

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК [004.9:615.47]:616-072.8

ЕЛ-ГРЕИД
Мохаммад Ел-Хаде Салем

**МЕТОД И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
МОНИТОРИНГА МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ЧЕЛОВЕКА**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

Минск 2014

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель: Яшин Константин Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной психологии и эргономики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: Липницкий Станислав Феликсович, д-р. техн. наук, доцент, главный научный сотрудник государственного научного учреждения «Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси»

Сидоренко Алевтина Васильевна, д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры физики и аэрокосмических технологий Белорусского государственного университета

Оппонирующая организация: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Защита состоится « 24 » апреля 2014 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.06 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение высокого уровня надежности, безопасности и эффективности функционирования опасных производств предусматривает применение их анализа по двум направлениям: информация – информационная технология – информационный ресурс – операторский персонал – принятие управляющих решений; модель – алгоритм – программа – операторский персонал – управляющие действия.

Для обеспечения безопасности опасных производств важнейшее значение имеют анализ вопросов прогнозирования надежности профессиональной деятельности операторов, оценка надежности по ограниченной информации, оценка надежности работы оперативного персонала, обеспечение надежности сложных систем при эксплуатации. Наибольший интерес в этом плане представляют разновидности так называемых «систем искусственного интеллекта»: экспертная система, диагностическая экспертная система, экспертная консультативная система, система, основанная на знаниях, система поддержки принятия управленческих и экспертных решений.

В связи с этим обоснованным и целесообразным является проведение диссертационного исследования, посвященного изучению изменений параметров психофизиологических характеристик, относящихся к классу психофизиологических и медицинских, и разработке информационно-технологической системы, позволяющей осуществлять экспериментальные исследования и анализ динамики психофизиологических характеристик человека, а также с использованием полученных результатов осуществлять прогнозирование надежности профессиональной деятельности операторов опасных производств.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» № 296-о от 10.11.2009 г. и соответствует подразделам 1.2 «Безопасность атомной энергетики на всех стадиях топливного цикла, обращение с радиоактивными отходами» и 10.11 «Инновационные средства и технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, методы и приборы для испытаний изделий и материалов на соответствие требованиям безопасности» Приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг., утвержденных

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 1196 от 12 августа 2010 г.

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках научно-исследовательской работы кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР «Обеспечение эргономичности и безопасности человеко-машинных систем в образовательном процессе» (ГБ № 11-2031).

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является исследование закономерностей изменения медико-биологических параметров психофизиологического состояния человека и разработка программного комплекса для оценки функционального состояния его центральной нервной системы, а также прогнозирования снижения надежности профессиональной деятельности операторов на предприятиях топливной и химической промышленности.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи.

1. Провести анализ известных методик оценки психофизиологического состояния человека.
2. Разработать метод мониторинга медико-биологических параметров психофизиологического состояния человека.
3. Исследовать закономерности изменения медико-биологических параметров психофизиологического состояния человека.
4. Разработать программный комплекс измерения и мониторинга этих параметров.
5. Осуществить апробацию разработанного программного комплекса и разработать метод прогнозирования функционального состояния и снижения надежности профессиональной деятельности операторов.

Объект исследования – психофизиологические характеристики человека и методики их оценки.

Предмет исследования – изменение параметров психофизиологических характеристик человека.

Положения, выносимые на защиту

1. Методика оценки психологической стрессоустойчивости, основанная на автоматизированной оценке параметров избирательности внимания человека в процессе моделируемой стрессовой ситуации при предъявлении оптических стимулов (до 5000 сигналов), что вызывает ответную реакцию организма в виде вариабельности параметров внимания: продуктивности с (250 – 310) до (225 – 280) стимулов/мин и точности с 0,89 – 1 до 0,6 – 0,9 соответственно до и после стресса.

2. Методика оценки параметров памяти (воспроизведение и узнавание),

основанная на установленной автором экспериментально линейной зависимости коэффициента точности воспроизведения оптических стимулов (в диапазоне 0,75 – 0,25) от времени сенсомоторной реакции (в диапазоне 0,15 – 0,75 с) и позволяющая ввести расчетное значение этого коэффициента в программный комплекс мониторинга, что сокращает время измерения медико-биологических параметров на 5 – 7 мин.

3. Алгоритмы функционирования и программная реализация в системе оценки психофизиологического состояния человека, использующей определение, выявление динамики, балльную оценку и визуальное представление в виде многоугольных лепестковых диаграмм до 14 медико-биологических параметров, что позволяет реализовать тестирование функционального состояния операторов опасных производств.

4. Методика прогнозирования риска снижения надежности оператора, включающая определение комплекса медико-биологических параметров в системе оценки психофизиологического состояния обследуемого и автоматизированный расчет: дискриминанта D_i по каждому из измеренных параметров; вероятности нарушения функционального состояния оператора в i -м исследовании; величин риска и средневзвешенного риска; снижения надежности оператора для каждого момента времени и величины прогнозируемого риска, что позволяет установить необходимые сроки периодичности проведения тестовой оценки операторов опасных производств.

Личный вклад соискателя

Содержание диссертации отражает личный вклад автора, который заключается в научном обосновании использования методик определения психофизиологических состояний человека для оценки функционального состояния центральной нервной системы, подготовке и проведении всех статистических исследований и экспериментов по исследованию психофизиологических характеристик, разработке алгоритмов мониторинга параметров психофизиологического состояния человека и реализации их в программном комплексе мониторинга медико-биологических параметров человека.

Определение цели и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводились совместно с научным руководителем кандидатом технических наук К. Д. Яшиным, а также доктором технических наук Л. П. Пилиневичем, доктором психологических наук М. С. Кременем, доктором медицинских наук В. В. Шевляковым, кандидатом технических наук В. С. Осиповичем, кандидатом биологических наук А. Г. Давыдовским, кандидатом психологических наук Л. А. Вайнштейном.

Апробация результатов диссертации

Основные положения диссертации обсуждались на следующих международных научных, научно-практических и научно-методических конференциях: «Обучение, осведомленность и компетентность работников по вопросам охраны труда – основа повышения культуры производства и профилактики производственного травматизма» (Гомель, Министерство труда и социальной защиты Республики Беларусь, 2009 г.), «Управление информационными ресурсами» (Минск, Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2009 и 2011 гг.), «Энергоэффективные технологии. Образование. Наука. Практика» (Минск, БНТУ, 2010 г.), «Высшее техническое образование: проблемы и пути развития» (Минск, БГУИР, 2010 г.), «Государственная политика по совершенствованию оценки условий и охраны труда, механизмов предоставления компенсаций. Проблемы и перспективы развития» (Гродно, Министерство труда и социальной защиты Республики Беларусь, 2011 г.), «Россия–Беларусь–Сколково: единое инновационное пространство» (Минск, «Фонд Сколково», 2012), а также на научно-практическом семинаре с международным участием «Психофизиологическое обеспечение безопасности движения железнодорожного транспорта общего пользования» (Барановичи, Белорусская железная дорога, 2012 г.).

Результаты диссертационных исследований внедрены в производственную деятельность ОАО «Крион» (акт внедрения от 4.02.2014 г), работу ГУ «РНЦ медицинской экспертизы и реабилитации» (акт о практическом использовании от 3.02.2014), а также в учебный процесс БГУИР в качестве лекционного материала и материала для проведения практических занятий по дисциплине «Эргономика и безопасность труда» при обучении в магистратуре по специальности 1–59 80 01 «Охрана труда» (акт внедрения от 1.09.2013 г.).

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты работы опубликованы в 14 печатных работах: 7 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертационных исследований, 7 статей в сборниках материалов конференций. Общее количество страниц опубликованных материалов – 78 (4,8 печ. л.).

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и четырех приложений, содержащих алгоритмы программной реализации методик измерения параметров психофизиологического состояния человека, бланк анкеты попарного сравнения, акты внедрения результатов диссертационной работы.

Общий объем диссертационной работы составляет 168 страниц. Работа включает 117 страниц текста, 27 иллюстраций на 24 страницах, 11 таблиц на 17 страницах, список использованных источников из 136 наименований на 9 страницах, 14 собственных публикаций автора на 2 страницах и приложения на 36 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении определены основные направления исследований, обоснована актуальность темы диссертации, показана необходимость дальнейших исследований, проанализированы методики оценки психофизиологических параметров человека с целью разработки отдельных алгоритмов измерения психофизиологических характеристик человека и объединения их в систему для программного комплекса мониторинга медико-биологических параметров человека. Показано, что индивидуальные значения психофизиологических параметров и интерпретируемое на их основе психофизиологическое состояние человека является определяющим при решении вопросов профессионального отбора на должности операторов опасных производств, допуска операторов к выполнению прямых обязанностей и прогнозирования надежности деятельности операторского персонала. Актуальной задачей является использование информационных технологий для мониторинга психофизиологического состояния человека.

В первой главе рассмотрены и выбраны с учетом конкретных задач обследования профессиональной деятельности операторов опасных производств психофизиологические показатели функционального состояния человека и методики регистрации параметров, характеризующих это состояние. На основе анализа литературных источников установлено отсутствие общепризнанного перечня психофизиологических характеристик человека, необходимых в случае профессионального отбора на должность оператора опасного производства.

Обоснован пересчет данных, регистрируемых с помощью электрофизиологических, субъективно-психологических и психометрических методов, от системы частных показателей к интегральным. Обозначена проблема перехода к интегральным показателям.

Предложено использовать методики деятельностного типа для измерения медико-биологических параметров психофизиологического состояния человека. При апробации математического метода прогнозирования динамики функционального состояния человека предложено опираться на наиболее общую классификацию функциональных состояний, предполагающую разбиение всего их континуума на два класса – экстенсивные и интенсивные. Для характеристики качества математического обеспечения диагностики и

мониторинга экстенсивных функциональных состояний целесообразно использовать такие параметры, как чувствительность, специфичность, прогностическая ценность положительного и отрицательного результатов, а также отношение правдоподобия положительного и отрицательного результатов. Для характеристики качества математического обеспечения диагностики интенсивных функциональных состояний – число допущенных гиподиагностических и гипердиагностических ошибок.

Рассмотрены применяемые в настоящее время методы оценки показателей надежности деятельности операторов опасных производств.

Во второй главе определен и обоснован выбор 14 профессионально значимых психофизиологических характеристик для диагностики психофизиологического состояния человека и прогнозирования надежности операторов опасных производств. Отобранные психофизиологические характеристики определены мнениями 62 ливийских и белорусских экспертов и путем анализа информационной модели деятельности оператора опасного производства.

Результаты исследований, нацеленных на выбор психофизиологических характеристик, показали, что среди экспертов Ливии и Беларуси имеются отличия во мнениях о ранжировании профессионально значимых качеств. Эксперты из Беларуси ставят надежность работы оператора выше скорости его реакции, в отличие от экспертов из Ливии. Кроме того, ливийские эксперты способны фокусировать внимание (концентрацию) оператора ставят выше, чем его способность к принятию ситуативных решений. Белорусские же эксперты ставят эти две психофизиологические характеристики оператора на одном уровне.

На основании разработанного дифференциально-деятельностного подхода и сформулированных критериев для перечня 14 психофизиологических характеристик подобраны методики оценки наличия и степени их развития у испытуемых при диагностике функционального состояния человека. Методами экспертной оценки (метод попарного сравнения) установлены весовые коэффициенты 14 психофизиологических характеристик, от максимального 0,141 до минимального 0,029 (таблица 1).

Разработана методика приведения результатов диагностики психофизиологических характеристик к единой балльной системе измерения с учетом весовых коэффициентов каждой из 14 психофизиологических характеристик. На основании измерения параметров психофизиологических характеристик у группы операторов опасных производств (50 человек) определены эталонные диапазоны, используемые для балльной оценки каждой из характеристик.

Таблица 1 – Результат расчета весовых коэффициентов

Психофизиологическая характеристика	Весовой коэффициент A_i
Быстрота реакции	0,141494
Надежность	0,121964
Точность выполнения рабочих операций	0,117594
Устойчивость работы (к внешним воздействиям)	0,098469
Способность фокусировать внимание	0,084878
Распределение внимания	0,074681
Оперативно-динамическая память	0,06571
Способность к формированию динамического образа ситуации	0,057331
Способность к выделению главного в ситуации	0,050444
Психологическая стрессоустойчивость	0,045688
Способность к принятию ситуативных решений	0,040539
Уровень утомляемости умственной	0,03748
Способность к взятию ответственности за собственные решения	0,033946
Интеллектуальная лабильность	0,029781

В третьей главе разработана структура программного комплекса мониторинга психофизиологического состояния человека (рисунок 1), состоящая из 5 основных модулей, а также алгоритм его работы, обеспечивающий отображение результатов тестирования в интегральном виде (в виде лепестковых диаграмм).

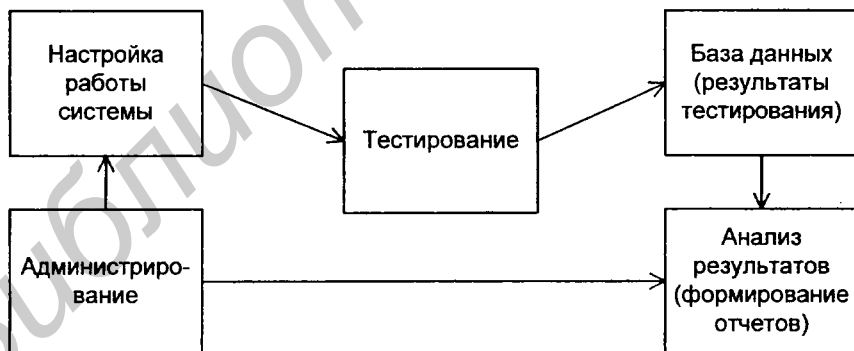


Рисунок 1 – Структурная схема программного комплекса мониторинга медико-биологических параметров

Для реализации программного комплекса мониторинга медико-биологических параметров психофизиологических характеристик человека

определены, выбраны, адаптированы к работе на персональном компьютере и реализованы методики деятельностного типа измерения этих параметров. Результаты измерений по этим методикам далее были учтены при оценке вероятностной характеристики – надежности профессиональной деятельности оператора опасного производства.

Текущая надежность профессиональной деятельности оператора x_T рассчитывается в программном комплексе по формуле

$$x_T = 1 - \frac{q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6}{\sum_{i=1}^6 q_i}, \quad (1)$$

где q_i – коэффициент класса, показывающий соответствие действия испытуемого определенному классу.

При измерении параметров при оценке избирательности внимания 39 испытуемых наблюдалось изменение параметров внимания в пределах 10 – 15 % и менее, у 55 и 26 испытуемых изменения параметров внимания составили 15 – 25 % и 25 – 40 % соответственно. Получено, что время считывания и обработки испытуемым до 5000 оптических стимулов (букв) увеличивается с 5 – 7 мин до 5,5 – 7,6 мин, а таких параметров избирательности внимания, как продуктивности – с 250 – 310 ст./мин до 225 – 280 ст./мин и точности – с 0,89 – 1 до 0,6 – 0,9.

Методика определения психологической стрессоустойчивости человека заключается в сравнении результатов измерения одной и той же психофизиологической характеристики (внимания) в начале и в конце тестирования (т.е. до и после воздействия моделируемой стрессовой ситуации). Для определения уровня стрессоустойчивости в программном комплексе реализована формула

$$x_{10} = \left(1 - \frac{x_{\text{вн.нач}} - x_{\text{вн.кон}}}{x_{\text{вн.нач}}} \right) \cdot 100, \quad (2)$$

где $x_{\text{вн.нач}}$ – результат оценки избирательности внимания в начале тестирования; $x_{\text{вн.кон}}$ – результат оценки избирательности внимания в конце тестирования; x_{10} – уровень психологической стрессоустойчивости в баллах.

В ходе исследований (120 испытуемых) было установлено, что точность узнавания и воспроизведения визуальных стимулов у испытуемых тем выше, чем меньше среднее время их простой сенсомоторной реакции (рисунок 3).

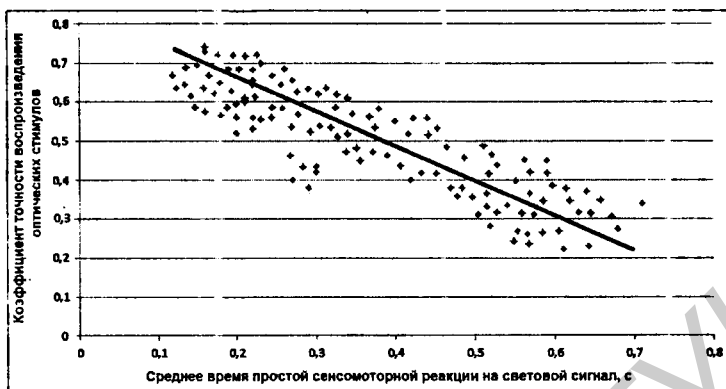


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента точности воспроизведения от времени простой сенсомоторной реакции у испытуемых

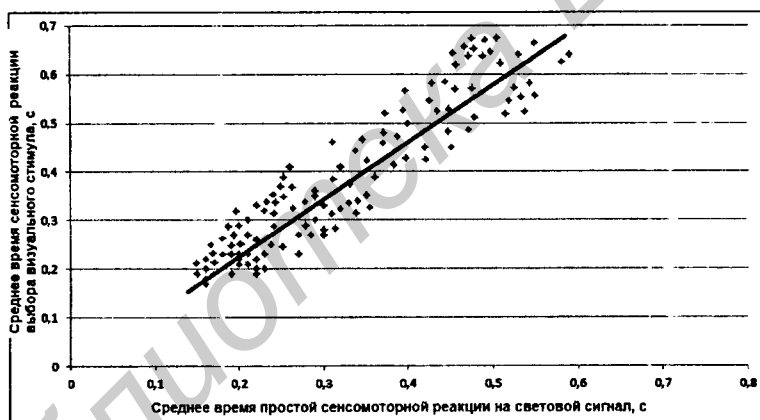


Рисунок 4 – Зависимость среднего времени сенсомоторной реакции выбора визуального стимула от времени простой сенсомоторной реакции у испытуемых

При уменьшении у испытуемых времени простой сенсомоторной реакции от 0,7 до 0,15 коэффициент точности воспроизведения и узнавания увеличивается с 0,25 до 0,75 (или увеличивается с 20 до 90 баллов). Коэффициент установленной зависимости корреляции – 0,72. На основании установленной зависимости возможно оценить коэффициент точности

воспроизведения по среднему времени простой сенсомоторной реакции испытуемого, не проводя измерений по определению этого коэффициента. Погрешность в оценке коэффициента точности воспроизведения составит 15 – 20 %. Измерение параметров воспроизведения и узнавания составляет 5 – 7 мин, используя в программном комплексе расчетную оценку коэффициента точности воспроизведения достигнем сокращения времени измерения медико-биологических параметров психофизиологического состояния человека с использованием программного комплекса.

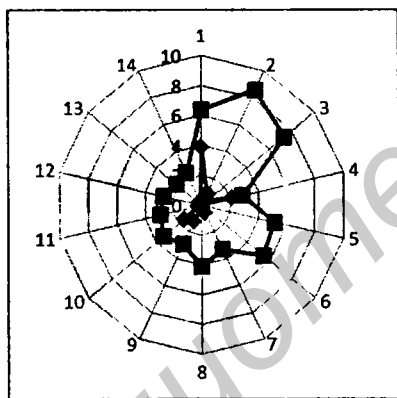
Установлена зависимость между средним временем простой сенсомоторной реакции и средним временем сенсомоторной реакции выбора визуального стимула (рисунок 4). При увеличении среднего времени простой сенсомоторной реакции на визуальный сигнал испытуемых с 0,15 до 0,6 с возрастает среднее время реакции выбора визуального стимула с 0,2 до 0,7 с. Коэффициент корреляции – 0,67.

В четвертой главе приведены и проанализированы результаты проверки работоспособности апробации программного комплекса мониторинга психофизиологического состояния оператора опасного производства, показана возможность применения такого комплекса для скрининга и мониторинга динамики психофизического состояния человека. Апробация программного комплекса была проведена на трех группах респондентов. Группа 1 – люди здоровые различных возрастов, полов и видов занятий (количество испытуемых – 82). Группа 2 – люди, проходящие реабилитацию в Республиканском научно-практическом центре экспертизы и реабилитации Министерства здравоохранения после лечения раковых заболеваний и невротических расстройств (количество испытуемых – 25). Группа 3 – операторы предприятия «Крион» Белорусского государственного концерна по нефти и химии (количество испытуемых – 25).

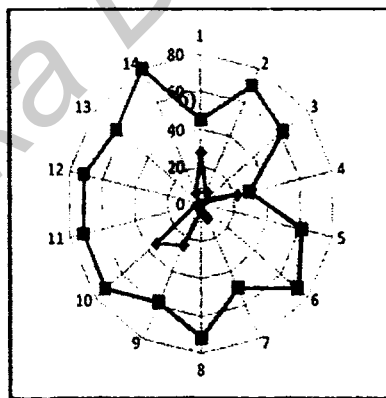
По результатам работы испытуемых с программным комплексом были получены диаграммы функционального состояния испытуемых (рисунок 5).

Значения параметров у испытуемых группы 1 при диагностике выбранных психофизиологических характеристик стремятся к максимальным. Средняя площадь фигур лепестковых диаграмм, построенных с учетом весовых коэффициентов, – 60,1 условных единиц. Таким образом, результаты исследования медико-биологических параметров, на основе которых интерпретируются психофизиологические состояния испытуемых, показывают следующее: испытуемые имеют средний уровень работоспособности при выполнении простейших механических операций; испытуемые имеют значения параметров по всем психофизиологическим характеристикам выше среднего (рисунок 5, маркер квадрат).

Значения параметров психофизиологических характеристик граничат со значениями эталонного минимума, что обуславливает низкую общую оценку функционального состояния испытуемых группы 2. Оценка работоспособности составила 55 баллов, что говорит о среднем уровне работоспособности испытуемых при выполнении простейших механических операций. Средняя площадь фигур лепестковых диаграмм, построенных с учетом весовых коэффициентов, – 1,64 условных единиц. Таким образом, результаты исследования медико-биологических параметров, используемых для интерпретации психофизиологического состояния испытуемых, показывают следующее: испытуемые имеют средний уровень работоспособности при выполнении простейших механических операций; испытуемые имеют низкие или очень низкие значения параметров по всем психофизиологическим характеристикам (рисунок 5, маркер ромб); общие низкие показатели психофизиологического состояния позволяют судить о наличии у испытуемых невротических расстройств различного генеза.



а



б

а – с учетом весовых коэффициентов; б – без учета весовых коэффициентов (группа 1 – маркер квадрат, группа 2 – маркер ромб)

Рисунок 5 – Диаграммы функционального состояния испытуемых

На рисунке 6 представлено статистическое соотношение результатов 12 наиболее варибельных психофизиологических характеристик испытуемых групп 1 и 2. Достоверные различия измеренных параметров ($P < 0,05$) испытуемых групп 1 и 2 наблюдаются по следующим психофизиологическим характеристикам: время реагирования на световой сигнал, правильность

сенсомоторной реакции выбора, процессы воспроизведения, переключаемость внимания и оценка работоспособности.

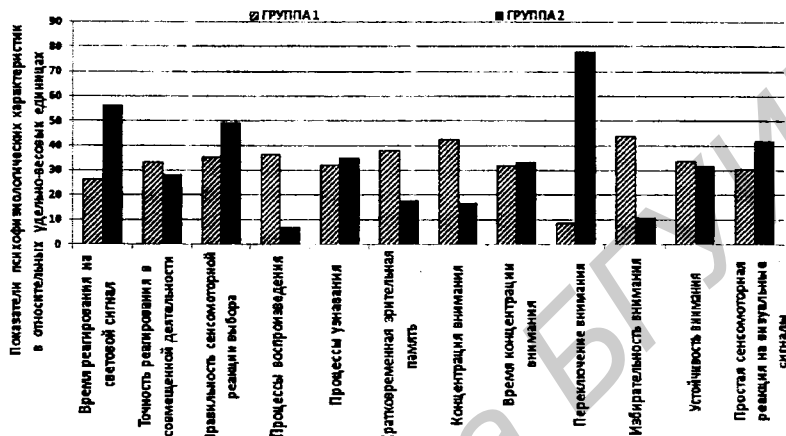
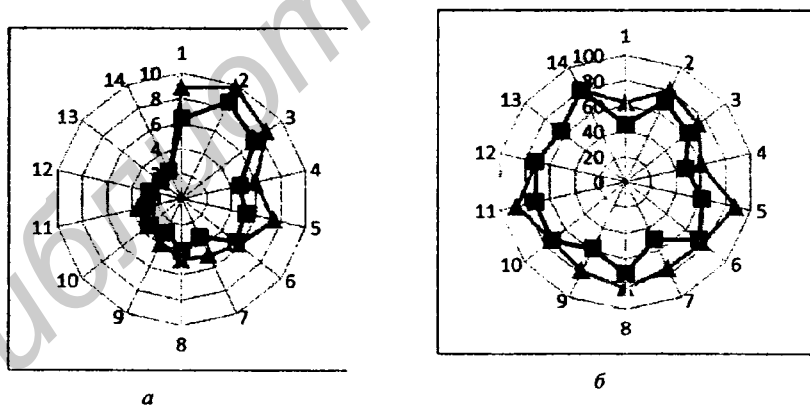


Рисунок 6 – Соотношение результатов исследования психофизиологических характеристик испытуемых групп 1 и 2



а – с учетом весовых коэффициентов; б – без учета весовых коэффициентов (группа 1 – маркер квадрат, группа 3 – маркер треугольник)

Рисунок 7 – Диаграммы функционального состояния испытуемых

Результаты интерпретаций функционального состояния испытуемых групп 1 и 3 приведены на рисунке 7. Статистический анализ различий между группами 1 и 3 для 12 наиболее вариабельных психофизиологических характеристик приведен на рисунке 8. Достоверные различия измеренных параметров (с вероятностью $P < 0,05$) между испытуемыми групп 1 и 3 наблюдаются по следующим характеристикам: время реагирования на световой сигнал, точность реагирования в совмещенной деятельности, процессы воспроизведения, процессы узнавания, кратковременная зрительная память, концентрация внимания, время концентрации внимания, переключение внимания, избирательность внимания, устойчивость внимания и оценка работоспособности.

В результате проверки работоспособности программного комплекса мониторинга психофизиологического состояния человека разработана методика прогнозирования надежности профессиональной деятельности оператора.

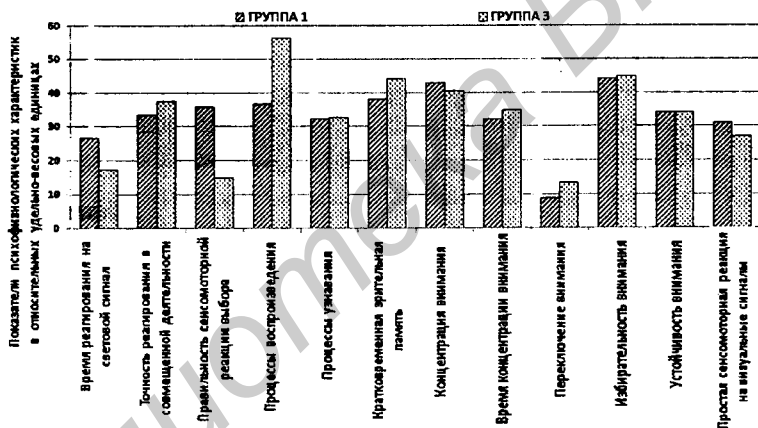


Рисунок 8 – Соотношение результатов исследования психофизиологических характеристик испытуемых групп 1 и 3

Дискриминант количественной оценки вероятности нарушения функционального состояния оператора D_i позволяет соотнести изменения каждого из количественно измеряемых параметров психофизиологических характеристик (x_i) по отношению к минимуму (x_{\min}) и максимуму (x_{\max}) соответствующего диапазона нормы (последние определяются экспериментальным путем):

$$D_i = \frac{(x_i - x_{\min})(x_i - x_{\max})}{x_{\min} x_{\max}}. \quad (3)$$

Удельное изменение вероятности снижения надежности оператора $P(D_i)$ относительно параметров D_i можно записать в виде

$$P(D_i) = \frac{e^{D_i}}{1 + e^{D_i}}. \quad (4)$$

Интегральную вероятность нарушения функционального состояния оператора с учетом всех психофизиологических характеристик в любой момент времени t_j периода профессиональной деятельности рассчитывают как

$$P(t_j) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(D_i))^n. \quad (5)$$

Риск снижения надежности оператора R_j , где j – порядковый номер исследования риска снижения надежности оператора, которое выполнено в j -й момент времени с использованием интегральных показателей вероятности нарушения функционального состояния оператора $P(t_j)$:

$$R_j(D_i, t_j) = P_0(D_0, t_0) e^{\left(\frac{P^2(D_i, t_j)}{2}\right)}, \quad (6)$$

где $P_0(D_0, t_0)$ – вероятность нарушения функционального состояния оператора, рассчитанная в начальный период времени исследований (первичные измерения психофизиологических характеристик).

Средневзвешенный показатель риска снижения надежности оператора $\langle R \rangle$ для любого момента времени профессиональной деятельности рассчитывается по формуле

$$\langle R \rangle = \sum R_j w_j, \quad (7)$$

где R_j – риск снижения надежности оператора в j -м исследовании в период мониторинга функционального состояния оператора; w_j – его удельно-весовой показатель.

Величины риска на задаваемую глубину прогнозирования рассчитываются по формуле

$$R_{\text{прогноз}} = \exp\langle R \rangle \cdot \exp\left(t + \frac{t^2}{2T}\right) \cdot \exp(C_2), \quad (8)$$

где $\langle R \rangle$ – величина средневзвешенного риска снижения надежности оператора; T – полный период времени всех предшествующих мониторингов функционального состояния оператора; C_2 – постоянная интегрирования, характеризующая величину ошибок в расчетах риска.

Предложена модель изменения состояний надежности профессиональной деятельности операторов опасных производств. Модель учитывает четыре диапазона вероятности P снижения надежности операторского персонала.

В приложениях представлены 27 блок-схем алгоритмов реализации

методик измерения медико-биологических параметров психофизиологического состояния человека, а также акты использования результатов диссертационной работы в производственной деятельности ОАО «Крион», работе ГУ «РНПЦ медицинской экспертизы и реабилитации» и в учебном процессе в магистратуре БГУИР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. На основании экспертных оценок (25 экспертов), осуществленных методом попарного сравнения, уточнен и обоснован перечень 14 психофизиологических характеристик для оценки психофизиологического состояния оператора опасного производства, а также рассчитаны весовые коэффициенты этих характеристик от минимального 0,029 до максимального 0,141. Разработана методика приведения к единой балльной системе результатов измерения медико-биологических параметров психофизиологического состояния человека [1 – 5].

2. Предложена методика оценки психологической стрессоустойчивости. В результате исследования у 120 испытуемых изменения времени считывания и обработки до 5000 оптических стимулов (сигналов) до измерения медико-биологических параметров психофизиологического состояния человека (5 – 7 мин) и после этого измерения (5,5 – 8 мин) показано, что при воздействии моделируемой стрессовой ситуации в течение 40 – 45 мин происходит изменение параметров избирательности внимания: продуктивность уменьшается с 250 – 310 до 225 – 280 стимулов/мин, точность – с 0,89 – 1 до 0,6 – 0,9. Параметры избирательности внимания при воздействии моделируемой стрессовой ситуации снижаются на 10 – 40 %, в зависимости от индивидуальных особенностей испытуемого, т.е. от уровня его психологической стрессоустойчивости [7].

3. Предложена методика оценки параметров памяти (воспроизведение и узнавание), основанная на измерении среднего времени сенсомоторной реакции человека на визуальный сигнал. По результатам исследований со 120 испытуемыми установлено, что при увеличении времени сенсомоторной реакции на визуальный сигнал от 0,15 до 0,75 коэффициент точности воспроизведения оптических стимулов уменьшается с 0,75 до 0,25 по линейному закону [7].

4. Разработана структурная схема и алгоритмы функционирования, которые реализованы в программном комплексе оценки психофизиологического состояния человека. Работа программного комплекса предусматривает определение, выявление динамики, балльную оценку и визуальное представление в виде многоугольных лепестковых диаграмм до 14

медико-биологических параметров психофизиологических характеристик человека [3, 7].

5. Работоспособность программного комплекса проверялась путем измерения медико-биологических параметров психофизиологического состояния людей с привлечением 132 испытуемых. Результаты измерений позволили зафиксировать наличие невротических расстройств различного генеза у 25 человек. У этих испытуемых площади лепестковых диаграмм с учетом весовых коэффициентов составили 1 – 8 условных единиц. При этом у остальных испытуемых эта величина составила 57 – 72 условные единицы [3, 7].

6. Предложена методика прогнозирования риска снижения надежности деятельности оператора, основанная на зависимости риска снижения функциональной надежности оператора опасного производства от вероятности изменения его психофизиологического состояния, включающая расчет: дискриминанта D_i по каждому из измеренных параметров психофизиологических характеристик; вероятности нарушения функционального состояния оператора в i -м исследовании; величин риска и средневзвешенного риска; снижения надежности деятельности [2, 6, 7].

Рекомендации по практическому использованию результатов диссертации

1. Разработанный программный комплекс, обеспечивающий текущий мониторинг психофизиологического состояния человека-оператора, целесообразно использовать при оценке необходимости направления человека на профилактику заболеваний, при профессиональном отборе кандидатов на должности оперативного персонала опасных производств. Кроме того, программный комплекс целесообразно использовать для проведения экспериментальных и диагностических исследований при невротических расстройствах и заболеваниях головного мозга человека [6, 7].

2. Разработанная математическая модель функциональной надежности человека-оператора обеспечивает возможность прогнозирования надежности профессиональной деятельности оператора опасных производств на период от 3 месяцев до 1,5 лет с учетом индивидуальных особенностей оператора и при условии осуществления мониторинга исследуемых параметров психофизиологического состояния человека не реже 1 раза в месяц в течение не менее чем 6 месяцев. Показана целесообразность использования разработанной математической модели функциональной надежности человека-оператора в системе средств и мероприятий, направленных на повышение профессиональной надежности персонала опасных производств нефтегазохимического комплекса, а также других отраслей национальной экономики Республики Беларусь [6].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах.

1. Ел-Грейд, М. Информационная модель деятельности операторов газотранспортных предприятий для снижения риска совершения ошибок в их работе / М. Ел-Грейд, К.Д. Яшин, В.В. Егоров // Доклады БГУИР. – 2010. – № 2(54). – С.121–126.

2. Ел-Грейд, М. К проблеме снижения риска совершения ошибок в работе операторов систем автоматизированного управления газораспределительных станций / В.В. Егоров, М. Ел-Грейд // Вестник Белорус. нац. техн. ун-та. – 2011. – № 2. – С. 38–45.

3. Ел-Грейд, М. Информационные методы исследования профессионально важных качеств специалистов опасных производств / М. Ел-Грейд, К.Д. Яшин, В.В. Егоров // Доклады БГУИР. – 2011. – № 8(62). – С. 95–98.

4. Ел-Грейд, М. Исследование профессионально важных качеств операторов машиностроительных и транспортно-энергетических производств / М. Ел-Грейд, В.В. Егоров, А.Г. Давыдовский, К.Д. Яшин // Безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 6. – С. 12–17.

5. Ел-Грейд, М. Профессионально важные качества, способствующие безопасности работы операторов / М. Ел-Грейд, В.В. Егоров, К.Д. Яшин // Безопасность в техносфере. – 2013. – № 2. – С. 27–33.

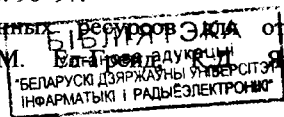
6. Ел-Грейд, М. Информационное и математическое моделирование надежности профессиональной деятельности операторов / М. Ел-Грейд, А.Г. Давыдовский, К.Д. Яшин, В.С. Осипович, Л.П. Пилиневич, Ю.А. Гедранович, Е.В. Томашевич // Доклады БГУИР. – 2013. – № 4(74). – С. 79–84.

7. Ел-Грейд, М. Программный комплекс для клинического мониторинга неврологических расстройств / М. Ел-Грейд, А.Г. Давыдовский, К.Д. Яшин, В.С. Осипович, Л.П. Пилиневич, Ю.А. Гедранович // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 (Ч.5). – С. 968–972.

Статьи в материалах конференций

8. Ел-Грейд, М. Обмен опытом в области охраны труда – важнейший фактор развития международных связей / М. Ел-Грейд // Обучение, осведомленность и компетентность работников по вопросам охраны труда – основа повышения культуры производства и профилактики производственного травматизма: сб. докл., Гомель, 23 – 25 сентября 2009 г. / М-во труда и соц. защиты; под ред. В.В. Короля. – Гомель, 2009. – С. 96–97.

9. Ел-Грейд, М. Разработка информационных ресурсов ЭКД отбора персонала топливозаправочных станций / М. Ел-Грейд, К.Д. Яшин,



В.В. Егоров // Управление информационными ресурсами: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 25 ноября 2009 г. / Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь; редкол.: В.А. Богуш [и др.]. – Минск, 2009. – С. 14–16.

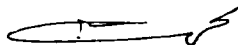
10. Ел-Грейд, М. Исследование уровней профессиональных возможностей операторов газораспределительных станций и эффективности их трудовой деятельности / М. Ел-Грейд, В.В. Егоров // Энергоэффективные технологии. Образование. Наука. Практика: материалы Междунар.науч.-практ. конф., Минск, 20 – 21 мая 2010 г. : в 3 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; под ред. В.Л. Соломахо. – Минск, 2010. – Т. 1. – С. 51–55.

11. El-Greyd, M. Training organization of gas transport companies highly qualified technicians / M. El-Greyd, K.Yashin, V.Egorov, T. Zhurauliova // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития: материалы V Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 24 – 25 ноября 2010 г. / Белорус.гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: Е. Н. Живицкая [и др.]. – Минск, 2010. – С. 198–199.

12. Ел-Грейд, М. Информационные ресурсы для определения степени развития профессионально значимых качеств операторов // М. Ел-Грейд, К.Д. Яшин, В.В. Егоров // Управление информационными ресурсами: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 10 февр. 2011 г. / Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь; редкол.: А.В. Ивановский[и др.]. – Минск, 2011. – С. 64–66.

13. Ел-Грейд, М. Психологические аспекты безопасности труда на магистральных газопроводах / М. Ел-Грейд, В.В. Егоров // Государственная политика по совершенствованию оценки условий и охраны труда, механизмов предоставления компенсаций. Проблемы и перспективы развития: сб. докл. Гродно, 19 – 20 мая 2011 г. / М-во труда и соц. защиты; под общ. ред. С.В. Жартуна. – Гродно, 2011. – С. 66–68.

14. Ел-Грейд, М. Информационное и математическое моделирование надежности профессиональной деятельности операторов опасных производств / М. Ел-Грейд, А.Г. Давыдовский, К.Д. Яшин // Россия–Беларусь–Сколково: единое инновационное пространство : тез. Междунар. научн. конф., Минск, 19 сентября 2012 г. / НКО фонд развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий («Фонд Сколково»); редкол.: С.Я. Килин [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2012. – С. 219–220.



РЭЗЬЮМЭ

ЕЛ-ГРЕІД Мохаммад Ел-Хаде Салем

Метад і праграмны комплекс маніторынгу медыка-біялагічных параметраў псіхафізіялагічнага стану чалавека

Ключавыя словы: медыка-біялагічныя параметры чалавека, аператары небяспечных вытворчасцяў, псіхафізіялагічны стан, рызыка, зніжэнне надзейнасці аператара, праграмны комплекс.

Мэта работы: даследаванне заканамернасцей змянення медыка-біялагічных параметраў псіхафізіялагічнага стану чалавека і разробтка праграмнага комплексу для ацэнкі функцыянальнага стану яго цэнтральнай нервовай сістэмы, а таксама прагназавання зніжэння надзейнасці прафесійнай дзейнасці аператараў на прадпрыемствах паліўнай і хімічнай прамысловасці.

Метады даследавання і апаратура: экспертная ацэнка, папарнае параўнанне, назіранне, распрацоўка праграмнага забеспячэння, вымярэнне і аналіз медыка-біялагічных параметраў.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацаваны структурная схема і алгарытм работы праграмнага комплексу, які прадугледжвае сумесны аналіз медыка-біялагічных параметраў псіхафізіялагічных характарыстык (да 14) і дынамікі іх змянення, прывядзенне гэтых параметраў да бальнай ацэнкі з улікам іх вагавых каэфіцыентаў.

Упершыню прапанавана двухстадыійная метадыка дзейснага тыпу для вызначэння псіхалагічнай стрэсаўстойлівасці чалавека, заснаваная на вымярэнні часу счывання і апрацоўцы да 5000 аптычных стымулаў да змярэння медыка-біялагічных параметраў псіхафізіялагічнага стану чалавека (5 – 7 хвілін) і пасля гэтага змярэння (5,5 – 8 хвілін) і ацэнцы змянення ў параметрах увагі (прадуктыўнасць з 250 – 310 па 225 – 280 стымулаў/хвіліна, дакладнасць з 0,89 – 1 па 0,6 – 0,9).

Распрацавана матэматычная мадэль, якая апісвае залежнасць рызыкі зніжэння функцыянальнай надзейнасці чалавека ад верагоднасці змянення яго псіхафізіялагічнага стану, які характарызуецца як вектар у шматмерным еўклідавым прасторы нарміруемых медыка-біялагічных параметраў.

Ступень выкарыстання: прапанаваны матэрыялы ужыты ў вытворчай дзейнасці ААТ «Крыен», працы ДУ «РНПЦ медыцынскай экспертызы і рэабілітацыі» і ў навучальным працэсе УА «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі».

Галіна ужывання: маніторынг функцыянальнага стану цэнтральнай нервовай сістэмы чалавека пры далучэнні яго да выканання службовых абавязкаў, правядзенне прафесійнага адбору.

РЕЗЮМЕ

ЕЛ-ГРЕИД Мохаммад Ел-Хаде Салем

Метод и программный комплекс мониторинга медико-биологических параметров психофизиологического состояния человека

Ключевые слова: медико-биологические параметры, операторы опасных производств, психофизиологическое состояние, риск, снижение надежности оператора, программный комплекс.

Цель работы: исследование закономерностей изменения медико-биологических параметров психофизиологического состояния человека и разработка программного комплекса для оценки функционального состояния его центральной нервной системы, а также прогнозирования снижения надежности профессиональной деятельности операторов на предприятиях топливной и химической промышленности.

Методы исследования и аппаратура: экспертная оценка, попарные сравнения, наблюдение, разработка программного обеспечения, измерение и анализ медико-биологических параметров.

Полученные результаты и их новизна: разработана структурная схема и алгоритмы функционирования программного комплекса, предусматривающего совместный анализ медико-биологических параметров психофизиологических характеристик человека (до 14) и динамики их изменения, приведение этих параметров к балльной оценке с учетом весовых коэффициентов.

Впервые предложена методика деятельностного типа для определения психологической стрессоустойчивости человека, основанная на измерении времени считывания и обработки до 5000 оптических стимулов до измерения медико-биологических параметров психофизиологического состояния человека (5 – 7 мин) и после этого измерения (5,5 – 8 мин) и оценке изменения в параметрах внимания (продуктивность с 250 – 310 по 225 – 280 стимулов/мин, точность с 0,89 – 1 по 0,6 – 0,9).

Разработана математическая модель, описывающая зависимость риска снижения функциональной надежности человека от вероятности изменения его психофизиологического состояния, характеризуемого как вектор в многомерном евклидовом пространстве нормируемых медико-биологических параметров.

Степень использования: материалы применены в производственной деятельности ОАО «Крион», работе ГУ «РНПЦ медицинской экспертизы и реабилитации» и в учебном процессе в УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Область применения: мониторинг функционального состояния центральной нервной системы человека при допуске его к выполнению должностных обязанностей, проведение профессионального отбора.

SUMMARY

EL-GREID Mohammad El-Hade Salem

Method and software system for monitoring biomedical parameters of the human psychophysiological state

Keywords: medical and biological parameters of the person, operators of hazardous industry, psychophysiological state, risk, reducing the reliability of the operator, software package.

Purpose: to study the regularity of changing the medical and biological parameters of psychophysiological state of person and to develop software for the assessment of the functional state of the human being central nervous system, as well as for forecasting the reducing of the reliability of the operators of hazardous industries.

Research methods and equipment: expert assessment, pairwise comparisons, monitoring, software development, measurement and analysis of biomedical parameters.

Results and novelty: The results obtained and their novelty : The block diagram and algorithms functioning software system providing a joint analysis of biomedical parameters psychophysiological characteristics of the person (up to 14) and the dynamics of their changing , bringing them to a point scoring system based on the weighting coefficients are designed.

The activity type procedure to determine of the psychological steadiness to stress based on measuring of the time of reading and processing 5000 optical stimuli before measuring the biomedical parameters of psychophysiological human state (5 – 7 min) and then measuring (5,5 – 8 min) and evaluation changes in the parameters of attention (processing from 250 – 310 up to 225 – 280 stimuli/min , the accuracy from 0,89 – 1 to 0,6 – 0,9)is first proposed.

The mathematical model of the functional dependence of the risk of reducing functional reliability of a person from the probability of changing his psychophysiological state characterized as a vector in a multidimensional Euclidean space of regulated biomedical parameters are designed.

The degree of usage: the proposed materials are implemented in the production activity of plant «Kreon», work in SI «National Science and Practice Centre of Medical Assessment and Rehabilitation» and in the educational process of Belorussian State University of Informatics and Radioelectronics.

Application: monitoring of the functional state of the central nervous system of the operators of hazardous industry while admitting them to perform their official duties.

Научное издание

ЕЛ-ГРЕИД Мохаммад Ел-Хаде Салем

**МЕТОД И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА
МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского
назначения

Подписано в печать 12.03.2014.	Формат 60×84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,5.	Тираж 60 экз.	Заказ 100.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009
220013, Минск, П. Бровки, 6