинном обучении (ML). В предыдущие десятилетия было показано, что ML, как и другие отрасли ИИ, имеет широкий спектр возможных реализаций в медицине и может быть очень полезным. Первое и используемое в настоящее время определение ML было предложено А. Самюэлем [1]: «ML – это область изучения, которая дает компьютерам возможность учиться, не будучи явно запрограммированными». Программа ML может учиться на основе медицинских данных, которые собирались врачами и приборами в течение многих лет для составления прогнозов или постановки диагноза.

Существует множество специфических приложений алгоритмов ИИ и ML в качестве инструментов для поддержки принятия решений при решении различных медицинских задач. Например, классификаторы на основе ИИ использовались в урологии [2; 3; 4], в прогнозировании заболеваний системы дыхания, при прогнозе сердечно-сосудистых заболеваний, при классификации функциональных состояний человека, а также для анализа медицинских изображений [5; 6; 7; 8; 9].

Существует множество алгоритмов ML, которые могут быть использованы для прогнозирования, классификации или оценки медицинских данных. Различные алгоритмы могут быть более подходящими и эффективными или менее зависимыми от конкретных данных или конкретной задачи.

Любая система ML нуждается в соответствующем наборе данных для обучения и проверки. Одной из самых больших проблем при разработке системы машинного обучения является получение данных для обучения и оценки.

Каждая система нуждается в оценке, и существует множество различных метрик для их оценки. Работа СППВР связана с решением проблемы классификации, которая является разновидностью задачи, в которой компьютерной программе предлагается указать, к какой категории k относится тот или иной вход. Для решения этой задачи алгоритм обучения обычно выдает функцию f . Когда $y = f(x)$, модель присваивает вход, описанный по вектору x , категории, идентифицируемой числовым кодом y [10; 11]. Такие системы берут на вход набор примеров, каждый из которых принадлежит классу. Выводом для новой выборки является класс, к которому эта выборка имеет наибольшую вероятность принадлежности.

Основная концепция ML заключается в том, что машины используют данные для создания программы или для изучения целевой функции F , которая лучше всего сопоставляет входную переменную X с выходной переменной Y . В отличие от традиционного программирования в ML не дают компьютеру функцию или программу, чтобы получить выход в соответствии с входом. Вместо этого компьютеру дают примеры входов и желаемых выходов, чтобы создать программу для получения нужного выхода для незамеченных входов (рис.).

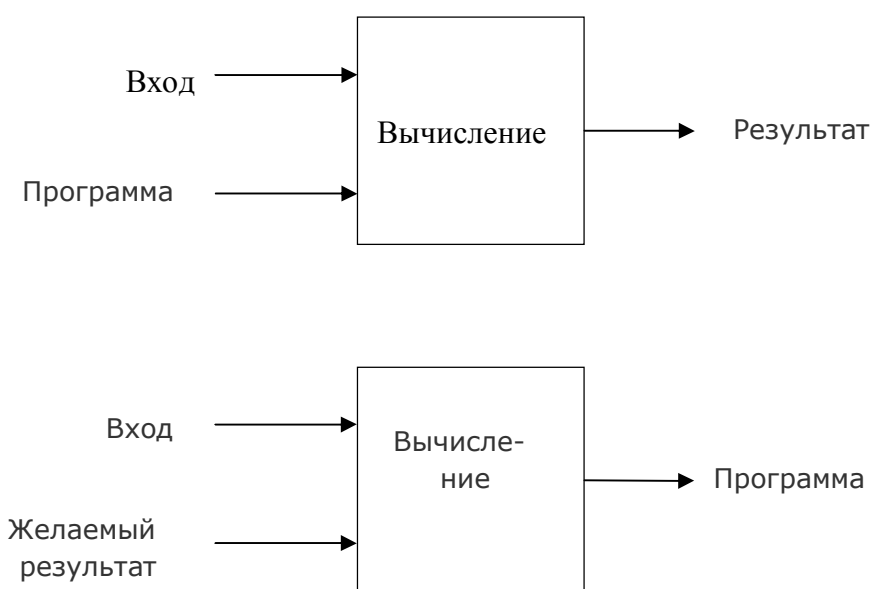


Рис. Концепция машинного обучения

Существует три группы алгоритмов ML: обучение с учителем, обучение без учителя и усиление обучения. В некоторых работах методы ML применяются не только для основной задачи работы, такой как диагностика или прогнозирование, но и для выбора атрибутов или предварительной обработки данных. Основное внимание уделено методам ML, которые могут быть использованы для решения основных задач исследования. К таким методам могут быть отнесены следующие:

- *деревья принятия решений* [1];
- *усиление (бустинг) и ансамбли классификаторов* [12; 13];
- *случайный лес или лес случайных решений*;
- *искусственная нейронная сеть и MLP* [14; 15];
- *логистическая регрессия (ЛР)* [16];
- *векторная машина поддержки (SVM)* [17];
- *классификатор Наивный Байес* [18];
- *алгоритм k-ближайших соседей (K-NN)*.

Каждая система искусственного интеллекта нуждается в наборе данных для обучения и валидации. Все наборы данных, используемые в исследованиях, делятся на две группы: общедоступные наборы данных и наборы данных, доступ к которым был затруднен. Примерами последних являются наборы данных, которые собираются в медицинских учреждениях или получают из реестра. Ли и другие ученые использовали базу данных PhysioNet/CinC Challenge 2011 для разработки классификатора и привлекли реальные ЭКГ из базы данных MIT-BIH по аритмии (MITDB) для оценки эффективности классификации. Ло и соавторы получили интегрированный набор данных, собранный из 4 наборов данных, предоставленных репозиторием UC Irvine Machine Learning Repository. Они включали набор данных по Венгрии, набор данных по Швейцарии, набор данных по Кливленду и набор данных по VA Long Beach. Новый набор данных содержит 822 случая, диагностированных как с помощью САПР, так и без него. Набор данных также доступен в репозитории UC Irvine Machine Learning Repository в виде набора данных по сердечным заболеваниям [19].

Машинообучающий репозиторий UC Irvine аккумулирует наборы данных, которые могут быть использованы для эмпирического анализа алгоритмов машинного обучения. На сайте репозитория говорится: «он цитировался более 1000 раз, что делает его одним из 100 наиболее цитируемых "работ" во всей компьютерной науке». Всего в репозитории содержится 399 наборов данных, классифицированных по доменам, типам задач, типам данных и т.д. Категория «Науки о жизни» включает 91 набор данных, связанных с биологией и медициной. В частности, с болезнями сердца связаны три набора в этом хранилище: Набор данных Z-Alizadeh Sani dataset, Cleveland Heart Disease dataset и Heart Disease Data Set [19].

Набор данных Z-Alizadeh Sani содержит записи о 303 пациентах, каждый из которых имеет 54 признака. Признаки разделены на четыре группы: демографические, симптоматические и обследованные, ЭКГ, лабораторные и эхоаналитические. Каждый пациент может принадлежать к одной из двух возможных категорий: CAD или Normal. Пациенты классифицируются как CAD, если диаметр их коронарных артерий сужается больше или равен 50%, в противном случае пациент классифицируется как нормальный. Набор данных предоставлен Машинным обучающим репозиторием UCI; обновленная версия этого набора данных также доступна в этом репозитории [20].

Кливлендский набор данных по болезни сердца был опубликован в 1988 г. и содержит 76 атрибутов и 303 экземпляра. Предлагаемая задача набора данных – предсказать наличие сердечных заболеваний у пациента. Целевое поле представляет собой целое число от 0 до 4. Пятьдесят четыре процента образцов представляют пациентов без сердечных заболеваний и 46 процентов – с заболеваниями сердца. На веб-странице набора данных также указано, что исследователи обычно используют подмножество 14 из 76

представленных предикторов. Предикторы включают возраст, пол, тип боли в груди, АД в состоянии покоя, уровень холестерина в сыворотке крови (мг / дл), уровень сахара в крови натощак, результаты электрокардиографии в покое, максимальную частоту сердечных сокращений, стенокардию, вызванную физической нагрузкой, депрессию ST-сегмента ЭКГ, наклон сегмента ST при максимальной нагрузке, количество крупных сосудов и диагноз сердечных заболеваний (предсказуемый признак). Набор данных предоставляется репозиторием машинного обучения UCI.

Набор данных по сердечным заболеваниям состоит из венгерского набора данных (294 участника), предоставленного Венгерским институтом кардиологии, швейцарского набора данных (123 участника), предоставленного Швейцарской университетской больницей, набора данных из Кливленда (303 участника), предоставленного Кливлендским клиническим фондом, и набора данных "VA Long Beach" (200 участников), предоставленного Медицинским центром "VA", Лонг-Бич, Калифорния, США. Данные из этих четырех ресурсов были объединены в новый набор данных, а незавершенные записи были удалены. Набор данных содержит 822 случая, в том числе 453 пациента с диагнозом CAD и 369 случаев без симптомов CAD, 642 мужчины и 180 женщин в возрасте от 28 до 77 лет.

PhysioNet/Computing in Cardiology (CinC) Challenge – веб-ресурс PhysioNet для сложных физиологических сигналов предоставляет доступ к коллекции записанных физиологических сигналов. PhysioNet совместно с Computing in Cardiology conference решает ряд проблем, приглашая участников к решению клинически интересных.

База данных PhysioNet/CinC Challenge 2011 г. была озаглавлена «Улучшение качества ЭКГ, собираемых с помощью мобильных телефонов». Набор данных включает стандартные 12-канальные записи ЭКГ (отведения I, II, III, aVR, aVL, aVF, V1, V2, V3, V4, V5 и V6) с полной диагностической полосой пропускания (от 0,05 до 100 Гц). Отведения записывались одновременно в течение как минимум 10 с; каждый вывод отбирался с частотой 500 Гц с 16-битным разрешением. ЭКГ, собранные для проверки, рассматривались независимо группой аннотаторов, которые анализировали каждую ЭКГ и присваивали ей буквенную оценку качества сигнала от А (отлично) до F (неприемлемо). Средняя оценка рассчитывалась в каждом случае и каждая запись присваивалась одной из трех групп: приемлемая, неопределенная, неприемлемая. Сборник из 1500 двенадцатиканальных ЭКГ, каждая продолжительностью 10 с, доступен и разделен на тренировочные и тестовые наборы.

База данных Physionet/CinC Challenge 2015 г. была названа «Уменьшение ложной аритмии сигнализации в реанимации». Набор данных содержит данные ЭКГ, АД (артериальное кровяное давление), ФПГ (фотоплетизмограмма) и данные о дыхательных путях интенсивной терапии с сигналами

тревоги по пяти опасным для жизни типам аритмии: асистолия, крайняя брадикардия, крайняя тахикардия, желудочковая тахикардия, а также трепетание или мерцание желудочков. Данные состоят из 750 записей для тренировочного комплекта и 500 записей для нераскрытого тестового комплекта. Как в тренировочном комплекте, так и в тестовом половина записей длиной 5 мин, а вторая половина содержит дополнительные 30 с после сигнала тревоги. В каждой записи будильник срабатывает в 5 мин от начала записи.

База данных PhysioNet/CinC Challenge 2016 г. была создана для разработки алгоритмов классификации звуков сердца. Звуковые записи собирались как в клинических, так и в неклинических условиях (например, во время ингаляций), как у здоровых людей, так и у патологически больных. Тренировочный комплект Challenge состоит из 3126 записей звуков сердца продолжительностью от 5 с до более 120 с.

База данных аритмии MIT-BIH (MITDB) завершена в 1980 г. Она также предоставлена веб-ресурсом PhysioNet. База данных содержит записи ЭКГ, собранные в Бостонской больнице Бет Исраэль. База данных аритмии MIT-BIH содержит 48 фрагментов получасовых записей ЭКГ, полученных от 47 испытуемых, изученных лабораторией аритмии ВИН в период 1975–1979 гг.

Мультиэтническое исследование атеросклероза (MECA) – это изучение характеристик субклинического сердечно-сосудистого заболевания (болезнь, выявленная неинвазивно до того, как у нее появились клинические признаки и симптомы) и факторов риска, предсказывающих прогрессирование клинически открытого сердечно-сосудистого заболевания или субклинического заболевания. Мультиэтническое исследование атеросклероза началось в 2000 г. и включало 6814 бессимптомных участников в возрасте 45–84 лет. Данные включают традиционные ФР, демографические данные, атеросклеротические маркеры, маркеры магнитно-резонансной томографии (МРТ), лабораторные биомаркеры и др. Всего имеется 735 характеристик.

Самым большим набором данных по количеству выборок является набор данных, представленный в Исследовательском каталоге клинической практики. На сайте CPRD говорится, что CPRD собирает деидентифицированные данные о пациентах из сети практикующих врачей по всей Великобритании. Данные о первичной медико-санитарной помощи в сочетании с другими данными, относящимися к здравоохранению, составляют репрезентативную подборку данных о состоянии здоровья населения Великобритании. Эти данные включают более 35 млн пациентов. Вместе с тем в ходе исследования сообщалось о подгруппе из 383 592 записей, 378 256 из которых соответствовали критериям работы и были включены в исследование. Все остальные наборы данных содержат менее 62 тыс. образцов.

Для оценки результатов классификации использовались различные метрики. Наиболее распространенным подходом к оценке результатов клас-

сификации является матрица ошибок (табл.). Чтобы построить такую матрицу, каждый классифицированный пример должен быть обозначен как один из следующих типов: примеры истинно положительных результатов (TP) классифицируются как положительные и фактически положительные (правильная классификация); примеры истинно отрицательных результатов (TN) классифицируются как отрицательные и фактически отрицательные (правильная классификация); примеры ложно положительных результатов (FP) классифицируются как положительные, но фактически отрицательные (ошибки типа I); примеры ложно отрицательных результатов (FN) классифицируются как отрицательные, но фактически положительные (ошибки типа II).

Матрица ошибок

		Действительный	
		Положительный	Отрицательный
Прогноз	Положительный	TP	FP (ошибка типа I)
	Отрицательный	FN (ошибка типа II)	TN

Диагностическая эффективность (Accuracy) является наиболее распространенной и простой для понимания метрикой оценки. Это отношение всех правильных прогнозов к общей сумме всех предсказанных выборок. Во многих случаях Accuracy не является очень полезной метрикой:

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{True}}{\text{Total}} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}}. \quad (1)$$

Для получения более точных и полезных оценок для классификаций используются алгоритмы "Precision" и "Recall".

Precision – это доля предсказанных положительных результатов, которые действительно являются правильными положительными результатами по отношению ко всем предсказанным положительным образцам. Precision дает ответ на вопрос: из всех образцов, которые мы классифицировали как истинные, сколько на самом деле истинных?

$$\text{Precision} = \frac{\text{TP}}{\text{predicted positives}} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}}. \quad (2)$$

Recall (диагностическая чувствительность) - это отношение истинно положительных результатов к общему количеству положительных образцов. Он показывает, сколько из всех реальных положительных примеров было правильно классифицировано. Чем выше Отзыв, тем меньше положительных примеров не попадает в классификацию:

$$\text{Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{actual positives}} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}}. \quad (3)$$

Напомним о соотношении полученных соответствующих случаев (истинные положительные результаты) и общего количества соответствующих выборок. Оно показывает, сколько из всех фактических положительных результатов было классифицировано правильно. Чем выше Precision, тем меньше положительных примеров было пропущено в классификации.

Обе метрики соединены друг с другом, более высокий уровень Precision может быть получен за счет уменьшения Recall и наоборот. Таким образом, разделение, не использующее ни точности, ни запоминания, является хорошим оценочным методом алгоритма классификации. Для того чтобы объединить обе метрики в одну, используется F-Score.

F-Score (F-мера, или F₁-оценка) – это взвешенное гармоническое среднее значение Precision и Recall. Эта метрика показывает, сколько случаев модель правильно предсказывает и сколько истинных случаев модель не пропускает.

$$\text{FScore} = 2 \cdot \frac{\text{precision} \cdot \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}}. \quad (4)$$

Другой информативной и очень распространенной метрикой является "Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve" (AUC ROC) [1]. Кривая представляет собой график, показывающий работу классификационной модели и рисует два параметра: True Positive Rate (TPR) и False Positive Rate (FPR). Она суммирует компромисс между TPR и FPR, используя все различные пороговые значения классификации. Большим преимуществом этой метрики является то, что AUC оценивает модели независимо от порога.

$$\text{TPR} = \text{Sensitivity} = \text{Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{actual positives}} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}}. \quad (5)$$

На самом деле, TPR полностью равнозначен Recall и чувствительности и показывает долю положительных примеров, которые правильно классифицированы по всем фактическим положительным примерам. В свою очередь, FPR является пропорцией фактических отрицательных примеров, которые ошибочно классифицируются как положительные (FP), ко всем фактическим отрицательным примерам. Чем выше FPR, тем больше отрицательных примеров классифицируется неправильно.

$$\text{FPR} = \frac{\text{FP}}{\text{actual negative}} = \frac{\text{FP}}{\text{FP} + \text{TN}}, \quad (6)$$

$$\text{Specificity} = \text{TNR} = 1 - \text{FPR} = \frac{\text{TN}}{\text{actual negative}} = \frac{\text{TN}}{\text{TN} + \text{FP}}. \quad (7)$$

В некоторых источниках другая метрика называется «Специфичность» или «Истинная отрицательная скорость» (TNR). TNR измеряет долю фактических отрицательных примеров, которые правильно классифицируются как отрицательные. Это метрика, противоположная FPR, и часто используется в сочетании с чувствительностью или TPR.

Все представленные работы касаются классификации, тем не менее методы ML могут справляться и с задачами регрессии и кластеризации. Многие исследования посвящены только бинарной классификации и предсказывают смертность или диагностируют САПР бинарным способом. Здесь есть место для улучшений, и цели для систем, основанных на ML, могут быть поставлены более сложные.

В некоторых наблюдаемых работах независимо друг от друга реализуются несколько методов и сравниваются результаты, т. к. нет возможности быть уверенным в том, какой метод имеет лучшую производительность в каждой конкретной задаче [21]. Имеются работы, в которых реализованы ансамбли классификаторов. Древовидные ансамбли являются наиболее распространенными методами, но все методы хорошо известны и использовались для решения множества различных задач. Однако глубокие нейронные сети слабо используются в классификаторах сердечно-сосудистых рисков [22; 23; 24].

Список литературы

1. Dudchenko A., Ganzinger M., Kopanitsa G. Machine learning algorithms in cardiology domain: a systematic review // The Open Bioinformatics Journal. 2020. Vol. 13. P. 25–40.

2. Прогнозирование возникновения, ранняя и дифференциальная диагностика остеохондрозов поясничного отдела позвоночника на основе нечеткой логики принятия решений / М. А. Ефремов, Н. А. Корневский, О. В. Родионов, С. А. Филист // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2006. Т. 5, № 4. С. 939–942.

3. Использование гибридных нейросетевых моделей для многоагентных систем классификации в гетерогенном пространстве информативных признаков / С. Е. Суржикова, С. А. Филист, В. В. Жилин, А. Г. Курочкин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2015. № 3. С. 85–95.

4. Суржикова С. Е., Шаталова О. В., Федянин В. В. Программно-аппаратный комплекс диагностики социально значимых заболеваний // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. № 2 (15). С. 79–87.

5. Кудрявцев П. С., Кузьмин А. А., Филист С. А. Развитие методологии бустинга для классификации флюорограмм грудной клетки // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 9. С. 10–15.

6. Томакова Р. А., Филист С. А., Томаков М. В. Гибридные технологии в интеллектуальных системах идентификации лекарственных средств // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2014. № 6. С. 31–66.

7. Автоматические классификаторы сложно структурируемых изображений на основе мультиметодных технологий многокритериального выбора / М. В. Дюдин, И. В. Зуев, С. А. Филист, С. М. Чудинов // Вопросы радиоэлектроники. 2015. № 1. С. 130–141.

8. Томакова Р. А., Филист С. А., Насер А. А. Нечеткие нейросетевые технологии для выделения сегментов с патологическими образованиями и морфологическими структурами на медицинских изображениях // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. № 4. С. 43–50.

9. Томакова Р. А., Филист С. А., Дураков И. В. Программное обеспечение автоматической классификации рентгенограмм грудной клетки на основе гибридных классификаторов // Экология человека. 2018. № 6. С. 59–64.

10. Модели нечетких нейронных сетей с трехстабильным выходом в инструментарии для психологических и физиологических исследований / С. А. Филист, А. Р. С. Халед, О. В. Шаталова, В. В. Руденко // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2007. Т. 6, № 2. С. 475–479.

11. Филист С. А., Томакова Р. А., Зар До Яа Универсальные сетевые модели для задач классификации биомедицинских данных // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 4 (43), ч. 2. С. 44–50.

12. Гибридные многоагентные классификаторы в биотехнических системах диагностики заболеваний и мониторинге лекарственных назначений / М. А. Ефремов, О. В. Шаталова, В. В. Федянин, А. Н. Шуткин // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2015. № 6. С. 42–47.

13. Слабые классификаторы с виртуальными потоками в интеллектуальных системах прогнозирования сердечно-сосудистых осложнений / А. В. Киселев, О. В. Шаталова, Е. В. Петрунина, Д. С. Забанов, З. У. Зейдан // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 1 (30). С. 9–19.

14. Нейросетевой решающий модуль для исследования живых систем / С. Г. Емельянов, А. Ф. Рыбочкин, С. А. Филист, А. Р. Халед // Известия Курского государственного технического университета. 2008. № 2 (23). С. 77–82.

15. Способ моделирования нечетких моделей в пакете Matlab для биомедицинских приложений / В. В. Жилин, С. А. Филист, Абдул Рахим Халед, О. В. Шаталова // Медицинская техника. 2008. № 2. С. 15–17.

16. Magnetic field exposure and arrhythmic risk: evaluation in railway drivers / L. Santangelo, M. Di Grazia, F. Liotti [et al.] // Int. Arch. Occup. Environ. Health. 2005. Vol. 78(4). P. 337–41.

17. Гибридные многоагентные классификаторы в биотехнических системах диагностики заболеваний и мониторинге лекарственных назначений / М. А. Ефремов, О. В. Шаталова, В.В. Федянин, А. Н. Шуткин // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2015. № 6. С. 42–47.

18. Lewis D. D. Naive (Bayes) at forty: The independence assumption in information retrieval. Berlin, Heidelberg: Springer, 1998. P. 4–15.

19. Verma L. A., Srivastava S., Negi P. C. C. Hybrid data mining model to predict coronary artery disease cases using non-invasive clinical data // J. Med. Syst. 2016. Vol. 40, is. p. 178.

20. Coronary artery disease detection using computational intelligence methods / R. Alizadehsani, M. H. Zangoeei, M. J. Hosseini [et al.]. Knowledge-Based Syst Elsevier, 2016. P. 187–97.

21. Теория проектирования нечетких сетевых экспертных систем для управления медико-экологической безопасностью / Н. А. Корневский, С. А. Филист, А. Б. Красковский, В. И. Афанасьев // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2009. № 9-1 (64), т. 11. С. 146–151.

22. Филист С. А., Уварова В. В., Шуткин А. Н. Структурно-функциональная модель метаанализа медико-экологических данных // Вопросы радиоэлектроники. Серия «Общетехническая» (ОТ). 2015. Вып. 7. С. 102–110.

23. Филист С. А., Волков И. И., Емельянов С. Г. Метод классификации сложных объектов на основе анализа структурных функций медленных волн // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. № 4. С. 6–11.

24. Нейросетевые модели для мета-анализа медико-экологических данных / А. Г. Курочкин, В. В. Протасова, С. А. Филист, А. Н. Шуткин // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2015. № 6. С. 48–53.

D. A. Mednikov¹, Z. U. Protasova¹, O. V. Shatalova¹ ✉, A. V. Serebrovsky¹

¹ Southwest State University, Kursk, Russia

✉ e-mail: shatolg@mail.ru

DECISION SUPPORT SYSTEMS IN THE CARDIOLOGICAL FIELD: REVIEW

The presented work is an overview research in the field of decision support systems for cardiac risk.

Keywords: cardiovascular diseases; medical decision support system; latent variables; indicator variables.

Funding: The reported study was funded by RFBR, project number 19-38-90116.

УДК 616.33-006.6

Ю. В. Климкина¹ ✉

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

✉ e-mail: yulekklim1818@gmail.com

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, СКРИНИНГ, ДИАГНОСТИКА РАКА ЖЕЛУДКА

В статье рассматривается эффективность скрининговых систем и диагностики онкологических заболеваний желудка. Рассмотрены клиническая картина проявления рака желудка и сопутствующие ему симптомы. Представлена информационно-аналитическая модель рака при скрининге. Отмечается, что математические модели со специализированным программным обеспечением отражают структуры взаимосвязей между параметрами крови и позволяют использовать их в системе диагностического процесса. Внедрение систем диагностики и скрининга значительно улучшает качество медицинских услуг.

Ключевые слова: рак желудка; диагностика; онкология; скрининг.

Актуальность темы определяется тем, что в настоящее время рак желудка является одним из распространенных онкологических заболеваний в мире. Эффективность хирургического лечения рака на поздних стадиях не гарантирует полного выздоровления. С этой целью проводится диагностика и скрининг пораженных участков желудка.

Цель: повышение качества медицинских услуг в области диагностики онкологических заболеваний желудка за счет применения наиболее эффективных и продуктивных методов и систем при скрининге.

Задачи:

- систематизировать клинические проявления РЖ;
- проанализировать эффективность скрининговых систем;
- рассмотреть современные диагностические системы онкологических заболеваний желудка.

Несмотря на небольшое снижение заболеваемости раком желудка эта проблема по-прежнему очень актуальна для России. В нашей стране рак желудка занимает одно из ведущих мест в общей структуре онкологических заболеваний и второе место среди опухолей желудочно-кишечного тракта.

К сожалению, у 75% первоначально диагностированных пациентов диагностируются III – IV стадии, что предопределяет неудовлетворительные результаты лечения. Частота выявления ранних форм рака желудка составляет не более 10–20%, а регионарные метастазы уже существуют у 83% пациентов с первоначально диагностированным раком желудка [1]. Распространение раковых клеток (метастазов) происходит через кровоток, лимфоток, через плевральную полость и брюшную полость, в то время как в организме

пациента вторичные опухоли могут развиваться далеко от места первичной опухоли.

Ежегодно регистрируется почти 800 тысяч новых случаев и 628 тысяч смертей от этого заболевания. Странами – «лидерами» являются Япония, Россия, Чили, Китай (40% всех случаев), Филиппины. Странами с низкой заболеваемостью являются США, Австралия, Новая Зеландия. Сравнение показателей выживаемости показывает значительные преимущества расширенных операций по сравнению со стандартными операциями: 5-летняя выживаемость составила $32,3 \pm 4,7\%$ и $22,6 \pm 2,8\%$ ($t = 1,8$). Наибольшие различия выявлены у пациентов со второй ($t = 2,4$) и третьей ($t = 1,5$) стадией заболевания. Пятилетняя выживаемость после более длительной операции составила $57,1 \pm 11,1\%$ и $25,9 \pm 6,0\%$, после стандартных вмешательств только $27,1 \pm 5,8\%$ и $15,6 \pm 3,7\%$ [2].

Клинические проявления рака желудка многообразны, они зависят от патологического фона, на котором развивается опухоль, т.е. от предраковых заболеваний, локализации опухоли, формы ее роста, гистологической структуры, стадии распространения и развития осложнений.

Признаки и симптомы рака желудка:

- чувство вздутия после еды;
- чувство сытости после приема небольшого количества пищи;
- сильная, постоянная изжога;
- выраженные, частые желудочные расстройства;
- необъяснимая, стойкая тошнота;
- боль в животе;
- частая рвота, обычно связанная с приемом пищи;
- непреднамеренная потеря веса;
- усталость.

Большое количество онкологических больных во всем мире не имеет доступа к современной, высококачественной диагностике или лечению рака. Следствием такой ситуации являются страдания и смерть от рака, которые можно было предотвратить. Если рак диагностирован на ранней стадии, он с большей вероятностью отреагирует на эффективное лечение, увеличивая вероятность выживания и уменьшая боль, связанную с противоопухолевым лечением. Преимущества раннего диагностирования РЖ очевидны; качество жизни пациента можно значительно улучшить.

Целью скрининга является выявление бессимптомных или предраковых форм рака у практически здоровых и бессимптомных пациентов. Пока нет четко обоснованного дополнительного лечения рака желудка. Тщательное предоперационное обследование направлено на установление или морфологическое подтверждение диагноза и разработку плана лечения. По-

сколькo другие методы малоэффективны, хирургическое вмешательство – единственный шанс на выздоровление [3].

Диагностический поиск направлен на морфологическую верификацию и обнаружение лимфогенных и гематогенных МТС. Дифференциальную диагностику РЖ следует проводить с ригидным антральным гастритом, болезнью Менетрие, послеожоговыми деформациями, язвенной болезнью (острая язва, хроническая язвенная болезнь, язвенные стенозы и деформации) с помощью гастробиопсии [4].

Для разрешения возникающих противоречий между практическими требованиями и реальными ограничениями существующих методических приемов в работе предлагается информационно-аналитическая модель поддержки принятия решений на этапе скрининг-диагностики рака желудка. На решения руководства о необходимости проведения клинического обследования пациента для выявления рака желудка влияют различные факторы: образ жизни (в основном питание и стресс в повседневных ситуациях), жалобы пациента и другие показатели определенных физиологических систем. Эти показатели формируются блоком «Жалобы пациентов, образ жизни, наследственность» [5; 6].

Полученные математические модели специализированным программным обеспечением, реализующим ортогональный алгоритм метода группового учета аргументов, адекватно отражают структуры связей между показателями крови и позволяют применять их в системе диагностического процесса. Анализ моделей показывает, что при заболевании возрастают линейные и нелинейные, парные и множественные корреляционные связи между анализируемыми показателями [7; 8; 9].

Таким образом, в результате проведения диагностических и скрининговых систем качество медицинских услуг значительно улучшилось. Раннее выявление злокачественных опухолей – скрининг – играет важную роль в снижении смертности, а в некоторых случаях, когда речь идет о выявлении предрака, и заболеваемости от злокачественных опухолей. В связи с этим разработка новых методов скрининга, включая выявление молекулярных маркеров ранних стадий канцерогенеза, имеет большое значение.

Список литературы

1. Hiki Y. Endoscopic treatment of early gastric cancer. Springer' Verlag, 1993. P. 392–403.
2. Двойрин В. В., Аксель Е. М., Бармина Н. М. Злокачественные новообразования в СССР // Вестник РОНЦ им. Н. Н. Блохина РАМН. 1991. С. 47–52.
3. Никулин М. П., Сельчук В. Ю. Рак желудка // Русский медицинский журнал. 2003. Т. 11, № 26. С. 1441–1449.
4. Петерсон С. Б. Онкология. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 288 с.

5. Алиев А. Р., Зейналов Р. С., Агаларов И. Ш. Результаты хирургического лечения проксимального рака желудка // Современные технологии в медицине. 2011. № 1. С. 92–94.

6. Бабков А. С., Серебровский В. В., Артёменко М. В. Синтез решающих правил ранней диагностики рака желудка на основе анализа связей между показателями крови // Интегративные процессы в образовании и медицине – 2014: материалы Международной научно-практической конференции. Курск, 2014. С. 33–42.

7. Screening diagnosis of gastric cancer based on fuzzy models of blood composition and on patient's anamnesis / N. M. Agarkov, M. V. Artemenko, V. V. Dmitrieva, A. S. Babkov, S. A. Gorbatenko // Biomedical Engineering. 2015. Vol. 49, No. 2. С. 94–97. <http://doi.org/10.1007/s10527-015-9505-y>.

8. Синтез гибридных нечетких решающих правил для классификации клинических вариантов течения генитального герпеса на основе моделей системных взаимосвязей / Н. А. Корневский, М. И. Лукашов, М. В. Артеменко, Н. М. Агарков // Фундаментальные исследования. 2014. № 10-5. С. 901–907.

9. Артеменко М. В., Корневский Н. А., Дронова Т. А. Применение показателей системной организации в диагностическом процессе // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2003. Т. 2, № 1. С. 16–20.

Y. V. Klimkina¹ ✉

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

✉ e-mail: yulekklim1818@gmail.com

MATHEMATICAL MODELS, SCREENING, DIAGNOSIS OF GASTRIC CANCER

The article discusses the effectiveness of screening systems and diagnostics of gastric cancer. The clinical picture of gastric cancer manifestation and accompanying symptoms are considered. An information-analytical model of cancer in screening is presented. It is noted that mathematical models with specialized software reflect the structures of interconnections between blood parameters and allow them to be used in the system of the diagnostic process. The introduction of diagnostic and screening systems significantly improves the quality of medical services.

Keywords: stomach cancer; diagnostics; oncology; screening.

СОЦИОГУМАНИТАРНЫЕ РИСКИ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК ФАКТОР НАПРЯЖЕННОСТИ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

УДК 316.42; 502.3

В. И. Аршинов¹ ✉

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

✉ e-mail: varshinov@mail.ru

КОНВЕРГЕНТНЫЙ ПОДХОД В НАУКЕ КАК МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ СЛОЖНОСТИ

В работе высказана и аргументирована идея использования конвергентного подхода, предполагающего возможность синергичного взаимодействия разных дисциплин, разных точек зрения в оптике изучения сложности.

Ключевые слова: философия науки и техники; конвергентный подход; сложность; наблюдатель.

Финансирование: Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ №19-18-00504 «Социотехнические ландшафты цифровой реальности: онтологические матрицы, этико-аксиологические регулятивы, дорожные карты и информационная поддержка управленческих решений».

Конвергенция – термин, который взят из теории эволюции. Эволюционные процессы, как известно, конвергентно-дивергентные. Мы исходим из того, что эволюционные процессы (биологические, социальные), а также эволюция всей Вселенной развиваются от простого к сложному. Вектор эволюции, основная интенция эволюции, восходящая ее ветвь связаны с ростом сложности.

В своей работе мы делаем упор на оптике. Основная идея состоит в том, что для того, чтобы осмыслить процессы конвергенции, необходимо рассмотреть биосоциальную и социокультурную эволюцию и сделать их не управляемыми, а направляемыми, т. е. предвосхитить некоторое будущее, которое связано с этими процессами конвергенции. Мы здесь сделаем маленькое отступление. Впервые автор столкнулся с проблемой конвергенции в контексте оптики сложности, именно пытаюсь осмыслить процессы NBIC-конвергенции: нано-, био-, инфо- и когно-. Для автора это был парадигмальный пример. В свое время вокруг нанотехнологии был легкий хайп, и было очень много статей по поводу этого. Как раз нанотехнологии, биотех-

нологии, информационные и когнитивные науки говорили о том, что вот эта синергия их взаимодействия, их конвергенция ведет к взрывному росту открытий. Дальше возникал сюжет трансгуманизма. Было довольно много докладов по поводу междисциплинарности, трансдисциплинарности и других, связанных с этим сюжетом. Для нас остается до сих пор эта NBIC-конвергенция кейсом, от которого мы отталкиваемся в своих рассуждениях. Добавим еще то, что к этому слову NBIC-конвергенция был добавлен сюжет Social. Д. И. Дубровский подчеркивал необходимость этого расширения, т. е. проблема этой конвергенции выводит нас на проблему сложности и проблему синергического взаимодействия разных дисциплин, разных точек зрения. Причем дальше мы попытаемся осмыслить этот концепт конвергенции в антиредукционистском ключе.

Что важно для понимания оптики сложности? Прежде всего то, что концепт сложности был введен Э. Мореном, который опирался на кибернетику второго порядка, теорию открытых систем, идею самоорганизации. Концепт сложности противостоит, в некотором смысле, парадигмам упрощения. Хочется подчеркнуть сразу, что концепт сложности является ни субъективным, ни объективным, он предполагает введение такого активного агента, как наблюдатель сложности. Наблюдатель сложности является посредником. Это важная для нас мысль, которая заключается в том, что идея опосредования чрезвычайно важна для понимания этой оптики, через которую и посредством которой рассматривается весь эволюционный процесс роста сложности, как именно временной процесс, все ветви которого в равной степени важны для того, чтобы эта эволюция продолжалась.

Как возникает идея социотехнического ландшафта и как она связана с парадигмой сложности? Подчеркнем, что наблюдатель сложности – это активный агент, который представляет собой некую систему. Имеется в виду некая сетевая структура, сетевая коммуникативно-перцептивная структура, сеть. Сеть из взаимодействующих, взаимосвязанных наблюдателей. Мы используем термин «наблюдатель», заимствуя его из квантовой механики. Здесь, с точки зрения междисциплинарного видения, для нас важный момент в том, чтобы учесть вышесказанное с точки зрения естественно-научного дискурса, связав его, по возможности, с подходами гуманитаристики. Если мы говорим о естественно-научном знании, то здесь, прежде всего, речь идет о языке квантовой механики. Для нас важным моментом является замечание, что процесс конвергенции предполагает включение внешнего наблюдателя. Этот процесс мультиперспективен, по определению, все эти перспективы не могут быть редуцированы к одной единственной – каждая точка зрения, что бы это ни значило, частична, но акцент на сложности предполагает, что мы ищем некоторую связь, мы рассматриваем вот эти перспективы как взаимно пересекающиеся или топологически связанные, т. е. на эту топологическую связанность, когерентность нацелена парадигма сложности, чтобы

иметь в виду вот это разнообразие, многообразие, и не упускать из виду проблему его единства. Это традиционная проблема, как она ставилась в философии – проблема единства и многообразия. Это единство второго порядка. Именно на этой основе становится возможной конвергенция разных типов социогуманитарного знания и естественно-научного знания.

Хочется обратить внимание на необходимость семиотического подхода. Здесь наблюдатели сложности, как активные агенты, которые находятся в поле между традиционными субъектом и объектом классического философствования, это как бы посредники. Эти активные агенты должны быть определенным образом наделены коммуникативной способностью, коммуникацией друг к другу. Для того чтобы утверждение о том, что они представляют собой сеть, не повисло, необходимо ввести значения семиотики, т. е. обмен знаками. Между этими наблюдателями сложности создается коммуникативный обмен, который осуществляется с помощью знаков, поэтому наблюдатель сложности как сетевой наблюдатель становится семиотическим.

Здесь сюжет семиотики выводит нас на концепцию социотехнического ландшафта как семиотизированного ландшафта аффордансов. Сопряженное понятие с семиотикой – понятие аффорданса, это вызовы, это протознаковая среда, освоенная и осваиваемая в процессе конвергентной эволюции. Взгляд, который мы пытаемся здесь представить и развить, ориентирует нас на идею опосредования, идею связи, прежде всего потому, что сложностная парадигма – это связующая парадигма, это парадигма процесса, которая связывает разные перспективы. Так как мы делаем упор на этой связи, то самый ключевой и фундаментальный вопрос – это вопрос средств, средств познания. Знаки рассматриваются как процесс, как инструмент познания, и этим отчасти объясняется, почему до сих пор в традиционных философских подходах, философско-методологических вопросах упор делается на вещи, а не отношения. Хотелось бы подчеркнуть, что парадигма сложности становится релятивной, реляционной и открытой для будущего, для неопределенного будущего.

Некоторые рассмотренные здесь проблемы отражены в работах [1; 2; 3].

Таким образом, нами обрисована специфика сложностного подхода, в том его виде, в котором он представляет собой видение процессов конвергенции. Еще один момент, на который необходимо обратить внимание, это синергия. Для того чтобы действительно понимать и осмысливать процессы конвергенции, необходимо иметь в виду некоторую идею синергичности, идею синергетики. В данном случае для нас проблема парадигмы сложности представляет собой то, что называется синергетикой второго порядка, т. е. синергетикой наблюдателей, которые взаимодействуют между собой посредством знаков, создают новую реальность и включены в ту реальность, которую они создают.

Список литературы

1. Социотехнический ландшафт цифровой реальности: философско-методологический концепт, онтологические матрицы, экспертно-эмпирическая верификация / В. И. Аршинов, М. В. Артеменко, И. А. Асеева, В. Г. Буданов, О. А. Гримов, Е. Г. Каменский, Н. А. Корневский, А. В. Маякова, В. В. Чеклецов; отв. ред. В. Г. Буданов, И. А. Асеева. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2019. 232 с.

2. Artemenko M. V., Budanov V. G., Korenevskiy N. A. Classification of sociotechnical landscapes on the basis of analogies of cortege codes of indicators //Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1352, no. 1. P. 012002.

3. Чеклецов В. В. Социальная оценка вызовов цифровой реальности и моделирования развития киберфизических систем в контексте пандемии COVID-19 // Философские проблемы информационных технологий и киберпространства. 2020. № 1 (17). С. 4–15.

V. I. Arshinov¹ ✉

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

✉ e-mail: varshinov@mail.ru

THE CONVERGENT APPROACH IN SCIENCE AS A METHOD FOR STUDYING COMPLEXITY

The report expounded and argued the idea of using a convergent approach, suggesting the possibility of synergistic interaction of different disciplines, different points of view in the optics of studying complexity.

Keywords: philosophy of science and technology; convergent approach; complexity; observer.

Funding: The research was carried out with the support of the Russian Science Foundation grant No. 19-18-00504 "Socio-technical landscapes of digital reality: ontological matrices, ethical and axiological regulations, road maps and information support for management decisions."

УДК 316.42: 502.3

В. Г. Буданов¹ ✉

¹ *ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия*

✉ e-mail: budsyn@yandex.ru

К ВОПРОСУ О ГЕТЕРОГЕННОСТИ СОЦИОТЕХНИЧЕСКОГО ЛАНДШАФТА АНТРОПОТЕХНОСФЕРЫ

В статье показана динамика изменения антропосоциотехнического ландшафта современной цивилизации под воздействием цифровых технологий, предложена методика

изучения и измерения различных таксонов ландшафта – социальных практик разного масштаба.

Ключевые слова: философия науки и техники; антропотехносфера; социотехнический ландшафт.

Финансирование: Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ №19-18-00504 «Социотехнические ландшафты цифровой реальности: онтологические матрицы, этико-аксиологические регулятивы, дорожные карты и информационная поддержка управленческих решений».

Здесь, поскольку мы занимаемся неким осмыслением, репрезентацией и работой с социотехническими и антропосоциотехническими ландшафтами [1], насколько этот новый объект доступен пониманию и объяснению, прогнозированию его развития, его трансформации, насколько он связан, насколько здесь есть топологические новые качества, мы стараемся подойти к проблеме комплексно. Все эти аспекты являются объектом внимания при анализе особенностей шестого технологического уклада [2].

Естественно, даже в самом термине – «антропосоциотехнический» есть три пространства: антропологические, социальные и технологические. В четвертом измерении мы должны были бы надстраивать некие характеристики, некие маркеры над этим трехмерным пространством. Дело ведь не только в том, чтобы задать какие-то большие таксоны в базах данных, с которыми человек не может работать наглядным образом, а дело в том, чтобы это было нашим образным инструментарием для понимания целостности. Поэтому хотим обратить внимание на одну вещь. Человек, по Протагору, есть мера всех вещей, поэтому естественно сделать все-таки социальную и технологическую оси как некие базы ландшафта, тогда антропологический отклик будет, собственно, безусловной ценностью для цивилизации, потому что, что бы мы не взяли, даже, например, в экономике, все равно это сводится к человеку и должно сводиться. Наша последняя индустриальная революция демонстрирует, что мотивы ее возникновения – это улучшение человека, преобразование человека, строительство и проектирование человека. Поэтому, человек скорее – это как аспект отклика на меняющиеся социальные институты, в которых происходит имплантирование или ассоциирование современных технологий.

Если брать конструкцию, что человек с древнейших времен существует в четырех умвельтах, соответственно: природное, социальное, внутренние миры или миры образов (виртуальная культура) и технологии, удобно их свернуть в некий тетраэдр, в котором человек посередине, а вокруг него эти четыре умвельта, которые в нашей современной ситуации начинают насыщаться кибернетическими подходами, технологиями, имитациями, заменами и т.д. Тем самым возникает четыре киберумвельта с теми же названиями. Мы прекрасно понимаем, что есть кибертехника, которая, например, в

Индустрии 4.0 называется интернет-вещей, с которым весь социум связан – киберсоциум. Кибернетическая реальность сегодня является вождленным пристанищем для многих молодых, для которых этот мир чужд и агрессивен, а там им комфортно и удобно. То же самое и в отношении природы. Она начинает рассматриваться как некая сложная саморазвивающаяся система, которую мы наблюдаем с помощью множества датчиков, распределенных и в сельском хозяйстве и, скажем, в каких-то заказниках и лесных угодьях и т.д. Тем самым искусственный интеллект расширяет эти умельты, но и туда передает наши компетенции. Раньше было понятно, что техника связана с органопроекциями, техника создается по их образу и подобию, расширяет наши телесные и энергетические возможности. Но постепенно происходит автоматизация, речь идет и о реактивных, рефлекторных дугах, которые туда включаются, и в кибернетических системах первого порядка возникают. А сейчас современные технологии начинают перехватывать когнитивные функции, по мере возникновения простейшего, а сейчас уже не простейшего искусственного интеллекта. И когда мы пытаемся рассуждать об антропологических откликах, то, соответственно, у нас в качестве базы – ландшафты.

Образ ландшафта – это обычный, географический ландшафт, в котором третьим измерением берется высота. Можно брать другие измерения, это может быть демография на сетке географической – плотность населения, могут быть полезные ископаемые, отсюда различные типы географий. Образ такого рода ландшафта мы пытаемся создать, где одно измерение – это социальные практики самого разного рода, причем каждая из них может быть разного масштаба, уменьшая размер шага, можно делать более подробное подразделение. Допустим, образование. У нас есть разновозрастное образование, с разными задачами: есть непрерывное, есть дополнительное образование, внутри – таксоны, которые еще делятся. Итак, одно измерение – это социальные практики, другое измерение – это современные технологии. Речь идет о цифровизации, допустим, в области медицины. Вот, соотносим искусственный интеллект, допустим, и таксон социальных практик медицины. Мы смотрим, как возникает информатизация, цифровизация медицинского кластера, таксона. Но при этом в качестве измерений у нас возникает так называемый контейнер. Контейнер – это уже не одно измерение, туда помещаются наборы маркеров, показателей т.д. и т.п., а как это делать – это каждый раз отдельная задача. Либо необходимо сделать его достаточно ёмким и универсальным, но тогда мы будем иметь некую базу знаний. При этом наше предложение, а мы всякий раз обращаемся к человеческой природе, предполагает, что и саму антропосферу надо каким-то образом представить в виде функциональных таксонов.

Вот здесь используется еще одна идея, которая идет от Гуссерля, – идея обобщенной телесности, помимо сомы, энергии, у нас есть еще тело смыслов, тело культуры. Если следовать более внимательно этим направлениям,

то там есть функциональный изоморфизм, так называемые тела обобщенной телесности, функциональные тела, такие как, скажем, у человека: сома, витальность, реактивность, рефлекторность, эмоциональность, алгоритмичность, способность к логическим выводам. Затем есть креативно-интуитивное тело, тело эмпатии и, наконец, волевое.

Специфика в том, что для современных IT-технологий, искусственного интеллекта последние три тела недостижимы, потому что мы уже сегодня понимаем, что они обладают в том числе и трансперсональной природой, и принципы синхронистичности работают, и проблемы личностного взаимоотношения, субъект-субъектного, педагогики или театральной игры, туда современные IT-технологии не достигают, они могут что-то, соответственно, имитировать, но совершенно статично, неспешно. Возникает идея антропологического ключа, т. е. смотреть, каким образом, в том или ином таксоне определенные практики изменяют антропологический профиль человека. Допустим, самое банальное, многочасовое просиживание человека за компьютером разрушает его энергетическую сферу, сома истощается как-то, увядает эмоциональная сфера. Но самый главный вопрос: чем он занимается за этим компьютером? И тут вы увидите, что есть игротехники, есть задания, связанные с редактированием или поиском информации под какие-то задачи. И выясняется, что эти практики могут, напротив, эмоциональную сферу развивать, где-то будут, если, например, это игра тетрис, развивать реактивные способности человека.

Таким образом, получается, что работа в цифровых пространствах, которые тем или иным образом отражают наши повседневные практики вне всякой цифры, они антропологические профили будут либо поддерживать, либо подавлять примерно так, как бы это происходило в обычной сфере [3; 4]. В связи с этим возникает такой вызов [5]. Многие сегодня говорят о цифровом аутизме, т. е. человек только потребляет информацию, он уже не способен продуцировать что-то свое, его реактивные качества резко понижаются, ему уже внутренний мир его не так интересен, он будет жить в виртуальных средах, например, на уровне Tik Tok. Да, там есть замечательные вещи, но если быть все время в режиме полутора минутного ролика, то что происходит с личностью, например? Вот эти личностные профили антропологические мы предлагаем мерить. Вот такая идея. Соответствующие формы репрезентации этих профилей мы тоже сделали в виде определенных визуализированных ключей, и можно смотреть динамику этих ключей.

Таким образом, мы предложим некий инструментарий для работы и для интерпретации того, что происходит с человеком в современных практиках, использующих цифровую реальность. Можно было бы брать и не цифровую, просто с другими практиками все достаточно понятно, и существует множество исследований. Но сегодня цифра внедряется фантастическими темпами. И вот когда дети попали на дистанционное обучение, а по старым

санитарным нормам было разрешено, чтобы не более получаса в день для младших классов дети проводили за компьютером, то происходили очень серьезные психологические и ментальные травмы. Про родителей нечего и говорить, они не знакомы с методикой освоения материала, и как помочь своему ребенку это сделать. Вот вам пример, выявлены стрессы антропологические, которые связаны с необходимостью неизбежной жизни в определенных технологиях. Поскольку технологии сегодня развиваются стихийно, по потребностям и возможностям запроса рынка или просто по идеям научного интереса, такого высокого любопытства, которое свойственно ученому, то наша постановка вопроса очень уместна, и сегодня наша задача – каждую технологию посмотреть в разных практиках на общем социотехнологическом ландшафте через призму антропологических изменений. Они могут быть очень полезны. Тренажеры очень многие работают именно с этим выходом, но это далеко не так для подавляющего большинства технологий, игр, развлечений и т.д.

В конечном счете дело не только в инструментарии, а в некоторой постановке задачи, т. е. цифра, которая пронизывает сегодня все четыре расширяющиеся умвелта, ставит перед нами вызов: понятно, что человек будет меняться, но что бы мы хотели сохранить? Или нам все равно? Вот эта система набора новых когнитивных карт и зачистка старых, оказывается, идет фантастическими темпами, как никто даже не предполагал. Считалось, что это все уровень детства, а оказывается, что это возможно и у взрослых людей в достаточно интенсивной форме, в жизни в информационных потоках.

Список литературы

1. Artemenko M. V., Budanov V. G., Korenevskiy N. A. Classification of sociotechnical landscapes on the basis of analogies of cortege codes of indicators // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1352, no. 1. P. 012002.
2. Глущенко В. В. Системная сущность и разработка стратегии развития шестого технологического уклада в постиндустриальном мире // *Современные научные исследования и инновации*. 2021. № 2. С. 16–16.
3. Асеева И. А. Готовы ли россияне к новой антропотехнореальности? // *Вестник Института социологии*. 2020. № 2. С. 141–156.
4. Аршинов В. И., Буданов В. Г. Сетевая цивилизация и природа Большого антропологического перехода // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент*. 2021. Т. 11, № 1. С. 220–231.
5. Артеменко М. В., Маякова А. В. Управление социальными проблемами экспансии современной цифровой реальности: философско-методологический и технический аспекты // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент*. 2019. Т. 9, № 4. С. 216–224.

V. G. Budanov¹ ✉

¹ Southwest State University, Kursk, Russia

✉ e-mail: budsyn@yandex.ru

TO THE QUESTION OF THE HETEROGENEITY OF THE SOCIOTECHNICAL LANDSCAPE OF ANTHROPOTECHNOSPHERE

The article shows the dynamics of changes in the anthropo-socio-technical landscape of modern civilization under the influence of digital technologies, a method is proposed for studying and measuring various taxa of the landscape - social practices of different scales.

Keywords: philosophy of science and technology; anthropotechnosphere; socio-technical landscape.

Funding: The research was carried out with the support of the Russian Science Foundation grant No. 19-18-00504 "Socio-technical landscapes of digital reality: ontological matrices, ethical and axiological regulations, road maps and information support for management decisions."

УДК 167.7

A. B. Маякова¹ ✉

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

✉ e-mail: BerryAnnett@yandex.ru

СОЦИОКУЛЬТУРНЫЙ ПРОЦЕСС В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОГО ПЕРЕВОРОТА

В статье анализируется цифровая трансформация социокультурного процесса, аргументируется факт свершения цифрового переворота, активизированного пандемией коронавируса. Автор утверждает, что обращение к духовности и гуманоцентрическим технологиям может стать эффективным инструментом по минимизации последствий цифрового переворота.

Ключевые слова: духовность; цифровой переворот; социокультурный процесс; цифровизация; гуманоцентрические технологии.

Финансирование: Публикация подготовлена при поддержке Гранта РФФИ, проект № 19-18-00504 «Социотехнические ландшафты цифровой реальности: онтологические матрицы, этико-аксиологические регулятивы, дорожные карты и информационная поддержка управленческих решений».

Глобализационные процессы в современном мире, обусловленные воздействием СМИ и виртуального интернет-пространства, коснулись современного российского общества. Социальные изменения под влиянием цифровизации в российском обществе детерминированы состоянием неопреде-

лённости, виртуализации образовательной системы и социума. Деятельность социальных институтов, задающих векторы развития на ближайшие десятилетия, трансформируется под воздействием глобализационных процессов цифровизации. Образовательная система, координирующая условия развития духовно-нравственных ценностей современного общества и являющаяся определяющей в современной социокультурной ситуации, подвергается трансформации под влиянием цифровизации социальной реальности [1].

Современное виртуальное пространство предлагает множество моделей поведения и деятельности (положительных и отрицательных), но создать условия для реализации поведения субъектов взаимодействия не может. Ценности всегда будут находиться в когнитивно-эмоциональной сфере, а поведенческая сфера деятельности всегда будет закрыта в виртуальном интернет-пространстве. Занимаясь благотворительностью через интернет, личность не в состоянии почувствовать соприкосновение, соучастие во взаимодействии. Социальная реальность взаимодействия субъектов выстраивается на ценностно-диалогической основе, когда субъект деятельности и поведения является активным участником жизнедеятельности [1]. В целом мы наблюдаем сейчас не только виртуализацию личности, но и глобального социокультурного процесса в целом. Для более глубокого понимания проблемы обратимся к определению социокультурного процесса.

Данное понятие имеет широкий спектр определений: от поведения социума в определенных культурных условиях до конфликта культурных интересов, традиций и образцов. Подробное определение социокультурному процессу дала А. И. Кускарова в работе «Социокультурный процесс: состояние, особенности, факторы взаимодействия», по мнению которой: «Социокультурные процессы – это изменение во времени состояния культурных систем и объектов, а также типовые модели взаимодействия между людьми и их социальными группами» [2]. Данное определение детализирует понятие социокультурного процесса как относительно человека и общества, так и релевантно изменению социокультурных идеологем.

Наряду с понятием социокультурного процесса в гуманитарных науках широко применяется социокультурный подход (теория) Л. С. Выготского [3]. Социокультурный подход рассматривает то, как опыт, влияние и культура человека помогают формировать его поведение. Теория была разработана Л. С. Выготским еще в 1930-е гг. Выготский утверждает, что есть три культурных инструмента, которые дети используют для информирования своих познавательных способностей. Способность человека запоминать информацию является результатом нашего понимания сложного языка. Модель бифолда учитывает, как социальные и культурные влияния, так и биологические факторы. Социокультурный подход дает исследователям и психологам более информированное представление и понимание мотивов, побуждающих человека вести себя определенным образом. Вместо того чтобы полагаться

только на биологические факторы, этот подход обещает нарисовать более яркую картину человеческого разума через более широкое понимание того, как мы приобретаем когнитивные способности в раннем возрасте. За годы, прошедшие с тех пор, как английские переводы популяризировали предложенную Л. С. Выготским зону ближайшего развития, многие психологи расширили его теорию. В условиях цифрового переворота революционные изменения претерпевают все три культурных инструмента.

Возвращаясь к изучению социокультурного процесса, отметим, что его реализация возможна только в привязке к психологическим, этическим и аксиологическим особенностям человека и социума определенной культурной среды. Одним из ключевых аспектов возможного выхода из цифрового кризиса, который неминуемо наступит в ближайшем будущем, является духовность, поскольку она является определяющим условием жизни человека и человечества, основой построения социальных связей и социальных отношений. Духовность есть глубинное выражение человеческой сущности и основное соединение людей друг с другом. Современный процесс формирования человечества как единого целого происходит на духовной основе. Духовность есть действительная основа саморазвития человечества. Проявляя свои творческие созидательные силы, преобразуя природные и социальные условия своего бытия, человечество тем самым стремится полнее и всесторонне выразить качество своей жизни. Это есть прямая отсылка к понятию социокультурного процесса и социокультурной теории Л. С. Выготского [3].

Схожую концепцию (применительно к европейским государствам) представила команда политиков, исследователей, общественных деятелей под руководством заместителя директора Института исследований безопасности Европейского союза (EUISS) Florence Gaub. В рамках доклада «Global Trends to 2030: Challenges and Choices for Europe report» она выдвинула тезис: сильная Европа – лучший мир. Florence Gaub представила свое видение духовности, на которой должен строиться новый социальный мир Европы. По мнению докладчика, Европа нужна не только Европе, но и всему миру – как источник вдохновения для лучшего будущего; надежный баланс между экономическими, социальными и экологическими целями; маяк демократии, разнообразия и свободы; истинный поборник многосторонних решений и совместных подходов в мире, где все больше доминируют национализм и политика нулевой суммы. Европа по-прежнему является нормативной сверхдержавой, местом, которое устанавливает глобальный золотой стандарт, когда речь идет о гуманоцентрических технологиях и цифровых правах, регулировании и благосостоянии потребителей, социальной защите и инклюзивных обществах [4]. Данный подход достаточно «эгоистичен», однако в общем контексте обращает внимание именно на аксиологическую сторону цифрового переворота.

Нельзя обойти стороной влияние пандемии коронавируса на глобальный социокультурный процесс. Влияние пандемии на социокультурные и

бизнес-процессы оказалось огромным. «COVID-19 обнажает социально-экономическое неравенство и уже в ближайшем будущем может его усилить», – пишет экономист Энрико Бергамини, научный сотрудник европейского исследовательского центра Bruegel [5]. В зависимости от уровня дохода, условий жизни, профессии люди будут по-разному ощущать на себе экономический шок, сопровождающий пандемию, что может усилить поляризацию в обществе. Правительства по всему миру с марта 2020 г. предпринимают меры для сдерживания экономических и социальных последствий пандемии. Однако пандемия вывела на новый уровень цифровые сервисы и технологии. Теперь перед обществом не стоит выбор, использование благ цифровизации является необходимым, обязательным во всех сферах социокультурного процесса: образование, наука, культура, здравоохранение, политика и т.д. То, что раньше казалось «виртуальным рабством», теперь является нормой жизни. И самое шокирующее, что человек привыкает к этой норме, он постепенно принимает ее как само собой разумеющееся действие, часть жизни, атрибут существования. Все, от мала до велика, поглощены в процесс цифровизации. Цифровой переворот состоялся! Теперь нужно думать, как и чем минимизировать все новые и новые вызовы, связанные с развитием киберфизических и киберсоциальных систем. И вновь, как учит нас исторический процесс, спираль истории повернула в сторону воскрешения духовных принципов, постулатов, аксиом. Общество должно остановиться и подумать, как не убить в человеке Личность.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что духовность, гуманоцентрические технологии являются определяющей основой управления новыми вызовами, связанными с развитием киберфизических и киберсоциальных систем, выражают внутреннюю целостность субъективности процесса, вносят смыслы и ценности в жизнедеятельность. Духовность существенно расширяет и укрепляет системные взаимосвязи социокультурного процесса в целом, а значит, может стать эффективным инструментом по минимизации последствий цифрового переворота.

Список литературы

1. Молчан Э. М. Влияние цифровизации на формирование духовно-нравственных ценностей субъектов взаимодействия в эпоху глобализации // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Философские науки. 2019. № 2. С. 55–66.
2. Кускарова О. И. Социокультурный процесс: состояние, особенности, факторы взаимодействия // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 1: Регионоведение: философия, история, социология, юриспруденция, политология, культурология. 2011. № 3. С. 175–180.
3. Выготский Л. С. Собрание сочинений: в 6 т. / под ред. А. В. Запорожец. М.: Педагогика, 1983. 504 с.

4. Gaub F. Global Trends to 2030: Challenges and Choices for Europe report. 2019. URL: <https://ec.europa.eu/assets/epsc/pages/espas/index.html> (дата обращения: 16.04.2021).

5. Bergamini E. How COVID-19 is laying bare inequality. Bruegel Datasets. 2020. URL: <https://www.bruegel.org/2020/03/how-covid-19-is-laying-bare-inequality/> (дата обращения: 16.04.2021).

A. V. Mayakova¹ ✉

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

✉ e-mail: BerryAnnett@yandex.ru

SOCIOCULTURAL PROCESS IN THE CONTEXT OF DIGITAL REVOLUTION

The article analyzes the digital transformation of the socio-cultural process, argues for the fact of the digital revolution, activated by the coronavirus pandemic. The author claims that the appeal to spirituality and humanocentric technologies can become an effective tool for minimizing the consequences of the digital revolution.

Keywords: spirituality; digital revolution; sociocultural process; digitalization; human-centered technologies.

Funding: The publication was prepared with the support of the RPF Grant, project No. 19-18-00504 "Sociotechnical landscapes of digital reality: ontological matrices, ethical and axiological regulations, roadmaps and information support for management decisions".

УДК 316.422.42

Е. Г. Каменский¹, **О. А. Гримов**¹ ✉

¹ *ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия*

✉ e-mail: grimoleg@yandex.ru

СОЦИАЛЬНАЯ ОНТОЛОГИЯ «ЦИФРОВОЙ РЕАЛЬНОСТИ»: К ПРОБЛЕМЕ МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе рассматриваются наиболее существенные интуиции социальной онтологии цифровой реальности, а также теоретико-методологические проблемы и контуры её эмпирического исследования.

Ключевые слова: цифровизация; онтология; социотехнический ландшафт; философия и социология техники; новые технологии; информационные технологии; методология.

Финансирование: Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект №19-18-00504).

Говоря о цифровой реальности как о глобальном метаконтексте человеческого бытия, необходимо обозначить наиболее важные параметры её социальной онтологии.

Во-первых, принципиально уже то, что мы оперируем понятием «цифровая реальность», полагая её не просто актуализированной, но и «реальной» онтологически, противопоставленной «виртуальному». Таким образом, сама дискурсивная практика и устойчиво воспроизводимые научный, публицистический, повседневно-практический и иные нарративы маркируют и закрепляют цифровые технологии как уже реальные (независимо от их материального воплощения и физической локации), обладающие социальной фактичностью и определённым императивно-принудительным воздействием на индивида.

Во-вторых, цифровая реальность является принципиально сложным техническим и социальным явлением (как по широте охвата технологий, так и по разнообразию их социальных инвариантов), что формирует и определяет её полионтологичность, требуя полипарадигмального подхода и разнообразных оптик анализа [1].

Научная рефлексия цифровой реальности как социального явления находится (как и сам её объект) в процессе своего развития и перманентного изменения. Вместе с тем цифровая реальность как эмпирический социальный объект может быть операционализирована через ряд социальных параметров или наиболее значимых аспектов своего влияния. К таковым можно отнести следующие:

1) социальность. Понимаемая в целом как совокупность формируемых и реализуемых паттернов социальной субъектности в контексте общего развития ткани социальных отношений, социальность является, вероятно, ключевым из этих параметров. Цифровая реальность формирует новые возможности коллективной субъектности (например, в режиме WEB 3.0), трансформирует старые, приводя, вместе с тем, к атомизации социальных акторов. Наиболее сложным и перспективным вопросом для научного анализа является расширение границ концепта «социальное» и «социальность», в котором уже с необходимостью находится место не только человеческим, но и нечеловеческим акторам;

2) идентичность. Цифровая реальность в контексте наиболее продвинутых средств социально-сетевой коммуникации всё больше трансформирует человеческую идентичность, виртуализирует её; данный аспект характерен, например, для игр, основанных на технологиях виртуальной, дополненной и смешанной реальности. Однако в отдельных аспектах цифровые технологии, напротив, способствуют утверждению индивидуальной аутентичности. Данный факт иллюстрируется технологиями виртуального распознавания, слежки и т. д. В результате офлайн- и онлайн-миры становятся абсолютно прозрачными;

3) рациональность или прагматичность. В данном случае подразумеваются прагматический аспект цифровой реальности и ценностно-целевые параметры субъекта применения цифровых технологий. Целевая ориентация субъекта напрямую может определять саму эффективность и корректность применения цифровых технологий. Диапазон рациональности цифровой реальности может простирается от игровых практик до научной коммуникации;

4) соотношение в субъекте (или сети) человеческих и не-человеческих акторов, т. е. своего рода степень телесной воплощённости. Данный параметр определяет интенцию практического действия, степень субъектной активности, а также соотношение человеческого, биологического и машинно-программного целеполагания. Сложные конфигурации акторов цифровой реальности порождают разнообразные формы гибридной социотехнической телесности [2].

В продолжение высказанного мы хотели бы поставить некоторые вопросы и обозначить проблемы, позволяющие говорить о связанности философских и социологических дисциплинарных дискурсов в постнеклассической парадигме понимания цифровой реальности.

Во-первых, принимая аксиоматично такую реальность именно как социальный объект, наблюдаются сложности определения ее онтологии. Имеется в виду следующее: есть или будет ли эта реальность исключительно, или хотя бы в какой-то мере «социальной»? Каков ее статус по критерию объективности, если она есть «социальный объект»?

В границах социологического дискурса в дюркгеймовской традиции физические «объекты», обладая «объективностью», если даже это архитектурные постройки, т. е. часть культурного ландшафта, тем не менее не имеют характера социальных фактов. В таком ключе и цифровая реальность может не иметь подобного статуса, являясь или оставаясь, например, реальностью технической, или даже киберфизической.

Подобные вопросы обостряют проблемы формирования не столько метаязыков описания цифровой реальности в дисциплинарных дискурсах, сколько все еще не созданной парадигмальной постнеклассической методологии изучения таких «гибридных» феноменов. Даже вопрос критерия описания онтологии «киберсоциальности» не имеет четких контуров, хотя активно развивающиеся сетевые теории выработали весьма действенные методологические инструменты, к числу которых можно отнести социальную топологию и другие эпистемологические модели в русле разработок Ло и Латура [3; 4].

Однако смещение вектора научного интереса к проблемам понимания и описания трансформации морфологии социальных сред в контексте цифровизации не снимают онтологических вопросов статуса так называемой «цифровой реальности» в ее верифицируемых социокультурных репрезентациях. Наиболее «осязаемым» с этой точки зрения объектом является «дополненная

реальность». Однако цифровые технологии в киберфизическом смысле, несмотря на конъюнктурность и популизм самой темы, остаются и, судя по всему, еще долго останутся лишь инструментальной ценностью технологического капитализма. Оперирова цифровыми технологиями, субъект-пользователь интегрируется в экономический оборот процессов капитализации информации и свободного времени «юзера». О подобных проблемах, в том числе в свете марксистской парадигмы, в своих последних интервью много говорит Юк Хуэй [5].

В таком истинно «марксистском» понимании цифровизация представляет собой процесс становления и развития новых рынков, не более. В результате к цифровой экономике либо адаптируются, либо нет основные социально-демографические группы населения, что в результате может и не изменить экономической стратификации. Новая волна надежд постмодернизма, нередко апеллирующая к системно-сложностному подходу, может в равной степени с надеждами предыдущими не оправдаться. Поэтому формы, а может быть и сама доктрина образования, просвещения, науки [6; 7], политики и бизнеса должна быть обеспечена не просто синтетической, а конвергентной трансдисциплинарной парадигмой, преодолевающей, в частности, «высокую теорию» и «абстрактный эмпиризм» (по Миллсу) [8] теоретико-философского и прикладного социологического знания.

Список литературы

1. Асеева И. А., Маякова А. В. Философские основания и методологические ресурсы новой парадигмы сложности // *Философия и культура*. 2015. № 8. С. 1117–1125.
2. Гримов О. А. Цифровая реальность: социальная онтология и методология эмпирического изучения // *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2019. № 3. С. 42–50.
3. Латур Б. Пересборка социального: введение в акторно-сетевую теорию. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2014. 384 с.
4. Ло Дж. После метода: беспорядок и социальная наука / пер. с англ. С. Гавриленко, А. Писарева и П. Хановой; науч. ред. перевода С. Гавриленко. М.: Изд-во Института Гайдара, 2015. 352 с.
5. Hui Y. On the Existence of Digital Objects. 2016. URL: <https://www.upress.umn.edu/book-division/books/on-the-existence-of-digital-objects> (дата обращения: 29.04.2021).
6. Кравчук П. Ф., Каменский Е. Г., Боев Е. И. Интеграционные характеристики инновационного потенциала личности // *Известия Курского государственного университета*. 2010. № 2 (31). С. 116–121.
7. Кравчук П. Ф., Боев Е. И., Каменский Е. Г. Формирование инновационного потенциала личности в научно-образовательной среде / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2012. 175 с.

8. Миллс Ч. Р. Социологическое воображение. М.: Изд. дом NOTA BENE, 2001. 264 с.

E. G. Kamensky¹, O. A. Grimov¹ ✉

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

✉ e-mail: grimoleg@yandex.ru

SOCIAL ONTOLOGY OF "DIGITAL REALITY": TO THE PROBLEM OF RESEARCH METHODOLOGY

The work examines the most essential intuitions of the social ontology of digital reality, as well as theoretical and methodological problems and the contours of its empirical research.

Keywords: digitalization; ontology; socio-technical landscape; philosophy and sociology of technology; new technologies; information technologies; methodology.

Funding: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 19-18-00504).

УДК 04.891+681.18.25+11

М. В. Артеменко¹ ✉

¹ *ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия*

✉ e-mail: artem1962@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИМИ ЛАНДШАФТАМИ И КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Рассматриваются базовые проблемы разработки и эксплуатации систем поддержки принятия решений (экспертных систем) управления процессами «спроса-предложения» в ячейках социотехнического ландшафта (образованных определенными кластерами «социальная практика – цифровая технология»). Тезисно предлагаются пути разрешения проблем. Подчеркивается семиотический базис построения экспертных систем с подобными целевыми функциями. Отмечаются различия между неопределенностью обрабатываемой информации и неопределенностью в квантовой механике (базовые постулаты Шредингера). Это позволяет сделать вывод о недостаточной корректности их конвергенции в силу разномодальности, несмотря на некоторую схожесть семантических конструкций.

Ключевые слова: социотехнические ландшафты; наблюдаемость и управляемость; система поддержки принятия решений; философия квантовой механики.

Финансирование: Работа выполнена в тематике гранта РНФ №19-18-00504.

В основе проектирования экспертных систем (ЭС) лежат определенным образом формализованные технологии различных концепций анализа развития ситуаций в эволюционировании (или бифуркационных переходах) социотехнических ландшафтов и формирование кортежей рекомендаций по применению корректирующих и/или управляющих воздействий на таковые для реализации определенных целей (в том числе внешнего наблюдателя) оптимизации развития некоторого процесса, характеризующего взаимодействие социальной практики и цифровой технологии [1].

Классически построенные ЭС используют для этого специализированные в различных предметных областях структурированные и формализованные базы знаний (для реализации функционирования в автоматическом или автоматизированном режимах) [2].

Проблемы синтеза ЭС для управления СТЛ сводятся в конечном итоге к проблеме «следования правилу», сформулированной Л. Витгенштейном в конце прошлого века [3]. В общем случае она сводится к ограничениям и затруднениям выявления показателей эволюционирования СТЛ и критериев правильности (адекватности и своевременности) применения языковых выражений (семантические и синтаксические конструкции и символы) в различных социальных практиках (в цифровых технологиях в силу их быстрого развития «акценты описания» не успели еще существенно «расщепиться» и дифференцироваться).

Например, В. А. Суровцев в своих работах неоднократно подчеркивает, что «социальные практики имеют очень разный характер и вряд ли возможен единый подход с точки зрения единых методологий единой социальной теории» [4]. Его оппоненты (например, А. Ю. Моисеева [5] и А. Е. Зайцева [6]) предлагают рассматривать, по сути, тезаурусы различных социальных практик через перфомативность (внутреннюю креативность языка описания).

Здесь просматривается аналогия с проблемами создания конкурирующего с человеком искусственного интеллекта, возникающих в результате разрешения противоречий теоремы Геделя о неполноте [7].

К проблемам создания ЭС для управления СТЛ относятся и часто слабая структурированность информации на этапе обучения ЭС (с развитием цифрового управления «всего и всем» структурированность возрастает и энтропия снижается), ее нечеткость, большая доля неопределенности и небольшие объемы обучающих выборок (примеров). Это ставит под сомнение применение искусственных нейронных сетей (в отличие от искусственных иммунных сетей или нечетких сетей или гибридных сетей и правил вывода). Применение математического аппарата, предложенного К. Заде при создании ЭС в медицине, показало хорошие результаты при решении диагностических задач, но не получило распространение в других социальных практиках [8]. Применение «Алгебры совести» В. Лефевра позволило создать интерактивные ЭС в экономико-социальных сферах (применялись рефлексивные авто-

маты и управление для разрешения конфликтных ситуаций в социуме) [9]. Однако распространение в виде реально действующих ЭС эти идеи не получили.

Управление СТЛ – это управление по двум «координатам»:

- по практикам; это какие технологии надо развивать и применять в зависимости от целевых показателей и меры неопределенности в описаниях. Целевые функции определяются практиками, т. е. Социумом, Человеком, что в конечном итоге и должно происходить.

- по технологиям; на какие практики ориентироваться, как их формализовать, целевые функции задаются технологиями, искусственным разумом. В этом случае возникают мощные обратные отрицательные связи (рефлексии), что приводит к стабилизации или, точнее, стагнации развития (попадаем в бифуркационное облако и не выходим из него, что описывается во многих утопических романах, например, у Вознесенской).

Таким образом, разрешение проблем создания и продуктивной эксплуатации ЭС для анализа и управления СТЛ видится в следующих аспектах:

- 1) гуманитарно-технической конвергенции глоссариев, тезаурусов, семантико-синтаксической платформы;

- 2) отказ от «глобального универсализма» при проектировании ЭС, реализующих частные задачи (СМАРТ экспертные системы), с последующим их объединением в единый конгломерат. Для этого создается интерфейсплатформа их объединения (например, в предложенной нами семантической модели ЭС). Здесь, безусловно, будет продуктивным применение философских концепций, социальных сущностей и мемов, Big Data и искусственного интеллекта, социальные интернет-сети;

- 3) разработка аппарата «Алгебры совести» Л. Лефевра;

- 4) в обязательном обеспечении гуманитарной направленности ЭС на каждом этапе проектирования и эксплуатации (два известных принципа – «не навреди» и «робот не может навредить человеку»).

В последнее время в философии развивается теория квантового байесинизма [10]. Копенгагенская (стандартная) интерпретация квантовой механики по И. С. Алексееву [11] применительно к ЭС в социальных сферах позволяет выделить следующие аспекты:

1. Поскольку результаты работы ЭС сообщаются ЛПР с помощью ограниченного тезауруса естественного языка, то возникают проблемы социального общения, внешних и внутренних коммуникаций биокибернетического характера, реализуемых с помощью различных сигнальных систем [12].

2. Признается постулат неделимой онтологической целостности процесса наблюдения: квантуется время при мониторинговании, квантуется пространство – используются приборы с дискретными отсчетами измеримых величин. Заметим, что поведение наблюдаемого и управляемого объекта и реакции системы управления в промежутках (ячейках) временно-

пространственной решетки можно только прогнозировать, а не наблюдать и анализировать. Это означает, что в случае возникновения бифуркационного облака хотя бы в одной такой «ячейке неопределенности» функционирование ЭС может быть не только неадекватным, но и катастрофическим».

3. Процессы наблюдения за анализируемой системой (объектом) гносеологически делятся на объект наблюдения, приборы наблюдения и внешний (активный или пассивный) наблюдатель.

4. Базы знаний в ЭС с помощью решающих правил и/или семантических сетей описывают «свои решения» с помощью тезауруса ЛПР, трансформированного создателями ЭС, с соответствующим и смысловыми искажениями и субъективизмом.

5. Взаимодействие ЛПР с ЭС определяется целевой функцией ЛПР, а не создателями ЭС, поэтому «стоящий у зеркала видит только себя».

Таким образом, возникает некоторая неопределенность в управлении СТЛ, казалось бы, схожая с неопределенностью Шредингера в квантовой механике [13]. Фундаментальные отличия, на наш взгляд, в данном случае:

- в механике, кванты – это частицы, в рассматриваемом случае – это дискретности времени и пространства, т. е. не материальные объекты, а характеристики их описания;

- в механике неопределенность не связана с целевыми функциями наблюдателя, т. е. может быть описана определенным языком, в нашем случае – неопределенность вызывается двумя основными факторами;

- возможностью возникновения ситуаций «черного лебедя» во временно-пространственных ячейках, в которых не применяется никакой аппарат описания (за исключением экстраполяционного нечеткого, если были синтезированы аппроксиманты);

- невозможностью полностью синхронизировать гносеологическую семантику тезаурусов проектировщиков ЭС (наблюдателей обучения на «прошлых знаниях») и ЛПР (наблюдателя созидания на «новых знаниях» и «прогнозируемого будущего»).

С точки зрения байесинизма «наблюдатель» является определяющим. Между тем при применении ЭС он является «головой», а «шеей» являются создатели ЭС со своими мировоззрениями, миропониманиями, этикой, психологией и соматикой.

Таким образом, пилотное рассмотрение различий между неопределенностью обрабатываемой информации в ЭС социально-технологической направленности и «однокоренными» семантическими образами квантовой механики (базовые постулаты Шредингера) позволяет предположить о некорректности конвергенции семантико-философских конструкций в силу разномодальности последних, несмотря на «терминологическую схожесть» последних.

Список литературы

1. Потапова А. В., Тибилова Г. С., Овчаренко А. В. Применение экспертных систем в проектировании преактивных государственных услуг // Коммуникативные стратегии информационного общества: труды XI Международной медико-теоретической конференции. СПб.: С.-Петербург. политехн. ун-т Петра Великого, 2019. С. 143–152.
2. Клименков Г. В., Кукур Б. Л. Экспертные системы и системы ситуационного управления на базе логико-лингвистических моделей // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. 2017. №1 (19). С. 7–19
3. Сокулер З. А. Проблема «следования правилу» в творчестве Л. Витгенштейна и её интерпретации // Современная аналитическая философия / ИНИОН РАН. М., 1988. Вып. 1. С. 127–155.
4. Суровцев В. А. Следование правилу и социальная теория // Epistemology & Philosophy of Science. 2020. № 3. С. 50–55.
5. Моисеева А. Ю. Квалиа-физикализм Дж. Перри как ответ на аргумент знания // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. 2017. № 40. С. 67–80.
6. Зайцева А. Е. Философские основы учебного диалога // Философия и наука : материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых (г. Екатеринбург, 22 апреля 2014 г.) / Урал. гос. пед. ун-т ; под ред. Л. А. Беляевой. Екатеринбург, 2014. С. 61–65.
7. Антипенко Л. Г. О философско-мировоззренческом значении гёделевых теорем неполноты // Философская школа. 2020. № 11. С. 49–55.
8. Гибридные нечеткие модели оценки функционального состояния и состояния здоровья человека-оператора информационно-насыщенных систем / Н. А. Корневский, С. Н. Родионова, И. И. Хрипина, М. А. Мясоедова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т. 18, № 2. С. 105–116.
9. Ройзензон Г. В. Проблемы формализации понятия этики в искусственном интеллекте // Шестнадцатая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2018. М.: ИТАР-Тасс, 2018. С. 245–252.
10. Pechenkin A. A. QBism: An Analytical Review // Epistemology & Philosophy of Science. 2020. Vol. 57, no. 4. P. 199–216.
11. Социотехнический ландшафт цифровой реальности: этико-аксиологические регулятивы, адаптационные механизмы, социотехнические модели управления процессами цифровизации: монография / В. И. Аршинов, М. В. Артеменко, И. А. Асеева, В. Г. Буданов, О. А. Гримов, Е. Г. Каменский, Н. А. Корневский, Т. Н. Конаныхина, А. В. Маякова, С. Н. Родионова,

В. В. Чеклецов / отв. ред. В. Г. Буданов, И. А. Асеева. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2020. 302 с.

12. Черниговская Т. Чеширская улыбка кота Шрёдингера: мозг, язык и сознание. Litres, 2021. 660 с.

M. V. Artemenko¹ ✉

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

✉ e-mail: artem1962@mail.ru

EXPERT SYSTEMS SOCIOTECHNICAL LANDSCAPES MANAGING AND QUANTUM MECHANICS

The basic problems of the development and operation of decision support systems (expert systems) for managing the processes of "supply and demand" in the cells of the socio-technical landscape (formed by certain clusters "social practice - digital technology") are considered. Ways of solving problems are proposed in theses. The semiotic basis for constructing expert systems with similar target functions is emphasized. Differences are noted between terms "the uncertainty" of the processed information and "the uncertainty" in quantum mechanics (Schrödinger's basic postulates). This allows us to conclude that their convergence is not sufficiently correct due to their different modality, despite some similarity of semantic constructions.

Keywords: socio-technical landscapes; observability and controllability; decision support systems; philosophy of quantum mechanics.

Funding: The work was carried out in the subject of the grant of the Russian Science Foundation No. 19-18-00504

УДК 37.06+316.4

V. I. Fedyanin¹, G. A. Kvachnina¹, M. V. Artemenko² ✉

¹ *Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia*

² *Southwest State University, Kursk, Russia*

✉ e-mail: artem1962@mail.ru

LOCKDOWN-INITIATED EXPANSION OF DIGITAL TECHNOLOGIES INTO EDUCATION

The article is devoted to the consideration of the expansion of digital technologies education at lockdown caused by the COVID 19 pandemic in 2020-21. It is shown that when the phase of the bifurcation process of the development of the information society caused by the lockdown arises, the process of expansion of digital technologies into humanitarian social practices is sharply accelerated. In education, this stage is manifested in an exponential increase in

the interest of participants in the pedagogical process in various information portals. After 3-4 months, according to Gartner's curves, the number of those actually involved in education decreases and adapts qualitatively. To ensure the functioning of the educational system, there is a need for the prompt introduction of fundamentally new pedagogical technologies at all stages of continuing education in order to offset the consequences of reducing personal communication in the augmented reality team between subjects of the learning process and increasing the role of digital communications. The article considers the positive and negative aspects of digitalization of education, motivating the development of clip and project thinking of students. There is a need to change distance learning technologies by increasing the share of verbal mastery of certain disciplines and creating "virtual" classes with relaxation elements and organizing collective communication in a digital environment (network). Analyzing the dynamics of the demand for education for certain digital technologies, the conclusion is made about the targeted synergistic process of cyberphysization of distance learning.

Keywords: education; expansion of digital technologies; lockdown; learning portals.

The modern development of society is characterized by the bifurcation process of the "era of change" [1-5]. The problem of the risks of developing destructive states and desynchronizing the co-functioning of the components of society is becoming a phenomenon, and not the fantasies of utopians and futurologists. The expansion of digital technologies chosen by Humanity as a way of modern development in the form of an information society [6] (the emergence and evolution of the sixth technological order [7], Industry 4.0 [8]) certainly increases reactivity and adaptability in *umwelt*, but does not solve the arising contradictions between the natural, biognoseo logical goals of society and the "chimeras" generated by it - cyberphysical entities [9] and artificial" [10].

The evolution of the Society is aimed at self-sustaining vitality and livelihood under any changes in *umwelt* and *umbeng*, which are often unpredictable (for example, the phenomenon of the "Black Swan" [11]). To do this, it is necessary to have instruments and tools, methods and technologies for measuring and controlling reactions to changes, be able to use (own) them and adapt to various situations in a timely manner. This is what determines the system of basic and continuing education. Note that a certain conservatism of education [12] allows society to "stop and look around," thereby choosing the most acceptable trajectory of its development when leaving the "bifurcation cloud." The general suspension of "everything and everything," most social practices (including education) in countries developing in post-industrial conditions, necessary for the reassessment of value guidelines, is achieved by *lokdaun* [13], the degree of rigidity (softness) of the forms of which is determined by the specific characteristics of the state [14].

Since the lockdown is a suspension of internal processes in society, regulated by autonomous systems of management and natural and artificial intelligence [15], for its simultaneous "launch" in various countries and areas of the world economy, a common reason is needed, which is the pandemic of the new coronavirus infection COVID 19 [16].

the economy and industry, lockdown is carried out by the "suspension" of most non-system-forming systems and industries. In humanitarian social practices (education, medicine, culture, etc.) this is impossible, since they are also objects and subjects of social communications [17] that support existence of society in a certain skill on a certain sociotechnical landscape [18, 19].

In order to ensure the functioning of the educational system during the lockdown in the spring of 2020, there is a need to urgently search for and introduce new pedagogical technologies at almost all stages of continuing education in order to maximize the leveling of the for site consequences of a sharp decrease in direct communication between the subjects of the process and the need to increase the share of digital communications. Similar processes are observed in almost all countries where lockdown technologies are used [20].

The forced lockdown intensifies the trend of digitalization of education not only due to the advantages of the latter over the classical educational process in the field of increasing the volume of information provided (note, provided, not learned - because the latter is determined by the logical features of the trainee's body and compatibility with the interfaces of the digital world and biological entity) [21], but also due to the forced predominance of verbal assimilation of information over non-verbal. However, this problem is partially, as soon as possible, eliminated by introducing means and technologies of collective (initially - group) communication.

However, despite some theoretical studies in the field of virtual doubles of schools and participants in the educational process [22], there is little- since it is necessary to complete the end of the school year and release high school students "into life" for two to three months without significant social losses. Abroad, such experience is available [23], but it is difficult to copy in different countries due to differences in the mentalities of elements of society and the culture of social relations general. This caused individual transformations of the experience of K12 education [24] in various states.

Russia, the material base of school education time of the lockdown was prepared digitalization earlier (especially in city schools), in the process of implementing the strategic directions of the country's development, initiated by the Government and the President of the Russian Federation [25-27]. Obviously, equipping many schools with good computing equipment, virtual laboratories, communication tools and technology and relevant competencies (mainly methodological regional centers) makes it necessary to develop "virtual classes" with imitation of both verbal and non-verbal communication during lessons (including "chatter," "pampering," "walking in the classroom," etc., and not only "immovable communication in a video conference"). This, without replacing the development of the student's personality in society, will bring as much as possible closer to that during the forced "secluded education." In this regard, it is possible to use collective educational "subject-disciplinary" games, and not only develop the management skills

of "military equipment" in e-sports in programs such as Dota 2, Hearthstone, Counter-Strike: Global Offensive, World of Tanks, Tekken 7, Clash Royale and Valorant.

It should be noted that the younger the age of the student, the more relevant for him is the need to acquire knowledge in society "like himself." Parents know well how their "young children," within a few minutes identify "themselves like" in their environment and organize a social group [28-30].

Meanwhile, the implementation of the digital school project carries certain risks. Here are some theses of O. Chetveryakova's article [31] and the report "The Future of Education: A Global Agenda," prepared for strategic planning and decision-making in Russia and developing countries [32].

1. This is not about modernizing school education, but about the revolutionary transformation of the school, which is being implemented in the interests of large IT business.

2. In accordance with the plans of the for syth - the projects "Education 2030," "Education 2035," of which the tipping points are 2017-2022, it is planned to gradually "replace the role of the state and the professional community with the business opportunities of the new sector," and in the period 2022-2030. It is planned to "scrap/eliminate the traditional model of the educational system" [33]. The project notes that by 2015-2020. mass use of cognitive technologies to establish a direct connection between the nervous system and the computer will lead to separation ("psycho-breakdown") between users and non-users, the Second Psychedelic Revolution will begin [34], and "protocols for direct exchange of information between nervous networks through the Network" will appear (note that despite the technical capabilities realized - for example, in Vikium simulators [35], in Russian schools this component of the project has not yet been used).

3. If the "conservatives" of classical education lose, then within 15-20 years many off-system education the "remote" and "remote" will become systemic forms of citizen education in the state.

4. In the next 7-10 years, the state gradually leaves the educational sphere and retains two functions: retaining the "basic level" (in the logic of social security) and supporting a limited number of "smart students."

5. Competition with global providers will require total transparency of university education and transparency of results, which requires the "detachment" of final exams from universities on the principle of external audit, the introduction of electronic diplomas with the fixation of all works and exams in electronic form, and in the future - the creation of competency profiles that will replace work books. "

6. Two systems are created: FLOW and GROWTH. The first implements educational trajectories "open groups" and involves simultaneous training in various schools, universities, technology parks, sports sections, etc. The GROWTH or "distributed education" system in the talent system involves taking into account all

the knowledge, skills and skills achieved from preschool age - a "digital portfolio" is formed. The five-point results assessment system is gradually replaced by a global one, which takes into account indicators that reflect not only knowledge acquisition, but also psychosomatic, social indicators (for example: attending classes (5), independent work (15), activity (25), individual progress (15), knowledge control (25), social activity (15)). The "digital dossier" is tied to a single "end-to-end identifier" from a citizen who is a descriptor to information in the Unified Identification and Authentication System (ESIA) and the Unified Biometric System (EBM).

7. Consistently, and with good intentions, a system of absolute transparency and total control over children is being created - ultimately, for their parents (and teachers) - this is possible to implement by 2024 [36].

9. Strengthening the game start in all spheres of life - through the next generation, the "game" and "team" will become the dominant forms of education. The danger here lies in the "departure" of a particular person from augmented to virtual reality, which will allow the environment through the Umwelt of digital reality to absorb human consciousness, and therefore, ultimately the disappearance of society and the emergence of many people living in the same territory, which is easily controlled. The main mistake of the "implementers" of such an idea is that the system-forming component of cyberphysical assembly disappears - a person, as a social fundamental unit. The goal of society will disappear (since it will not be), which means that the "implementers" will disappear the object and purpose of management. A similar scenario is thus not possible because it is contradictory. However, separate "wanderings in the maze" with temporary dead ends are theoretically possible.

The analytics of the realization educational requirements for breakthrough digital technologies suggests in which direction both structural changes of the network and the cyber-physical essence of its constituent elements will occur. For example, the study of the dynamics of education demand to the information portals supporting the process allows us to conclude that three months after the announcement of the lockdown and the transition to distance learning [37]:

- The demand for education for such resources as: Foxford.ru, NTsR-zU/uroccifry.rf, mosolor has increased significantly. TV, myskills.ru, mob-edu.ru (there was an increase in interest at the end of the school year); Uchi.ru and education.yandex.ru (during the summer holidays, interest decreased noticeably);

- reduced demand for portals uchebник.nos.ru, cdosh46.ru, frior.ru.

Analysis of redistribution of demands of social practices to information resources at the first stage in extreme conditions (lockdown) shows that transformation of network assembly of methodological and practical provision of demand of social practices to digital environment and tools has pronounced synergistic character of targeted random search. The dynamics of educational demand for various digital technologies over the past 20 years is shown in Figure.

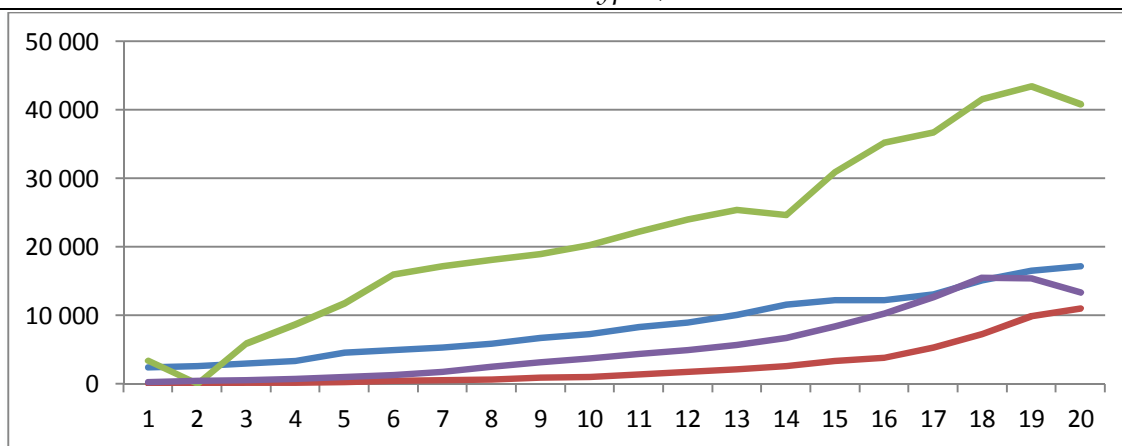


Fig. Dynamics of education demand for digital technologies (number of publications in open print). "Blue color" - education, "red color" - artificial intelligence; "Green" - education, mobile digital technologies; education, information technology; "Purple" - education, internet of things

At the first stage of the "distance," individual distance learning technologies were used. Then, synergistically, there is a focus on organizing the learning process on some, common to the country and region, digital group learning platforms. Meanwhile, at this stage there is no "former" communication between students in the lesson, cases of the virtual ("avatar") presence of the student (the use of impersonal photos, emoticons, "black screen," gif - animation) are increasing. The insufficient power of existing computing resources was unable to provide the speed and quality (including noise immunity) of acceptable communication in April 2020 [38]. Abroad of the Russian Federation, at this time, in the countries of the "distance," similar problems arose [39].

What contributes to the predominance of positive factors over negative risks? The synergy of school education has now found a way: to increase the share of teaching accurate and natural-scientific disciplines and the use of technologies of the "project method," which allows you to simultaneously develop clip and conceptual thinking, against the background of a natural for young age, a pronounced desire for self-approval of the student's personality. Perhaps the classic combination of the project method and clip thinking is the so-called "Hackathons" [40].

With a quick, almost instantaneous transition to remote contacts, the natural form partially goes to artificial, not sufficiently methodically prepared. The usual communications used in training are broken. Since the methodological basis of such an "era of change" is poorly prepared, the process of emergence of a new educational environment (a certain network) becomes synergistic. State structures for managing the educational process, conditions of poor methodological development, are trying to take control of the synergistic, "self-supporting" situation by issuing various orders and orders (incidentally, on the basis of preliminary study in methodological centers of various hierarchical levels, the internal content of which sometimes contradicts each other (for example, to evaluate knowledge according to

the usual system, but try not to make "unsatisfactory" assessments - in fact, the transition from a four-point system to a three-point one). This leads to the strengthening of all components of the quality of the educational process: who knows how to learn - he improves his knowledge through intensification and extensification of the use of computer technologies, access to many information resources; who does not have a target set for training - he begins to first lag behind in training, and then stops studying at all. At the same time, parents begin to blame teachers, negativity appears in backward relations, sometimes leading to their break.

"Initial launch" of the synergistic process of the emergence of a new digital educational technology is the methodological instructions of the federal authorities and regional education committees. For example, in the Kursk region at the end of March 2020, "Methodological recommendations.[41] are which it is recommended to use 38 educational portals. Thus, digital educational tools for organizing distance education are more than enough. However, in view of non-mass use, most of them do not function satisfactorily under high loads of calls to them. The almost instant transition of secondary education to distance learning was the initiator of a sharp increase in demand for digital technologies: the natural selection of high-quality digital tools [42]. Here you should add individual components of cyber physical schools, teachers and students - personal means of communication and computing with elements of artificial intelligence (supplementing the natural) - smartphones, iPhones, phones, etc. It is "personal," not "individual," - and - since together with their users form a kind of "cyber-physical personalities."

Forms of reporting (week, month, academic quarter, academic half-year, academic year, quarter) are used as "synchronization waves": for students - homework, for schools - weekly reports to higher organizations.

Conclusion, I would like to give five principles of education allocated by G. Gref [43]: the first personalization, based study of the digital trace of each student; the second - skill training and transition to project activities; the third - "soft skills," which consist of three social, cognitive emotional elements, the fourth - digital skills, the fifth - the ability to learn.

A number of publications, these theses are disputed (for example, the newspaper *Russky Vestnik*, 2021, N. 2, p. 5), but these main educational trends cannot be canceled. In fact, in the philosophical sense, we are talking about the evolution of man into a post-human, and then into a meta-human, which is a cyber-physical entity, and harmonizing various signal systems in communication networks, artificial and natural intelligence, social and techno sphere (sociotechnical landscape) and noosphere, virtual and augmented reality.

Reference

1. Malinetskiy G. G. Digital reality at the point of bifurcation and the strategic tasks of the Union State in the context of the humanitarian and technological

revolution // *Designing the future. Problems of digital reality* (Moscow, February 7-8, 2019). M.: IPM named after M. V. Keldysh, 2019. P. 12–28.

2. Razin A. V. Historical alternatives to modern society // *Philosophy and society*. 2020. No. 2 (95). P. 35–55.

3. Guo S. A Study on the bifurcation of continuing education for teachers in vocational colleges // *International Journal of New Developments in Education*. 2019. Vol. 1, no. 2. P. 28–31. <https://doi.org/10.25236/IJNDE.2019.010206>.

4. Socio-economic development in an era of global change. Collective monograph / S. G. Abramov, P. V. Alekseev, M. A. Allenyh [et al.]. Tver: Tver St. Univ., 2020. Vol. 2. 542 p.

5. Korenevsky N. A., Artemenko M. V., Rodionova S. N. Sociotechnical landscape: soft mapping by the basic coordinates of ontological matrices of social practices and digital technologies // *Complexity. Reason. Post-classics*. 2019. No. 3. P.62–76.

6. Martin W. J. *The global information society*. Taylor & Francis, 2017. 256 p.

7. Lazyrin M. S. Development of the sixth technological order // *Society: politics, economics, law*. 2017. No. 2. P. 48–50.

8. Muscio A., Ciffolilli A. What drives the capacity to integrate Industry 4.0 technologies? Evidence from European R&D projects // *Economics of Innovation and New Technology*. 2020. Vol. 29, no. 2. P. 169–183.

9. Hwaiyu Geng *internet of things and data analytics handbook*. Prod. John Wiley & Sons, 2017. P. 800.

10. Carolan M. Population: a problem of quantity or quality? // *Society and the Environment*. Routledge, 2020. P. 115–137.

11. Ponkin I. V. "Black swan" event as manifestation of uncertainties in public administration // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2019. Vol. 10, no. 2. P. 9–19.

12. A new definition of the concept of innovative education / E. E. Tarando, T. B. Malinina, Yu. V. Michalhtyko [et al.] // *Laplace em Revista*. 2021. Vol. 7, no. 1. P. 170–181.

13. Cousin N. V. Information security in pandemic conditions: methods for stabilizing the state of society in electronic media and the Internet // *Bulletin of Science and Practice*. 2020. No. 9. P. 356–394.

14. Lockdown in Cyprus: Soft or hard? URL: <https://evropakipr.com/istorii/lokdaun-na-kipre-myagkiy-ili-zhestkiy> (accessed 16.04.2021).

15. Zhdanov A. *Autonomous artificial intelligence*. Litres, 2020. 362 p.

16. Wagner P. Kovid, HIV/AIDS and "Spaniard": historical milestones and social transformations // *Philosophical and literary journal "Logos"*. 2021. No. 1 (140). P. 65–82.

17. Zhang L. Transformation of social and labor practices in organizations in the context of the COVID-19 pandemic: the first sociological assessments // *Mission of faiths*. 2020. Vol. 9, no. 5. P. 552–555.

18. Konanykhina T. N. Sociotechnical landscape as a platform for predictive monitoring and environment analysis of the digital environment // *International Journal of Applied and Basic Research*. 2020. No. 12. P. 55–64.

19. Sociotechnical landscape of digital reality: philosophical and methodological concept, ontological matrices, expert and empirical verification / V. I. Arshinov, M. V. Artemenko, I. A. Aseeva [et al.]. Kursk: CJSC "University Book", 2019. 232 p.

20. Pichugin S. S. Educational lockdown: the first results and lessons of organizing and implementing distance learning in primary school // *Digital transformation of modern education: materials of the All-Russian Scientific and Methodological Conference with international participation*. Cheboksary: ID "Sreda", 2020. P. 204–207.

21. Restaurinov K. A., Orlova E. G. Models of digital learning // *ANI: pedagogy and psychology*. 2020. No. 3 (32). P. 204–207.

22. Bulychev V. A. 1C: Mathematical designer "and virtual laboratories in mathematics at the moscow electronic school // *New Information Technologies in Education: collection of scientific papers of the 20th International Scientific and Practical Conference*. M.: OOO "1C-Publishing", 2020. P. 212–216.

23. Virtual Schools in the US 2019 / A. Molnar, G. Miron, N. Elgeberi [et al.] // *National Education Policy Center*. 2019. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED595244.pdf> (accessed 24.04.2021).

24. Maas M. J., Hughes J. M. Virtual, augmented and mixed reality in K–12 education: a review of the literature // *Technology, Pedagogy and Education*. 2020. Vol. 29, is. 2. P. 231–249. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1737210>.

25. Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated 23.08.2017 No. 816 "On Approval of the Procedure for the Use by Organizations Conducting Educational Activities, E-Learning, Remote Educational Technologies in the Implementation of Educational Programs". URL: <http://docs.cntd.ru/document/436767209/> (accessed 24.04.2021).

26. Decree of the President of the Russian Federation dated 09.05.2017 No. 203 "On the Strategy for the Development of the Information Society in the Russian Federation for 2017-2030". URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919> (accessed 24.04.2021).

27. Decree of the President of the Russian Federation of 10.10.2019 No. 490 "On the development of artificial intelligence in the Russian Federation" (together with the "National Strategy for the Development of Artificial Intelligence for the Period until 2030". URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_335184/942772dce30cfa36b671bcf19ca928e4d698a928 (accessed 24.04.2021).

28. Smirnova E. O. Specifics of modern preschool childhood // National psychological journal. 2019. No. 2 (34). P. 25–32.

29. Emelyanova I. V., Kulagina I. Yu. Features of the development of social intelligence in junior school age // Psychological and pedagogical research. 2020. Vol. 12, no. 2. P. 91–107.

30. Interactive multisensory environments for primary school children / F. Garzotto [et al.] // Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York, US: Association for Computing Machinery, 2020. P. 1–12.

31. Chetverikova O. N. Hidden threats of the Russian project "digital school" // Public education. 2019. No. 1 (1472). P. 9–25.

32. Digitalization for 500 billion: how schoolchildren will be weaned from paper textbooks. URL: <https://www.rbc.ru/society/20/06/2018/5af1a9f69a79478564b01d91> (accessed 24.04.2021).

33. Education 2030: Road maps of the future. Results of the first Russian stage of the study. URL: <https://narfu.ru/САФУ/Проекты> (accessed 24.04.2021).

34. Second psychedelic revolution. URL: <https://annatubten.livejournal.com/577317.html> (accessed 24.04.2021).

35. Neurointerface. URL: <https://wikium.ru/neuroninterface> (accessed 24.04.2021).

36. Russian schools, cameras with a face recognition system will be installed. Access mode. URL: <http://www.ntv.ru/novosti/2045929/> (accessed 24.04.2021).

37. Artemenko M. V. Gartner curves-retropredicative illustrations of transformations of social practices demands for digital technologies // Medical-Environmental Information Technologies-2020. Kursk: Southwest St. Univ., 2020. P. 287–300.

38. Baranov A. Yu., Malkova T. V. Topical problems of distance learning // Modern Science. 2020. No. 9-1. P. 193–195.

39. Amadi J. C., Osuji C. U. Global education marketing: using distance learning to export knowledge implements on globalization // Journal of Education and Entrepreneurship. 2020. Vol. 7, No. 1. P. 14–25.

40. Pshenichnaya V. V., Korotkevich E. R. Khakaton as a way of implementing project training in higher education // Educational resources and technologies. 2019. No. 1 (26). P. 41–46.

41. Guidelines for implementing primary general, basic general. URL: <http://sud-rono.ru/images/tmp/YG/distancia/dot.pdf> (accessed 24.04.2021).

42. Butenko E. D. COVID-19 as a shock stimulating factor in the development of digital education // Management in economic and social systems. 2020. No. 2. P. 19–27.

43. Gref called five principles of education. URL: <https://infourok.ru/news/gref-nazval-pyat-principov-sovremennogo-obrazovaniya-3624.html> (accessed 24.04.2021).

УДК 159.9.072

И. В. Егельский¹ ✉, В. Е. Казначеев², Л. Н. Катунина²

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

² МКОУ «Медвенская средняя общеобразовательная школа имени Героя Советского Союза Г. М. Певнева», ПГТ Медвенка, Россия

✉ e-mail: ive1996@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР НА ДЕТСКУЮ ПСИХИКУ И ПОВЕДЕНИЕ

Компьютерные игры внедрились в повседневность практически каждого человека. Дети подвержены влиянию во время игровой практики в большей степени, чем взрослые, в связи с несформировавшимся мировоззрением, психической пластичностью и малым жизненным опытом. Игры могут оказать как положительное, так и отрицательное воздействие на психику ребенка. Контроль за получением опыта из видеоигр зависит как от самих детей, так и от их родителей.

Ключевые слова: компьютерные игры; детская психика; игромания; саморазвитие.

Современные дети уже почти не проводят время на улице, это им заменяет досуг в компьютере. Игры, как и многие другие современные виды развлечения, оказывают сильное влияние на формирование системы ценностей и на убеждения подрастающего поколения. Ребенок копирует поведение, внешний вид и привычки персонажей игр, которые могут быть как положительными, так и крайне отрицательными.

Часто родители не знают и не интересуются, во что и как долго играют их дети, а ведь агрессивность, вспыльчивость или же замкнутость и тревожность ребёнка прямо пропорциональна времени, потраченному на игры без должного контроля [1]. Такие дети чаще вступают в конфликты с учителями, родителями и одноклассниками, падает интерес к учёбе в целом.

Запущенная склонность к играм ведет к так называемой игромании (зависимость от компьютерных игр, доминирующая в жизни человека и ведущая к снижению социальных, профессиональных, материальных и семейных ценностей в связи с чрезмерным времяпрепровождением за игровым процессом и потерей жизненных ориентиров). В связи с этим многие отечественные и зарубежные исследователи считают видеоигры серьёзной социальной про-

блемой, представляющей угрозу для части населения. Однако стоит отметить, что в процессе игры в ряде случаев возникают расслабление, снятие эмоционального напряжения, отвлечение от неприятных проблем, и игра рассматривается как приятное времяпрепровождение.

Обратим внимание на отрицательные стороны увлеченности компьютерными играми. Видеоигры требуют очень много времени для достижения определенных личных успехов и признания со стороны окружающих игроков. Нарушается цикл сна и бодрствования, важные дела могут отодвигаться в долгий ящик. Зачастую нарушается режим питания в угоду сэкономленного на игровой процесс времени. Снижается физическая активность игрока, ухудшается здоровье. Принято считать, что длительное время перед монитором приводит к ухудшению зрения при неправильном и длительном использовании. Общение во многих играх слишком сильно упрощено, поэтому существуют риски потери коммуникативных навыков. Помимо этого, большинство детей не получают должного внимания со стороны родителей во время подбора игровых материалов: некоторые игры запрещены лицам, не достигшим определенного возраста. Ребенку может понравиться обложка или краткий сюжет в описании, и он получит тот опыт в процессе игры, который ему рано приобретать. Это скажется на психическом состоянии и на дальнейшем поведении.

Как бы то ни было, в увлечении компьютерными играми есть свои положительные стороны. Во время игрового процесса имеет место быть саморазвитие ребенка. Различные игры могут дать общее представление о мире, в том числе об истории, технике, изобретениях, тактическом мышлении и многом другом. Сюжеты современных компьютерных игр ничуть не уступают фильмам. Из игры ребенок может почерпнуть для себя немало полезного опыта. Характер персонажей, их взаимодействия друг с другом и понимание принятия решений важны для игроков, что не отрывает их от реальности, где люди также оценивают эти параметры [2].

Многие изучают иностранные языки с помощью игр даже лучше, чем им могли бы обучить учителя в школе. Согласно исследованиям, сами компьютерные игры не влияют на агрессивное поведение детей, этому способствует либо общество самих игроков, либо последствия ожесточения правил использования компьютера ребенком [3].

Немаловажным полезным навыком у большинства игроков является стремление к изучению устройства компьютера, познанию его возможностей и способов починки. Продвинутые пользователи очень часто могут помочь другим участникам в решении некоторых проблем с оборудованием или программным обеспечением. В будущем это может послужить бонусом в разви-

тии карьеры. Одной из профессий может стать киберспорт, который развивается каждый год. Крупные чемпионаты проводятся всё чаще, а призовые гонорары могут исчисляться миллионами долларов.

Наше исследование включало опрос жителей пгт Медвенка. Было опрошено 92 человека. Данные опроса представлены на диаграммах (рис.). Среди респондентов 51% не используют компьютер в качестве досуга и отвечают на вопросы теоретическим образом.



Рис. Опрос жителей пгт Медвенка

Из данных опроса можно сделать вывод, что примерно равное количество детей предпочитают уделять компьютерным и телефонным играм от 1 до 3 часов и от 3 до 6 часов. Практически все респонденты согласны, что компьютерные игры влияют на психическое состояние. Половина опрошенных затруднилась с выбором предпочитаемого жанра. Тем не менее из определившихся больше всего выбрали развивающие игры (17%), а также 15% отдавали предпочтение шутерам (игре со стрельбой). Также 39% относится к компьютерным играм положительно, а 41% – нейтрально. Остальные респонденты убеждены в их отрицательном влиянии на психику.

Таким образом, увлечение компьютерными играми, несомненно, воздействует на психику детей. Время, проведенное за игрой, и степень увлеченности оказывают значительно большее влияние, чем жанр. Отказ от других благ и увлечений в пользу игр ведет к потере нравственных ориентиров

Игровое сообщество склонно навязывать свои правила поведения, поэтому необходимо ограничивать его вмешательство вне игровой среды. Тем не менее, игровой процесс в ограниченном режиме развивает мыслительную деятельность, заинтересованность компьютерной техникой и способен приносить доход. Большинство детей не считают игры вредными, но осознают, что во время игры оказывается влияние на их поведение и психику.

Эволюция несет характер необратимого процесса, а значит, развитие киберсреды нужно рассматривать как естественный и необходимый для полноценного развития детей фактор формирования личности.

Список литературы

1. Захарова Е. А. Влияние компьютерных игр на психическое развитие детей дошкольного возраста // Вестник науки и творчества. 2016. № 10 (10). С. 78–83.
2. Макалатия А. Г., Матвеева Л. В. Субъективные факторы притягательности компьютерных игр для детей и подростков // Национальный психологический журнал. 2017. № 1(25). С. 15–24.
3. Przybylski A. K., Weinstein N. Violent video game engagement is not associated with adolescents' aggressive behaviour: evidence from a registered report // Royal Society. 2019. Vol. 6(2). <http://doi.org/10.1098/rsos.171474>.

I. V. Egelsky¹ ✉, **V. E. Kaznacheev²**, **L. N. Katunina²**

¹ Southwest State University, Kursk, Russia

² ICOU "Medvenskaya secondary general education school named after Hero of the Soviet Union G.M. Pevnev", SMT Medvenka, Russia

✉ e-mail: ive1996@yandex.ru

INFLUENCE OF COMPUTER GAMES ON CHILDREN'S PSYCHE AND BEHAVIOR

Computer games have taken root in the everyday life of almost every person. Children are influenced during play practice to a greater extent than adults, due to an unformed worldview, mental plasticity and little life experience. Games can have both positive and negative effects on a child's psyche. It is up to both the children and their parents to control the experience of video games.

Keywords: computer games; children's psyche; gambling addiction; self-development.

М. В. Артеменко¹ ✉

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия

✉ e-mail: artem1962@mail.ru

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КЛАСТЕРОВ КРИВЫХ ГАРТНЕРА ВОСТРЕБОВАННОСТИ В ПРОЦЕССЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА СОЦИОТЕХНИЧЕСКОГО ЛАНДШАФТА

В работе рассматривается метод, позволяющий по небольшому количеству информации мониторинга цифрового умвелта социальной практики в социотехническом ландшафте оценить принадлежность кривой Гартнера востребованности в определенной цифровой технологии к определенному кластеру. Предлагается методика (и алгоритм) применения видеоряда различных индикаторных образов (фазовые портреты, годографы, спектр Фурье) для указанного соотнесения и вычисления значения функции уверенности в этом. Предложен оригинальный способ итерационного вычисления функции уверенности, основанный на формуле Шотлифа и теории нечетких множеств. В выявленном кластере предлагается стандартными методами аппроксимации осуществить структурно-параметрическую идентификацию кривой Гартнера и «предсказать» дальнейшее развитие процесса востребованности.

Ключевые слова: цифровой умвелт; мониторинг; кластеры кривых Гартнера; прогнозирование востребованности; видеоряд образов индикаторных функций.

На социотехническом ландшафте [1] в силу его биофизической сущности [2] постоянно эволюционируют социальные практики, обеспечивая развитие и планетарную экспансию человечества. Увеличение численности населения, синергетика образования определенных социальных кластеров (как в пространстве, так и во времени) приводит к экспоненциальному росту коммуникаций между отдельными элементами и структурами, образуя различные страты и связи между ними (например, иерархические). Биологические сущности, входящие в указанные кластеры, как и любые объекты материального мира, обладают лимитированными по пропускной способности каналами коммуникаций.

Указанные факторы (экспоненциально возрастающее количество элементов в социальных сетях, ограничение по скорости передачи информации в коммуникационных каналах и невозможности снижения скорости принятия корректирующих и управленческих решений в условиях изменяющегося умвелта) обуславливают резкое увеличение требований (потребностей) к «интеллектуальным помощникам» – развитию вычислителей (на данном эта-

пе развития информационного общества [3] – компьютерных средств), способных анализировать и систематизировать информацию из различных сигналов (как между элементами социосистем, так и внешними) с целью достижения необходимого прогностического и управленческого эффектов без увеличения скорости восприятия и обработки информации «человеками». Заметим, что развитие «клипового сознания» [4] ускоряет процесс принятия решений за счет перехода к образной и мегаобразной семантикам от символьной. Здесь прослеживается аналогия перехода от цифробуквенного алфавита к иероглифам и рунам.

Указанный переход осуществлялся в «обратную» сторону, поскольку комбинации из букв позволяют получать большое количество слов-образов, а большое количество иероглифов или рун приводит к «проклятию многомерности», не разрешаемой человеческим мозгом. Но в «те давние времена» человек был более индивидуален и доминировали три сигнальные системы, в отличие от сегодняшних семи [2]. Впрочем, возможно, данный этап создания нового «символьного» алфавита человечество еще ожидает в будущем, например, путем унификации определенных универсальных мемов [5], которое будет отражать переход «Человек → Постчеловек → Метачеловек» [6]. В продолжение теориям Вернадского подобный переход, пожалуй, соответствует: «Человек индивидуальный» → «Человек социальный» → «Человек ноосферный» [7].

Востребованность определенных цифровых технологий на различных этапах жизненного цикла отражается так называемыми кривыми Гартнера [8; 9], которые в первом приближении являются решениями дифференциальных уравнений второго порядка, описывающих некоторый переходный процесс, инициированный возникновением цифровой технологии. Идентификация дифференциального уравнения в начале процесса позволяет ориентировочно осуществлять прогноз развития ситуации. Однако, как показали пилотные натурные эксперименты, точность полученных результатов не всегда является достаточно приемлемой [10].

В связи с этим для проведения глубокого форсайт-анализа на основе гартнеровской аппроксимации законов востребованности цифровых технологий (с целью получения когнитивной динамической модели развития СТЛ) предлагается осуществлять интеллектуальное мониторингирование цифрового умельта анализируемой социальной практики. Причем рекомендуется осуществлять подобную процедуру и для «соседних ячеек» социотехнического ландшафта, чтобы максимально учесть «краевые эффекты» – это позволит демпфировать последствия «Черного лебедя» [11] (в случае его возникновения).

Процедуру интеллектуального мониторинга цифрового умвельта предлагается осуществлять следующим образом:

1. Создаются образы-шаблоны кривых Гартнера (y), например: классическая, затухающая классическая, экспоненциальная, затухающая колебательная, линейная, линейно-аппроксимирующая, трапецеидальная, ступенчато-трапецеидальная, ритмическая и т.п. (образы-шаблоны нормированы таким образом, что максимальные значения не выходят по модулю за единицу); IT_l , $l = 1, \dots, \max L$; $\max L$ – максимальное количество выбранных образов-шаблонов.

2. В каждом образе-шаблоне выделяются от 4 до 8 реперных точек RP_s (рис.).

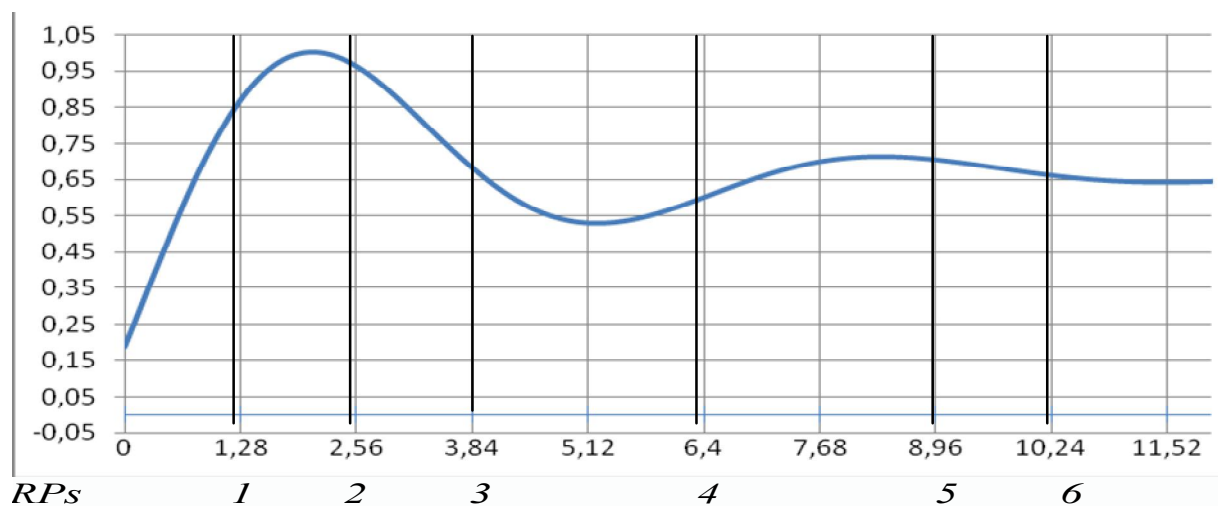


Рис. Классическая кривая Гартнера с реперными точками

3. Для каждого участка между соседними реперными точками (от 3 до 7 участков) строятся видеообразы, отражающие скорость (y') и ускорение (y'') поведения функции кривой Гартнера во времени и годограф. Первые позволяют создать видеообразы фазовых портретов типа (y, y') , (y', y'') , (y, y'') . (Таким образом, видеообраз годографа позволяет представить определенную степень устойчивости, а фазовые портреты – градиенты). Обозначим такой видеообраз как VI_k ($k = 1, \dots, \max K$) (где $\max K$ – максимальное количество видеообразов). Задаются (или определяются) значения функций принадлежности видеообраза VI_k к IT_l : $\mu(VI_k, IT_l)$.

4. Осуществляется фиксация нескольких значений востребованности цифровой технологии для анализируемой практики.

5. Полученные значения (после нормирования) отображаются на видеообразах-шаблонах, и исследователь-эксперт для каждого из выбранных им шаблонов указывает возможность применения определенных $\mu(VI_k, IT_l)$. В

результате получаем вектор значений функций принадлежности для каждого выбранного шаблона l :

$$\bar{\mu}_l = \{\mu(VI_1, IT_l), \mu(VI_2, IT_l), \dots, \mu(VI_{\max k}, IT_l)\} \quad l = \overline{1, \max L}.$$

Рассмотренный процесс автоматизируется при задании критерия, определяющего меру близости полученных значений к теоретическим: например, квадрат отклонения или максимального правдоподобия [12]. В последнем случае, поскольку рекомендуется применять логарифм определенных отношений, можно использовать термин «напряженность» и его градации [13].

6. Осуществляется соотнесение (принадлежность, уверенность) анализируемой востребованности к определенному образу-шаблону кривых Гартнера путем применения формулы Шортлифа [14] и рекомендаций автора, по которым, в частности, предлагается осуществлять последовательный итерационный процесс, представленный в таблице 1.

Таблица 1

Таблица итерационного вычисления функции уверенности
при получении новой информации

	$u_1 < 0,38$	$0,38 \leq u_1 \leq 0,62$	$u_1 > 0,62$
$u_2 < 0,38$	$\text{Min}(u_1, u_2)$	$(u_2 - u_1)/u_1$	$u_1 + u_2 - u_1 \cdot u_2$
$0,38 \leq u_2 \leq 0,62$	$(u_2 - u_1)/(1 - u_1)$	$u_1 + u_2 - u_1 \cdot u_2$	$(u_2 - u_1)/u_1$
$u_2 > 0,62$	$u_1 + u_2 - u_1 \cdot u_2$	$(u_2 - u_1)/(1 - u_1)$	$\text{Max}(u_1, u_2)$

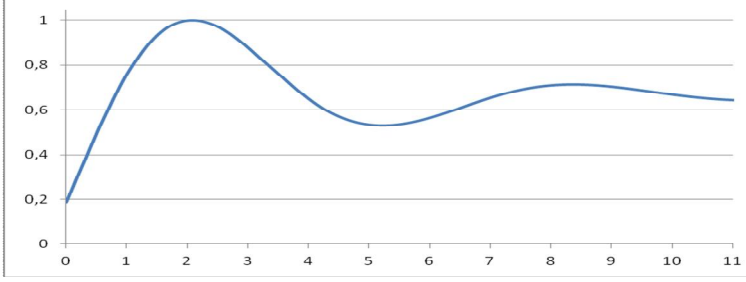
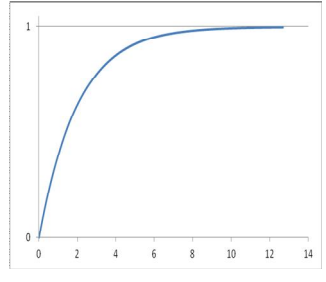
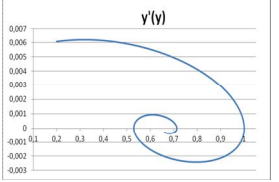
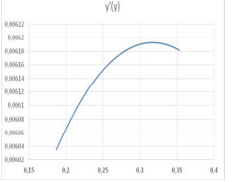
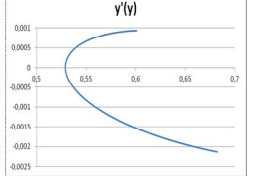
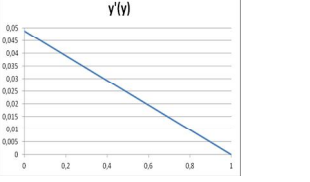
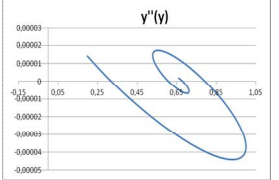
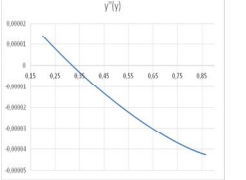
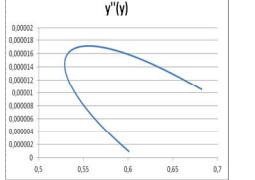
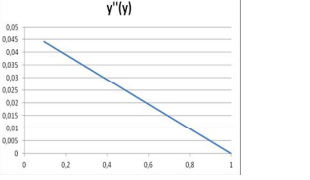
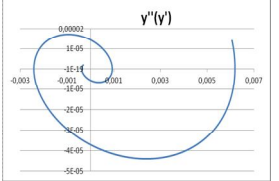
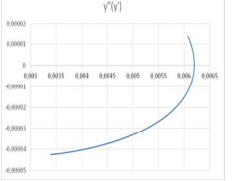
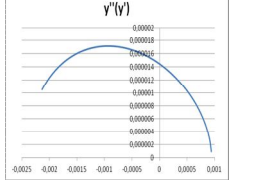
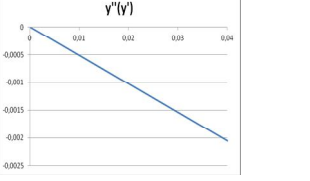
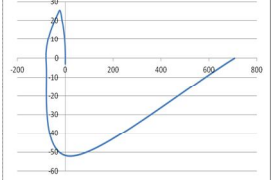
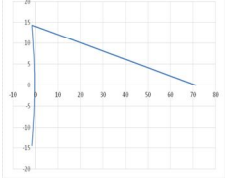
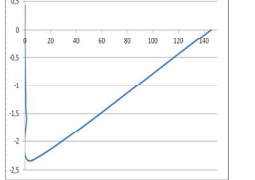
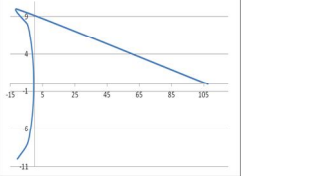
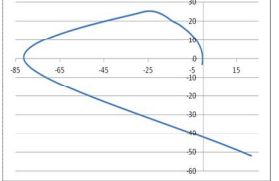
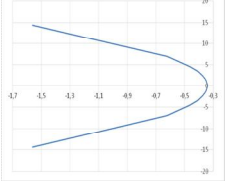
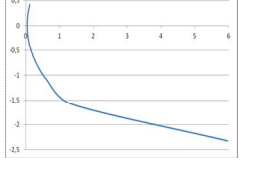
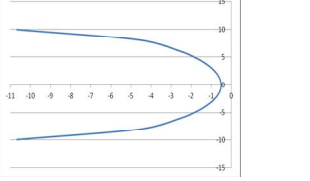
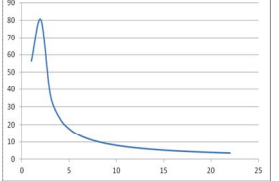
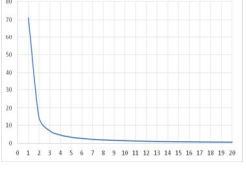
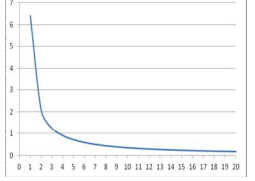
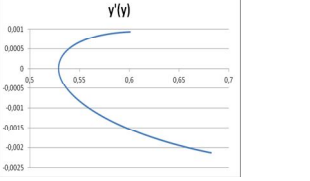
Примечание. u_t – уверенность, полученная в момент времени t ; u_{t+1} – уверенность, полученная в последующий момент мониторинга

7. Для выделенного (идентифицированного) образа-шаблона (кластера) кривой Гартнера определяются: аппроксимирующая функция, порождающее ее дифференциальное уравнение, «место текущего момента» на кривой Гартнера. Для этой цели можно использовать стандартный метод наименьших квадратов параметрической идентификации составляющих ряда Тейлора для выявленного образа-шаблона.

Примеры видеоряда для классической кривой Гартнера представлены в таблице 2.

Таблица 2

Примеры видеорядов для классической кривой Гартнера и экспоненциального роста востребованности

Вид кривой				
	Полная кривая	1-я реперная точка RP_1	RP_4 - RP_5 : между 4-5-й реперными точками	Полная кривая
Фазо- вый портрет 1				
Фазо- вый портрет 2				
Фазо- вый портрет 3				
Годо- граф				
Годо- граф без нуле- вой гармо- ники				
Спектр Фурье (без ну- левой гармо- ники)				

Таким образом, предлагаемый алгоритм и метод позволяют реализовать соотнесение наблюдаемых в процессе мониторинга востребованностей к определенным типовым кривым Гартнера. Это позволяет в дальнейшем адекватно идентифицировать для анализа и прогнозирования их аппроксимирующую и порождающую функцию (например, в виде дифференциального уравнения второго порядка) с оценкой коэффициента уверенности принятого искусственным интеллектом решения.

Список литературы

1. Социотехнический ландшафт в условиях цифровизации: к проблеме концепта и методологии исследования / В. Г. Буданов, Е. Г. Каменский, В. И. Аршинов, И. А. Асеева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2019. Т. 9, № 3. С. 213–225.

2. Социотехнический ландшафт цифровой реальности: этико-аксиологические регулятивы, адаптационные механизмы, социотехнические модели управления процессами цифровизации: монография / В. И. Аршинов, М. В. Артеменко, И. А. Асеева, В. Г. Буданов, О. А. Гримов, Е. Г. Каменский, Н. А. Корневский, Т. Н. Конаныхина, А. В. Маякова, С. Н. Родионова, В. В. Чеклецов / отв. ред. В. Г. Буданов, И. А. Асеева. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2020. 302 с.

3. Ершова Н. А., Александрова М. В. Перспективы развития информационного общества в России // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2019. № 3. С. 92–96.

4. Евстифеева Е. А., Цуркан Д. А. Философско-антропологический анализ клипового сознания молодежи // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Философия. 2020. № 3. С. 129–133.

5. Бубнова И. А. Мем: двуликий янус нашего времени // Уральский филологический вестник. Серия: Язык. Система. Личность: лингвистика креатива. 2020. № 2. С. 79–96.

6. Чеклецов В. В. Диалоги гибридного мира // Философские проблемы информационных технологий и киберпространства. 2021. № 1 (19). С. 99–116.

7. Зевелева Е. А., Лепилин С. В., Третьякова Н. М. Научное наследие гения. Памяти Владимира Ивановича Вернадского // Управление образованием: теория и практика. 2021. № 3. С. 248–256.

8. Ракова А. М., Разумовский К. А. Цифровые экосистемы и цикл зрелости технологий Гартнера // Цифровая трансформация в экономике транспортного комплекса. Развитие цифровых экосистем: наука, практика, образование: материалы II Международной научно-практической конференции. М.: Рос. ун-т транспорта, 2020. С. 285–290.

9. Конаныхина Т. Н. Аналитическое моделирование трансформаций жизнеобеспечивающих востребованностей социума к цифровому обслуживанию в «эпоху перемен» // *Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования*. 2020. № 7. С. 85–97.

10. Artemenko M., Budanov V., Korenevskiy N. Self-organizing algorithm for pilot modeling the reaction of society to the phenomenon of the Black Swan // 2020 IEEE 14th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). IEEE, 2020. С. 1–7.

11. Елагина Е. Р. «Чёрный лебедь» глобализации и его влияние на развитие коммуникационных парадигм // *Alma mater (Вестник высшей школы)*. 2021. № 3. С. 110–113.

12. Проурзин В. А. Динамические модели риска в анализе выживаемости, теории надежности и ускоренных испытаниях // *Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: сборник статей Международной научной конференции*. СПб.: С.-Петербург. гос. ун-т аэросмического приборостроения, 2020. С. 186–193.

13. Artemenko M. V., Budanov V. G., Korenevskiy N. A. Classification of sociotechnical landscapes on the basis of analogies of cortege codes of indicators // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1352, no. 1. P. 012002.

14. Модели представления и обработки неопределенных знаний. Коэффициенты уверенности Шортлифа Категория. URL: <http://5fan.ru/wievjob.php?id=8130> (дата обращения: 18.04.2021).

M. V. Artemenko¹ ✉

¹ *Southwest State University, Kursk, Russia*

✉ e-mail: artem1962@mail.ru

IDENTIFICATION OF GARTNER CURVES CLUSTERS FOR DEMAND IN THE PROCESS OF INTELLECTUAL MONITORING OF THE SOCIOTECHNICAL LANDSCAPE

The paper considers a method that allows, based on a small amount of information from monitoring the digital umwelt of social practice in a socio-technical landscape, to assess the belonging of the Gartner curve of demand for a certain digital technology to a certain cluster. A technique (and an algorithm) for applying a video series of various indicator images (phase portraits, hodo-graphs, Fourier spectrum) for the specified correlation and calculating the value of the confidence function in this is proposed. An original method of iterative calculation of the confidence function based on the Shotlif formula and the theory of fuzzy sets is proposed. In the identified cluster, it is proposed using standard approximation methods to carry out the structural-parametric identification of the Gartner curve and "predict" the further development of the demand process.

Keywords: digital umwelt; monitoring; clusters of Gartner curves; forecasting demand; video images of indicator functions.

Научное издание

**МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – 2021**

Сборник научных статей по материалам
XXIV Международной научно-технической конференции

20-21 мая 2021 года

**MEDICAL-ECOLOGICAL
INFORMATION TECHNOLOGIES – 2021**

The Compilation of Articles of the
24 International Scientific and Technical Conference

May 20-21th, 2021

Редактор *Н. В. Комардина*
Компьютерная вёрстка и макет *А. Е. Серебряковой*

Подписано в печать 22.07.2021. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 13,7. Уч.-изд. л. 13,2. Тираж 200 экз. Заказ 39.

Юго-Западный государственный университет.

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

Отпечатано в ЮЗГУ

