

Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 159.91:796.071

БОБРОВА  
Наталья Леонидовна

**ДИАГНОСТИКА СЕНСОМОТОРНЫХ РЕАКЦИЙ  
ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ  
ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ**

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского  
назначения

Минск 2015

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

Научный руководитель **Герман Олег Витольдович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий автоматизированных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: **Липницкий Станислав Феликсович**, доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией государственного научного учреждения «Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси»

**Давыдов Максим Викторович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электронной техники и технологии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Оппонирующая организация учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Защита состоится 23 апреля 2015 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, e-mail: dissovet@bsuir.by, тел. 293-89-89.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан « 20 » марта 2015 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций,  
кандидат технических наук, доцент

Борискевич А.А.

## **КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

В современных условиях социально-экономического и технического развития общества рациональное использование человеческих ресурсов является важным фактором развития различных видов экономической и профессиональной деятельности. Также важное значение имеют проблемы сохранения общего и профессионального здоровья работающих. Поэтому процессы профессионального становления и управления профессиональной деятельностью персонала требуют специальных знаний и умений в области выявления психофизиологических механизмов оптимального обеспечения трудовых функций. Это делает возможным своевременно определить степень профессиональной пригодности человека к конкретному виду деятельности посредством изучения уровня соответствия физических качеств и психофизиологических особенностей индивида к профессиональным требованиям.

Ориентация на профилактику заболеваний и дополнение клинического статуса оценкой донозологических (пограничные, предшествующие болезни) состояний, выявление функциональных градаций здоровья, влияющих на профессиональную надежность и эффективность деятельности лиц опасных профессий, определяют стремительное развитие исследований по разработке методологии количественной оценки здоровья.

В диссертационной работе приведены результаты исследования и разработки методологии и программно-аппаратной базы для проведения диагностики сенсомоторных реакций организма человека при интенсивных физических нагрузках, что позволит оценить не только готовность к выполнению экстремальной нагрузки, но также адекватность и достаточность рекреационных мероприятий.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с научными программами, темами**

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» № 381-О от 30.12.2010 г. Работа выполнялась в рамках обеспечения задач Государственной программы «Фармообеспечение лиц экстремальных видов деятельности» № госрегистрации 01201279498 на 2011-2014 гг. и деятельности Государственного научного учреждения «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси» в рамках научно-исследовательской работы «Разработка методики экспресс-оценки характеристик психофизиологического состояния, значимых для оп-

тимального выполнения спортсменами и военнослужащими функциональных задач деятельности». Диссертационная работа соответствует приоритетным направлениям научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2011–2015 гг., утвержденным Указом Президента Республики Беларусь № 378 от 22.07.2010 г.

Результаты диссертации соответствуют пунктам 3.1, 3.2, 3.3 Паспорта специальности 05.11.17 (технические науки) – «Методы и средства контроля (включая контроль качества) медико-биологических параметров, медицинской техники, медицинских изделий, программного обеспечения для реализации современных медицинских технологий профилактики заболеваний и лечения заболеваний человека», «Приборы, аппараты, инструментальные средства, медицинские изделия, программное обеспечение для хирургии, медицинской реабилитации (включая физиотерапию), кардиологии, радиологии и других областях медицины, а также биомедицинского эксперимента в различных областях исследований», «Приборы, аппараты, инструментальные средства, программное обеспечение для определения лечебного и поражающего влияния различных физических факторов».

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационной работы является исследование диагностики сенсомоторных реакций организма человека на интенсивные физические нагрузки, разработка методов обработки результатов тестирования и программно-аппаратного комплекса диагностики с использованием системы поддержки принятия решений с последующим прогнозированием течения восстановительного периода.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие основные задачи:

1 Анализ и выбор методов диагностики психофизиологического состояния организма человека путем тестирования его сенсомоторных реакций.

2 Обоснование методики тестирования человека до и после интенсивных физических нагрузок, основанной на предъявлении оптических тестирующих сигналов (стимулов).

3 Разработка математической модели системы поддержки принятия решений и алгоритмов оценки текущего психофизиологического состояния организма человека, прогноза характеристик, значимых для оптимального выполнения различных видов деятельности.

4 Разработка структурной схемы, программного обеспечения и программно-аппаратного комплекса исследования психофизиологического состояния человека на их основе.

5 Провести анализ результатов экспериментальных исследований сенсомоторных реакций организма различных групп обследуемых и разработать рекомендации по их физиологическому состоянию и адаптации к профессиональной деятельности.

### **Научная новизна**

Предложена математическая модель показателей психофизиологического состояния организма человека на основе нечеткой классификации и минимизации диагностирующих признаков для выявления его особенностей в текущий момент времени и возможной коррекции путем принятия необходимого решения.

Предложен многопараметрический подход к диагностике психофизического состояния организма человека, который заключается в регистрации комплекса показателей нескольких ведущих функциональных систем организма, на основании полученных данных формируется исходная матрица наблюдаемых в организме изменений при различных состояниях, что позволяет производить оценку уровня функциональных резервов и профессиональной работоспособности.

### **Положения, выносимые на защиту**

1 Теоретически и экспериментально обоснована система поддержки принятия решений по оценке психофизиологического состояния человека, основанная на многомерном нечетком классификаторе древовидной структуры, что позволило сократить время принятия решения о состоянии организма человека.

2 Метод обработки нечеткой (неполной) медико-биологической информации, основанный на использовании нечеткого многомерного классификатора, что позволило автоматизировать анализ результатов тестирования.

3 Система диагностики сенсомоторных реакций организма человека при интенсивных физических нагрузках, основанная на формализации результатов тестирования с использованием вероятностных методов, что позволяет снизить количество возможных ошибок до 5 раз в заключении о состоянии человека путем управляемого введения дополнительных тестируемых факторов.

4 Алгоритмы функционирования и программная реализация системы оценки сенсомоторных реакций организма человека, использующей основные методики тестирования, что позволяет оценить состояние человека в динамике для последующей психологической или фармакологической коррекции и сократить время принятия решения до 1 минуты (за счет исключения

времени, затрачиваемого врачом-психиатром для соответствующего анализа результатов, до 20 раз).

### **Личный вклад соискателя ученой степени**

Содержание диссертации отражает личный вклад автора, который заключается в научном и экспериментальном обосновании возможности использования комплекса методик для эффективной оценки функционального состояния центральной нервной системы человека. Автором предложена математическая модель нечеткого многомерного распознавателя, обеспечившая базис для разработки системы поддержки принятия решений. Приведены алгоритмы, структурные схемы построения и протокол проведения обследований на программно-аппаратном комплексе, а также описана разработка устройства, моделирующего работу компьютерной мыши. Основные научные и практические результаты работы, а также положения, выносимые на защиту, получены лично автором. Под руководством научного руководителя определены направления исследования, математическая концепция, сформулированы цель и задачи, проведен анализ полученных результатов.

### **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих национальных и международных научно-технических конгрессах и конференциях: XIV Международная научно-техническая конференция «Современные средства связи», Минск, 2009; Международная научно-техническая конференция «Информационные технологии и системы», Минск, 2011; IV Международная научно-практическая конференция «Инновационные процессы и корпоративное управление», Минск, 2012; Международная научная конференция «Информационные технологии и системы», Минск, 2013; XI Белорусско-российская научно-техническая конференция «Технические средства защиты информации», Минск, 2013.

### **Опубликование результатов диссертации**

Основные результаты диссертации опубликованы в 14 научных работах. Из них 1 монография в соавторстве, автору принадлежит 7,2 авторских листа, 5 статей в соавторстве в научных рецензируемых журналах в соответствии с пунктом 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, 4 – в сборниках статей по материалам конференций; 4 – в тезисах докладов научно-технических конференций,

получено авторское свидетельство Республики Беларусь о регистрации компьютерной программы.

Автором получено 4 акта внедрения результатов диссертации (3 – в организациях: войсковая часть 1250 Пограничных войск Республики Беларусь, Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр психического здоровья» (РНПЦ психического здоровья), учреждение здравоохранения «Минская областная клиническая больница», 1 – в учебный процесс учреждения образования «Минский институт управления»).

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и четырех приложений. Общий объем диссертации составляет 211 страница, из них 145 страниц основного текста, 48 рисунков на 41 странице, 13 таблиц на 13 страницах, библиографический список из 143 наименований на 12 страницах, список собственных публикаций автора из 16 наименований на 2 страницах, 5 приложений на 51 странице.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Во **введении** и в общей характеристике работы определены область и основные направления исследования, обоснованы актуальность темы исследования, цели и задачи диссертационной работы, показана необходимость проведения диагностики сенсомоторных реакций организма человека при интенсивных физических нагрузках, что позволит оценить не только готовность к выполнению экстремальной нагрузки, но также адекватность и достаточность рекреационных мероприятий, что в свою очередь будет способствовать профилактике развития психосоматической патологии.

В **первой главе** представлен анализ информации, различных данных технической литературы и нормативных документов. Показано, что описанные методы диагностических исследований позволяют в комплексе проводить функциональную диагностику основных систем организма. Однако нахождение комплексного обследования человек вынужден тратить много времени, что не всегда возможно в условиях тренировочной, производственной и соревновательной деятельности. Исходя из проведенного анализа методов и средств функциональной диагностики состояния организма человека, представляются актуальными разработка и практическое использование универсальных диагностических средств. Это связано с решением двух важнейших проблем - повышением объективности и производительности исследований. В значительной мере их решение может быть осуществлено путем

минимизации и оптимизации перечня применяемых диагностических методов, а также за счет компьютеризации способов представления информации, математико-статистической обработки результатов исследований и выдачи заключения в простом, удобном виде.

Показана перспективность создания нового программно-аппаратного комплекса, позволяющего проводить обследование психофизиологического состояния организма человека в реальном времени на спортивных базах, сборах, соревнованиях, в процессе трудовой деятельности с минимальными временными затратами. Важной задачей является моделирование прогноза уровня соревновательной и производственной готовности человека. При этом результаты должны быть представлены в понятной и удобной унифицированной форме и не должны содержать жестких формулировок.

Во второй главе приведено обоснование использования комплекса диагностических методик для оценки психофизиологического состояния организма человека на основе критериев. В качестве основных критериев, влияющих на выбор методики тестирования, предложены следующие: неинвазивность, портативность и возможность автономной работы, время и место обследования, возможность проведения обследования тренером, инструктором или спортивным врачом. Проведен анализ и обоснован отбор диагностических методик для программно-аппаратного комплекса исследования психофизиологического состояния человека. Для оценки функционального состояния центральной нервной системы были подобраны методики:

- простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР);
- реакция на движущийся объект (СЗМР);
- реакция различения;
- теппинг-тест.

На основании имеющегося экспериментального материала для аппаратной реализации метода получены следующие граничные значения критериев функционального состояния ЦНС для испытуемых (таблица 1):

Таблица 1. - Граничные значения критериев функционального состояния центральной нервной системы

Состояние системы	Функциональный уровень системы	Уровень реакции	Уровень функциональных возможностей
Высокий уровень	4,9–5,5	2,1–2,8	3,9–4,8
Средний уровень	4,5–4,8	1,5–2,0	3,1–3,8
Низкий уровень	4,2–4,4	1,0–1,4	2,7–3,0

Проведено обоснование и разработана математическая модель системы поддержки принятия решений по оценке психофизиологического состояния



организма человека, основанная на нечетких классифицирующих признаках, что позволило разработать алгоритм формирования заключения по результатам проведенного тестирования. Так как система поддержки принятия решений строится на основе распознавателя, то необходима оценка адекватности распознавателя, которая может быть реализована на основе техники статистической проверки гипотез.

Пусть имеется некоторое обучающее множество значений критериев оценки состояния, полученных в результате диагностики психофизиологических показателей, на основе которого построен данный распознаватель. Обучающее множество представлено набором векторов  $V_i = \langle x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in} \rangle$ ,  $i=1, N$ . Для каждого вектора известна нечеткая мера  $f_i$  принадлежности его к заданному классу  $K$   $1 \geq f_i \geq 0$ . В результате обучения распознаватель относит  $V_i$  к классу  $K$  с оценкой  $g_i$ . Таким образом, есть два ряда чисел  $\langle f, g \rangle$  и проблема состоит в том, чтобы оценить их статистическую адекватность.

Чтобы получить нечеткие заключения о принадлежности, исходные векторы модифицируются следующим образом. Пусть, например, в обучающем множестве имеется вектор  $V_i = \langle 0; 2; 3,5 \rangle$  с мерой принадлежности к множеству  $K$ , равной  $f_i = 0,8$ . Соответственно мера принадлежности этого вектора к множеству не- $K$  равна 0,2. Вместо вектора  $V_i = \langle 0; 2; 3,5 \rangle$  вводятся два четких вектора – один:  $V_{i1} = \langle 0; 2; 3,5; 0,8 \rangle$  и второй  $V_{i2} = \langle 0; 2; 3,5; 0,2 \rangle$ . Вектор  $V_{i1}$  строго принадлежит  $K$ , вектор  $V_{i2}$  строго не принадлежит  $K$ . Таким образом, достигается переход к четкому варианту постановки задачи распознавания. По модифицированному обучающему множеству строится классифицирующее дерево. Теперь на вход распознавателя последовательно подаем модифицированные векторы  $V_i = \langle 0; 2; 3,5; 0 \rangle$ ,  $V_i = \langle 0; 2; 3,5; 0,05 \rangle$ ,  $V_i = \langle 0; 2; 3,5; 0,1 \rangle, \dots, V_i = \langle 0; 2; 3,5; 1,0 \rangle$ . Видим, что последняя координата в этих векторах последовательно изменяется на достаточно малую величину  $d > 0$ , начиная от наименьшего начального значения «0». Необходимо зафиксировать момент, когда четкий распознаватель первый раз «перебросит» объект  $V_i$  в противоположный класс. Значение добавленной координаты в этом векторе  $V_i$  и даст нам приближенную оценку  $g_i$ . Очевидно, что чем меньше величина шага  $d$ , тем точнее оценка  $g_i$ , но нам не известен вид аналитической функции распознавания, реализуемой классифицирующим деревом. Поэтому применить критерий  $\chi^2$  непосредственно нельзя.

То есть каждому узлу классифицирующего дерева поставлена в соответствие линейная дискриминаторная функция  $h = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n$ . Каждый узел соответствует некоторому известному заранее набору векторов. Применяем данный критерий к каждому узлу дерева в отдельности. Если хотя бы для одного узла нарушается условие адекватности, то все дерево считается неадекватным и следует пересмотреть исходные данные на

предмет их корректировки. Итак, с помощью описанной техники решается проблема проверки адекватности нечеткого многомерного распознавателя.

Представленная оценка адекватности нечеткого многомерного распознавателя обладает следующими достоинствами:

1) векторы в обучающем множестве могут иметь сколь угодно большую размерность, причем разряды векторов могут коррелировать друг с другом, что не влияет на качество распознавания;

2) закон распределения значений координат распознаваемых векторов не играет роли.

Указанные факторы существенны, например, при реализации процесса диагностики сложных объектов, в частности, в медицине, психодиагностике, где количество диагностируемых параметров может достигать нескольких десятков. Экспериментальные исследования с классифицирующим деревом показали, что его размерность в среднем не превосходит корня квадратного от числа векторов в обучающем множестве и разработанный метод может быть предложен, т. к. дает достаточно эффективный как по точности, так и по требуемым размерам памяти механизм распознавания.

В **третьей главе** определены функциональные требования к программному обеспечению программно-аппаратного комплекса: проведение тестирования, сохранение информации с результатами тестов в базу данных, предусмотрен ввод данных об испытуемом, которые сохраняются в базу данных, по завершении тестирования должны выводиться результаты, просмотр результатов по всем заявленным методикам и детальное рассмотрение каждого результата. Спроектирована и реализована база данных на основе предложенной информационной модели данных, состоящей из 14 таблиц. Разработаны алгоритмы работы программно-аппаратного комплекса диагностики психофизиологического состояния человека и их программная реализация. Алгоритм теста «Простая зрительно-моторная реакция» представлен на рисунке 1.

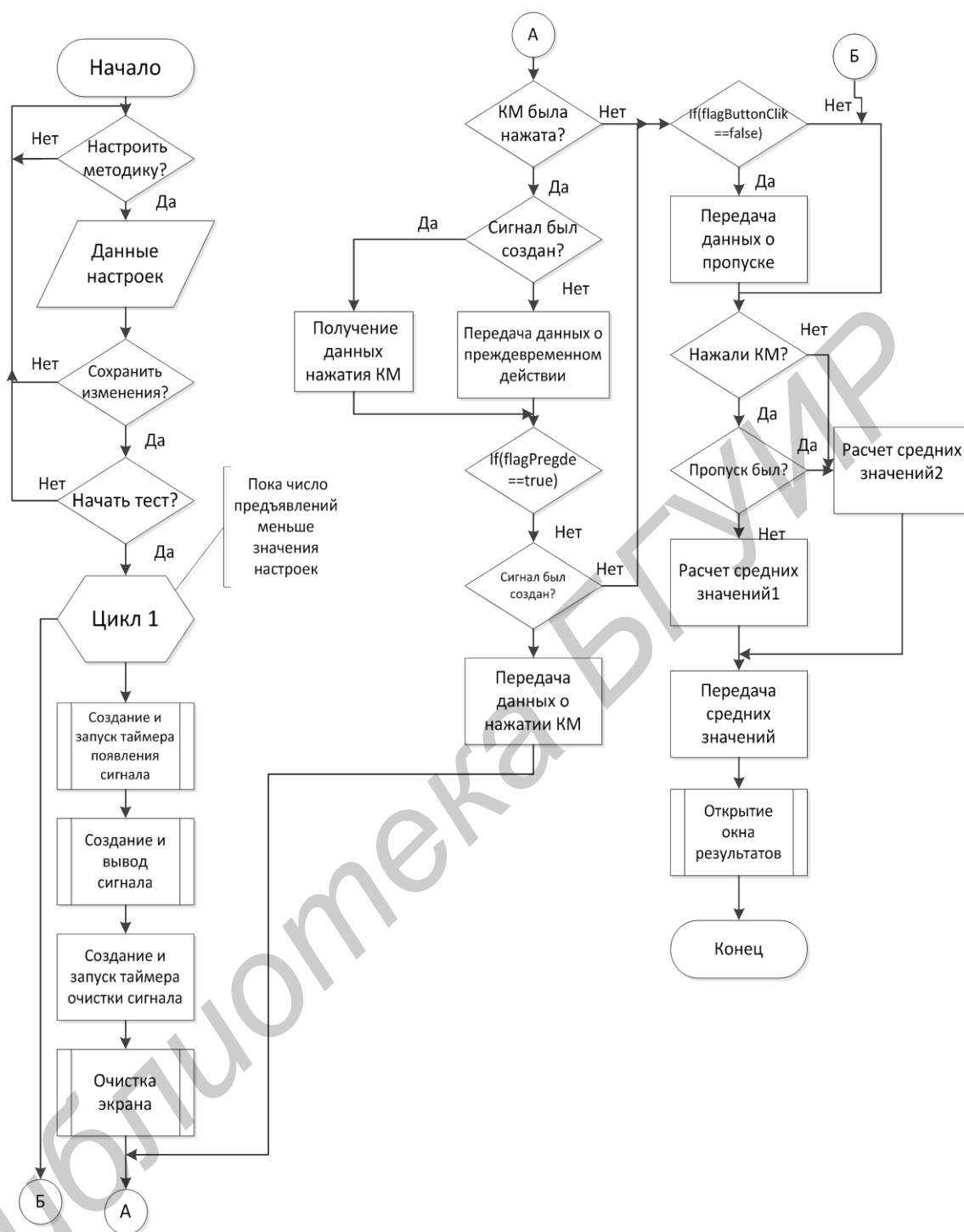
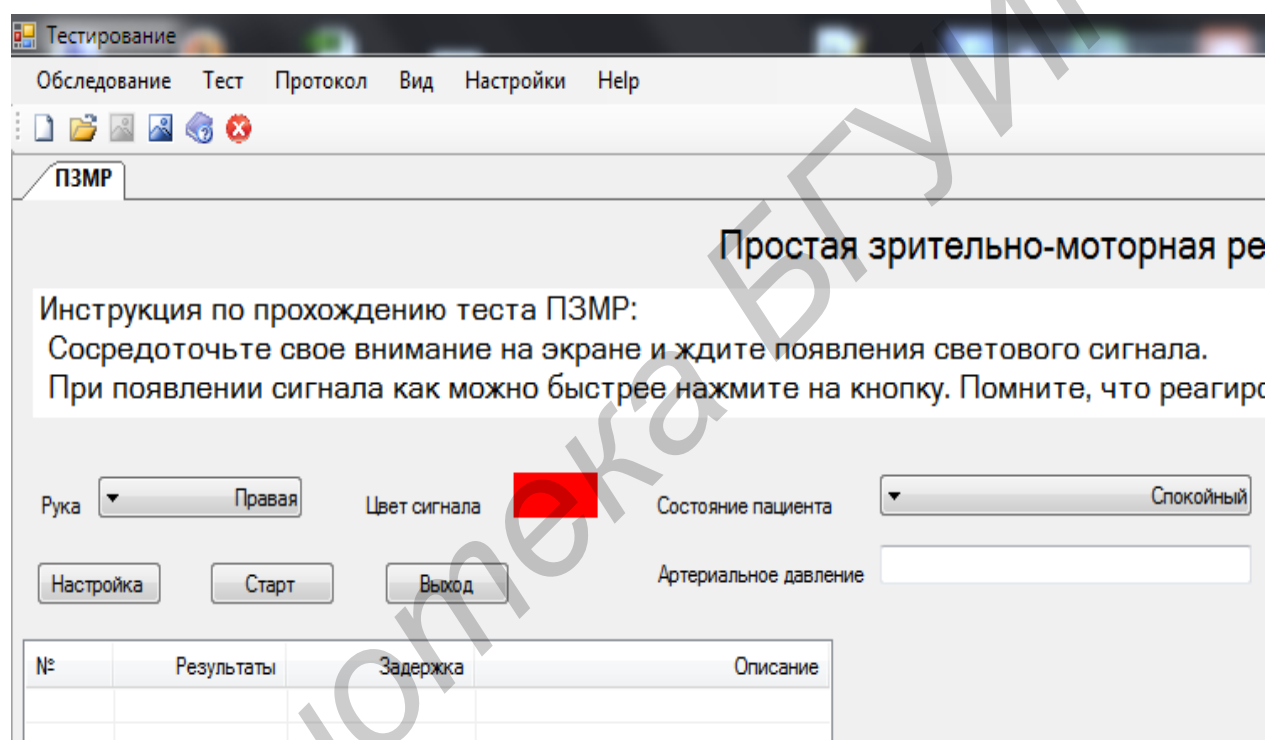


Рисунок 1. – Алгоритм теста простая зрительно-моторная реакция

Описана разработка устройства, моделирующего работу компьютерной мыши (без оптического сенсора) для перемещения курсора. Разрабатываемое устройство фиксирует точное время (с погрешностью не более 1 мс), прошедшее с момента появления стимула до момента нажатия. Основу устройства составляет 8-битный микроконтроллер (МК) ATmega32u4, производимый компанией Atmel. Данный контроллер предоставляет доступ к 135 ин-

струкциям, каждая из которых может быть выполнена за один такт; 32 8-битных регистра; максимальная тактовая частота микроконтроллера составляет 16 МГц, доступны 32 килобайта flash-памяти, 2.5 килобайта SRAM и 1 килобайт внутренней EEPROM. Количество перезаписи для flash/EEPROM составляет 10 000/100 000 циклов.

Разработано программное обеспечение, обеспечивающее проведение обследований включенными в комплекс методами (рисунок 2), формирование заключения на основании разработанной системы поддержки принятия решений и хранение информации в базе данных.



**Рисунок 2. – Окно обследования**

На рисунке 3 представлено окно результатов методики «Теппинг-тест». Структурная схема разработанного программного обеспечения представлена на рисунке 4.

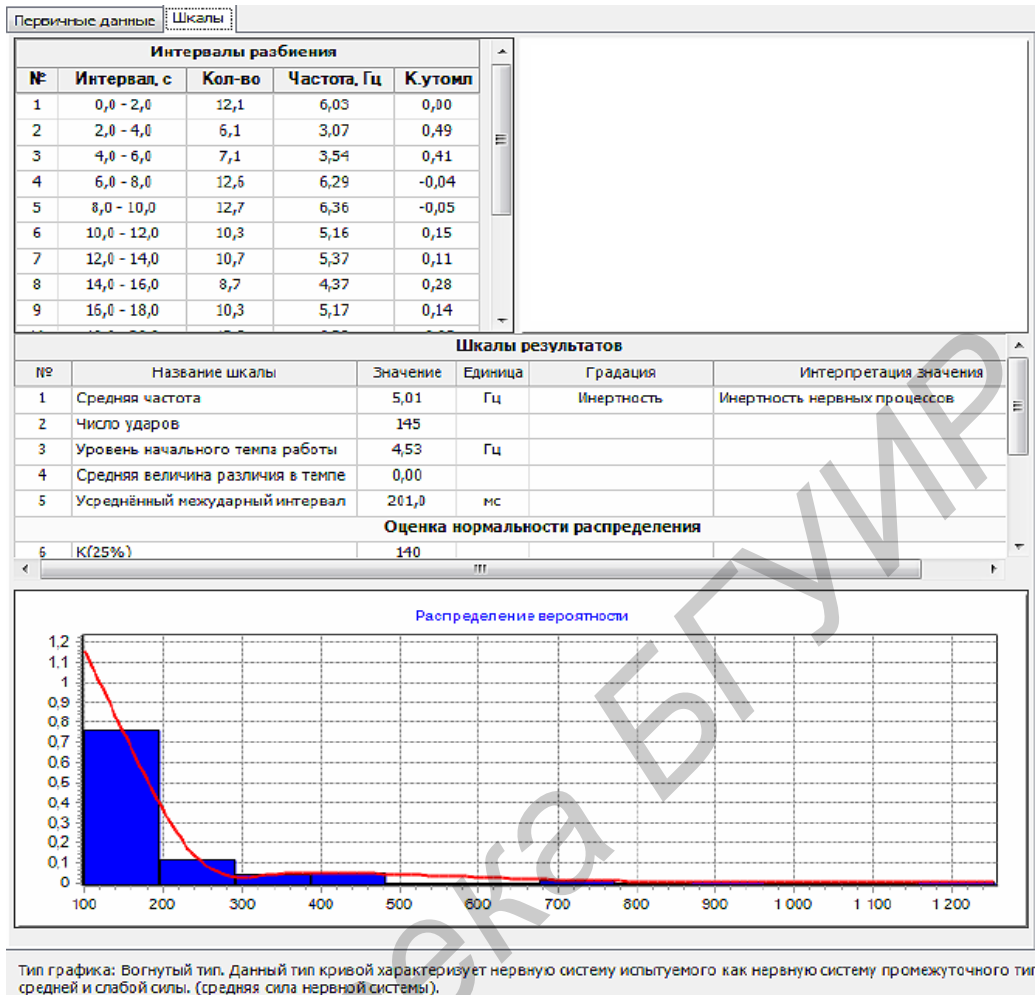


Рисунок 3. – Окно результатов методики «Теппинг-тест». Шкалы

В четвертой главе представлены результаты апробации разработанного программно-аппаратного комплекса, использованного при обследовании групп лиц, занимающихся интенсивными физическими нагрузками (спорт-смены, военнослужащие), и профессий, требующих повышенного внимания (врачи, работники сферы телекоммуникаций). Установлено, что время простой сенсомоторной реакции у врачей-хирургов по периодам достоверно увеличилось, уменьшение времени принятия решения

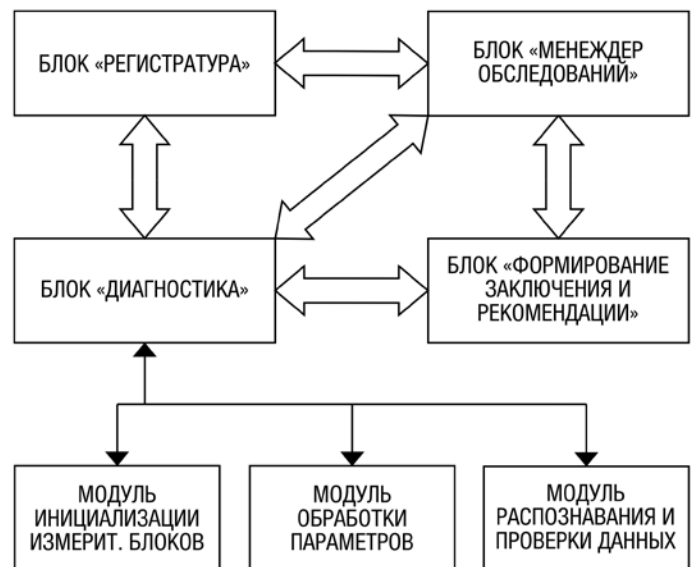


Рисунок 4. – Структурная схема организации программного обеспечения

привело к тому, что время сложной зрительно-моторной реакции также уменьшилось. Показатели функционального состояния центральной нервной системы оставались практически на прежнем уровне. Определено, что у врачей-терапевтов в динамике адаптации к профессиональной деятельности время простой зрительно-моторной реакции уменьшилось, уменьшилось и время сложной зрительно-моторной реакции и незначительно уменьшилось время принятия. Данные изменения несколько отличаются от изменений у врачей-хирургов, но они также свидетельствуют о достаточно благоприятной динамике функционального состояния центральной нервной системы. Установлено, что наблюдение за показателями простой и сложной сенсомоторных реакций у врачей свидетельствует об информативности указанных показателей психофизиологического статуса для оценки адаптационного потенциала и психофункциональных возможностей врача с целью своевременного проведения коррекции неблагоприятных психических состояний, обусловленных чрезмерной нагрузкой. Выявленные особенности психофизиологических показателей в зависимости от периода интенсивных нагрузок позволяют оптимизировать производственный процесс и решать вопрос о готовности к трудовой деятельности.

Результаты психофизиологического тестирования спортсменов (спортсмены-футболисты (18 человек, 7 кандидатов в мастера спорта, 11 человек имели 1-й взрослый разряд) и высококвалифицированные спортсмены, члены национальной команды по плаванию (16 мастеров спорта) до начала тренировок, сразу после их окончания и спустя 40 минут отдыха представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты диагностики сенсомоторных реакций пловцов

Показатель, ед. измерения		До нагрузки	После нагрузки	Р	После 40 мин. отдыха	Р
ПЗМР	Время реакции, мс	<b>206,72±2,73*</b>	<b>199,38±2,12*</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>199,98±2,40*</b>	>0,05
	Функциональный уровень системы	4,53±0,14	4,59±0,17	>0,05	<b>4,93±0,05*</b>	>0,05
	Уровень реакции	1,99±0,07	4,10±1,98	>0,05	<b>2,99±0,20*</b>	>0,05
	Уровень функциональных возможностей	3,58±0,12	3,72±0,15	>0,05	<b>4,01±0,07*</b>	>0,05
СЗМР	Время реакции, мс	298,98±4,98	<b>273,60±4,46*</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>278,10±3,38*</b>	<b>&lt;0,05</b>
	Кол-во ошибок	2,42±0,24	3,22±0,85	>0,05	2,78±0,25	>0,05
Время принятия решений, мс		82,42±4,45	<b>74,20±3,72*</b>	<b>&lt;0,05</b>	78,12±3,35	>0,05

Установлено что у пловцов отмечается хорошая тенденция влияния физических нагрузок на показатели психофизиологического состояния, после нагрузки уменьшилось время сложной зрительно моторной реакции и время принятия решения. Данные изменения свидетельствуют об активирующем влиянии физической активности на время аналитической деятельности выбора решения на исполнение, что может косвенно свидетельствовать об адекватной реакции организма на нагрузку. Результаты тестирования и анализ влияния физической нагрузки на психофизиологический статус показал, что физические нагрузки современного спорта снижают точность движений. После отдыха устойчивость внимания повысилась до исходного уровня, о чем свидетельствует снижение числа ошибок опережения. Таким образом, диагностика сенсомоторных реакций позволила своевременно определить неблагоприятные психофизиологические состояния у необходимой категории лиц и внести своевременную как психологическую, так и фармакологическую коррекцию с целью повышения эффективности выполнения поставленной задачи. Определены различия между циклическими (плавание) и игровыми (футбол) видами спорта.

Показано, что группы видов спорта кардинально различаются по характеру энергообеспечения и функциональным изменениям в процессе тренировочной и соревновательной деятельности. В связи с этим выявленные статистически значимые различия психомоторных показателей подтверждают адекватность и информативность изучаемых показателей. Установлено, что, выявленные статистически значимые различия обусловлены тем, что изучаемые показатели сенсомоторного реагирования и функционального состояния центральной нервной системы отражают степень адаптации к доминирующему типу двигательной активности.

Результаты тестирования спортсменов и анализ влияния физической нагрузки на психофизиологический статус показали, что физические нагрузки современного спорта снижают точность движений. После отдыха устойчивость внимания повысилась до исходного уровня, о чем свидетельствует снижение числа ошибок опережения. Таким образом, диагностика сенсомоторных реакций позволит своевременно определять неблагоприятные психофизиологические состояния у необходимой категории лиц и вносить своевременную как психологическую, так и фармакологическую коррекцию с целью повышения эффективности выполнения поставленной задачи.

Проведена апробация программно-аппаратного комплекса для оценки категорий лиц экстремальных профессий (военнослужащие-контрактники) нуждающихся в ежедневных физических нагрузках, и проведена классификация тестируемых. В динамике обследовано несколько категорий лиц экстремальных профессий (военнослужащие) в возрасте 20–45 лет, всего 284 че-

ловеко-обследований с целью разработки оценочных шкал, результаты которых представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Психофизиологические характеристики лиц экстремальных профессий (военнослужащие)

Балл	Время реакции до тренировки, мс		Кол-во ошибок	Время центральной задержки, мс	Время реакции после тренировки, мс	
	ПЗМР	СЗМР			ПЗМР	СЗМР
1	259,89± 7,25	375,87± 2,99	> 5	142,02± 2,47	285,51±6,03	387,87± 6,12
2	235,61–259,88	335,41–375,86	4	111,19–144,01	260,18–285,50	354,81–380,04
3	202,41–235,60	280,08–335,40	2	66,31–111,18	225,54–260,17	291,14–354,40
4	178,13–202,40	239,62–280,07	1	33,48–66,30	200,21–225,53	254,47–291,07
5	178,12±6,33	239,61±5,21	0	33,47 ±1,54	200,20±5,78	248,99±5,77

Установлено, что сразу по окончании тренировки военнослужащих отмечается увеличение числа ошибок опережения в ходе проведения сложной зрительно-моторной реакции с  $0,58 \pm 0,36$  до  $3,48 \pm 0,15$  и, как следствие, снижение точности реакции: коэффициент точности Уиппла, с помощью которого выявляется соотношение ошибок и правильных решений достоверно увеличивается с  $0,08 \pm 0,003$  до  $0,18 \pm 0,02$  (методика вычисления коэффициента предусматривает, что чем меньше данный показатель, тем выше степень точности выполнения заданий). Выявленные изменения указывают на снижение устойчивости внимания, которое в физиологических условиях обусловлено силой и уравновешенностью нервных процессов. Аналогичные изменения устойчивости внимания вследствие утомления после физической нагрузки отмечаются при тестировании простой зрительно-моторной реакции. Через 30 минут после окончания тренировки сниженные показатели устойчивости внимания возвращались к исходным значениям, о чем свидетельствует снижение числа ошибок опережения.

Выявленное снижение скорости протекания нервных и психических процессов в центральной нервной системе на фоне практически неизменного показателя длительности простой сенсомоторной реакции приводит к достоверному увеличению времени сложной зрительно-моторной реакции. Данные изменения можно охарактеризовать как охранное торможение, развивающееся сразу по окончании действия длительного возбуждающего фактора, к которым относится тренировочная нагрузка, и что может свидетель-



ствовать о незавершенности процессов восстановления после физических нагрузок. Показано, что раннее выявление неблагоприятных психофизиологических состояний с помощью программно-аппаратного комплекса у лиц экстремальных профессий своевременно как для психологической, так и фармакологической коррекции, направленной на повышение эффективности выполнения поставленных задач в условиях агрессивной профессиональной среды.

В приложении представлены акты об использовании и внедрении результатов диссертационной работы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Предложен и обоснован многопараметрический подход к диагностике сенсомоторных реакций организма человека, который заключается в регистрации комплекса показателей, на основании полученных данных формируется исходная матрица наблюдаемых в организме изменений при различных состояниях, что позволяет производить оценку уровня функциональных резервов и профессиональной работоспособности [1, 4, 11].

2. Разработаны математические модели на основе многомерного нечеткого классифицирующего дерева для оценки психофизиологического состояния человеческого организма и выявления его особенностей в текущий момент времени и возможной коррекции путем принятия необходимого решения [1, 2, 3, 6, 7, 8].

3. Предложен и обоснован выбор следующих методик тестирования: простая зрительно-моторная реакция, реакция на движущийся объект, сложная зрительно-моторная реакция и теппинг-тест исходя из основных критериев, влияющих на выбор методики тестирования, таких, как неинвазивность, портативность и возможность автономной работы, время и место обследования, возможность проведения обследования тренером, инструктором или спортивным врачом, а также представление результатов в доступном виде для специалиста различной квалификации [1, 4].

4. Разработана математическая модель системы поддержки принятия решений по оценке психофизиологического состояния организма человека основанная на теории нечетких множеств и классификатора древовидной структуры и разработаны алгоритмы функционирования и программно-аппаратный комплекс диагностики сенсомоторных реакций организма человека при интенсивных физических нагрузках и прогнозирования соревновательной готовности на базе системы поддержки принятия решений реализующий методики расчета показателей (функциональный уровень системы,

устойчивость реакции, уровень функциональных возможностей, коэффициент точности Уиппла, критерии Т.Д. Лоскутовой), что позволяет оценить состояние человека в динамике для последующей психологической или фармакологической коррекции [1, 2, 4, 5, 8, 12, 13, 14, 15].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов диссертации**

1 Выявленные закономерности изменения простой зрительно-моторной реакции и показателей функциональных возможностей нервной системы позволяют использовать их при оценке состоятельности адаптационных процессов лиц, испытывающих интенсивные физические нагрузки, что может быть использовано для индивидуализации физических нагрузок и внесения своевременных коррективов в план подготовки.

2 Предложенный программно-аппаратный комплекс диагностики сенсомоторных реакций организма человека рекомендуется внедрить в практику на предприятиях для создания моделей профессионального отбора и аттестации специалистов различных профессий имеющих повышенные требования к физическим и стрессовым нагрузкам.

3 Исследование сенсомоторной реакции врачей и анализ полученных результатов позволяет проводить диагностику индивидуального стиля деятельности и профессиональной утомляемости и повысить качество медицинского обслуживания (акты внедрения от 19.11.2014. в Республике Беларусь). Психофизиологическая диагностика профессионально значимых особенностей организма (свойств нервной системы и опорно-двигательного аппарата), а также изучение тренировочных нагрузок лиц экстремальных профессий (военнослужащие) (получен акт внедрения от 23.04.2014 в Республике Беларусь). Диагностика профессиональных возможностей работников атомной станции и соответствия особенностей личности требованиям профессии (получен акт внедрения от 22.04.2014 в Республике Беларусь).

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### Монографии

1. Боброва, Н.Л. Психофизиологические показатели организма человека в процессе физического, спортивного совершенствования и деятельности в экстремальных условиях / Н.Л. Боброва; О.В. Герман; под общ. ред. В.И. Курмашева. – Минск: Бестпринт, 2015. – 124 с.

### Статьи в рецензируемых научных журналах

2. Герман, О.В. О реализации распознавателя с минимальным числом входов / О.В. Герман, Н.Л. Боброва, А.Р. Самко // Доклады БГУИР. – 2011. – № 4(58). – С. 86–92.

3. Герман, О.В. Многомерный нечеткий распознаватель на основе четкого распознавателя и его оценка / О.В. Герман, Н.Л. Боброва // Доклады БГУИР. – 2013. – № 6(76). – С. 67–71.

4. Боброва, Н.Л. Программно-аппаратный комплекс экспресс-диагностики психофизиологических показателей организма человека / Н.Л. Боброва // Доклады БГУИР. – 2015. – № 1(87). – С. 61–65.

5. Боброва, Н.Л. Обоснование использования комплекса диагностических методик для оценки психофизиологического состояния человека / Н.Л. Боброва // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2015. – № 61. – С. 49–53.

6. Самко, А.Р. Построение многомерного нечеткого распознавателя на обучающем множестве / А.Р. Самко, Н.Л. Боброва, О.В. Герман // Доклады БГУИР. – 2012. – № 2(64). – С. 60–65.

### Статьи в сборниках и материалах конференций

7. Боброва, Н.Л. Система оценки повреждений магистральных трубопроводов с использованием теории нечетких множеств / Н.Л. Боброва // Сборник материалов VII Международной научно-технической конференции, Полоцк, 2011 г. / редкол.: Л.М. Спириденко (гл. ред.) [и др.]. – Полоцк, 2011. – С. 20–22.

8. Боброва, Н.Л. Оценка адекватности нечеткого многомерного распознавателя на основе классифицирующего дерева / Н.Л. Боброва, О.В. Герман // Информационные технологии и системы: материалы

Междунар. науч. конф., Минск, 23 октября 2013 г. / редкол.: Л.Ю. Шилин (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2013. – С. 242–244.

9. Боброва, Н.Л. Внедрение инновационных технологий в учебный процесс по средствам создания экспертных систем с использованием оболочки Exsys Corvid / Н.Л. Боброва, В.Л. Николаенко // Инновационные процессы и корпоративное управление: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 13–30 марта 2012 г. / Бел. гос. ун-т; редкол.: В.В. Апанасович (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2012. – С. 36–39.

10. Боброва, Н.Л. Инновационные образовательные технологии в образовании – средства разработки и тестирования моделирующих систем на базе UML / Н.Л. Боброва, А.А. Косак // Инновационные процессы и корпоративное управление: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 13–30 марта 2012 г. / Бел. гос. ун-т; редкол.: В.В. Апанасович (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2012. – С. 39–41.

11. Боброва, Н.Л. Выбор методов построения функций принадлежности для задач принятия решений при управлении инновационными процессами в организации / Н.Л. Боброва, Е.Н. Николаенко // Инновационные процессы и корпоративное управление: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 13–30 марта 2012 г. / Бел. гос. ун-т; редкол.: В.В. Апанасович (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2012. – С. 41–45.

### **Тезисы докладов на научных конференциях**

12. Боброва, Н.Л. Разработка программного модуля для взаимодействия внешнего устройства с компьютером / Н.Л. Боброва // Современные средства связи: материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 29 сент. – 1 окт. 2009 г. / ВГКС; редкол.: М.А. Баркун [и др.]. – Минск, 2009. – С. 155.

13. Боброва, Н.Л. Криптографическая защита базы данных. Экспресс-диагностика психофизических показателей / Н.Л. Боброва // Технические средства защиты информации: материалы XI Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 5–6 июня 2013 г. / БГУИР; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2013. – С. 31–32.

14. Боброва, Н.Л. Распознаватель многомерных нечетких объектов на основе дерева / Н.Л. Боброва, О.В. Герман, А.Р. Самко // Информационные технологии и системы: материалы Междунар. науч. конф., Минск, 26 окт. 2011 г. / БГУИР; редкол.: Л.Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2011. – С. 166.

15. Боброва, Н.Л. Программный метод защиты программного обеспечения. Экспресс-диагностика психофизических показателей / Н.Л. Боброва // Технические средства защиты информации: материалы XI

Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 5–6 июня 2013 г. / БГУИР; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2013. – С. 33–34.

### **Авторское свидетельство**

16. Экспресс-диагностика психофизиологических показателей: а. с. С20150001 РБ: № 734,/ Н.Л. Боброва; дата публ.: 30.01.2015.

Библиотека БГУИР

## РЭЗІЮМЭ

Баброва Наталля Леанідаўна

### Дыягностыка сэнсаматорнай рэакцыі арганізма чалавека пры інтэнсіўных фізічных нагрузках

**Ключавыя словы:** сэнсаматорныя рэакцыі, функцыянальны ўзровень сістэмы, устойлівасць рэакцыі, узровень функцыянальных магчымасцеў, візуальныя стымулы, хуткасць рэакцыі, сістэма падтрымкі прыняцця рашэнняў.

**Мэта працы** заключаецца ў даследаванні метадык тэсціравання сэнсаматорных рэакцый арганізму чалавека пры інтэнсіўных фізічных нагрузках і распрацоўцы матэматычных метадаў праграма-апаратнага комплексу дыягностыкі псіхафізіялагічнага стану арганізма чалавека, прызначанага для вызначэння гатоўнасці да дзейнасці ў экстрэмальных умовах, на базе сістэмы падтрымкі прыняцця рашэнняў.

**Метады даследавання і апаратура:** псіхафізіялагічны стан асоб экстрэмальных прафесій даследаваны і прааналізаваны з дапамогай праграма-апаратнага комплексу, які рэалізуе метадыкі разліку паказчыкаў (функцыянальны ўзровень сістэмы, устойлівасць рэакцыі, узровень функцыянальных магчымасцеў, каэфіцыент дакладнасці Уіпла, крытэрыі Т.Д. Ласкутовай) і ўключае сістэму падтрымкі прыняцця рашэнняў.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** распрацавана і апрабавана матэматычная мадэль, што дазволіла на яе аснове стварыць сістэму падтрымкі прыняцця рашэнняў прагнозу ўзроўню спаборніцкай гатоўнасці спартсменаў і асоб экстрэмальных прафесій, распрацаваны праграма-апаратны комплекс псіхадыягностыкі стану чалавека, які ўключае сістэму падтрымкі прыняцця рашэнняў, што дазваляе ацаніць стан чалавека ў дынаміцы для наступнай псіхалагічнай або фармакалагічнай карэкцыі.

**Ступень выкарыстання:** распрацаваны праграма-апаратны комплекс і сістэма падтрымкі прыняцця рашэнняў выкарыстоўваецца пры дыягностыцы псіхафізіялагічных паказчыкаў у вайскавай часці 1250 Пагранічных войск Рэспублікі Беларусь, дзяржаўнай установе «Рэспубліканскі навукова-практычны цэнтр псіхічнага здароў'я», УАЗ «Мінская абласная клінічная бальніца» і ў навучальным працэсе Мінскага інстытута кіравання.

**Вобласць прымянення:** інструментальныя сродкі, праграмае забеспячэнне для вызначэння лячэбнага ўплыву і розных фізічных фактараў, а таксама медыцынскай рэабілітацыі і біямедыцынскага эксперыменту ў розных галінах даследаванняў.

## РЕЗЮМЕ

Боброва Наталья Леонидовна

### Диагностика сенсомоторных реакций организма человека при интенсивных физических нагрузках

**Ключевые слова:** сенсомоторные реакции, функциональный уровень системы, устойчивость реакции, уровень функциональных возможностей, визуальные стимулы, скорость реакции, система поддержки принятия решений.

**Цель работы** состоит в исследовании методик тестирования сенсомоторных реакций организма человека при интенсивных физических нагрузках и разработке математических методов программно-аппаратного комплекса диагностики психофизиологического состояния организма человека, предназначенного для определения готовности к деятельности в экстремальных условиях на базе системы поддержки принятия решений.

**Методы исследования и аппаратура:** психофизиологическое состояние лиц экстремальных профессий исследовано и проанализировано посредством программно-аппаратного комплекса, реализующего методики расчета показателей (функциональный уровень системы, устойчивость реакции, уровень функциональных возможностей, коэффициент точности Уиппла, критерий Т.Д. Лоскутовой) и включающего систему поддержки принятия решений.

**Полученные результаты и их новизна:** разработана и апробирована математическая модель, что позволило на ее основе создать систему поддержки принятия решений прогноза уровня соревновательной готовности спортсменов и лиц экстремальных профессий, разработан программно-аппаратный комплекс психодиагностики состояния человека, включающий систему поддержки принятия решений, что позволяет оценить состояние человека в динамике для последующей психологической или фармакологической коррекции,

**Степень использования:** разработанный программно-аппаратный комплекс и система поддержки принятия решений применяются при диагностике психофизиологических показателей в войсковой части 1250 Пограничных войск Республики Беларусь, ГУ «Республиканский научно-практический центр психического здоровья», УЗ «Минская областная клиническая больница» и в учебном процессе МИУ.

**Область применения:** инструментальные средства, программное обеспечение для определения лечебного влияния и различных физических факторов, а также медицинской реабилитации и биомедицинского эксперимента в различных областях исследований.

## SUMMARY

Natalia L. Bobrova

### **Diagnosis of sensorimotor reactions of the human body during intense physical exertion**

**Keywords:** sensorimotor reaction, the functional level of the system, the stability of reaction, the level of functional capability, visual stimuli, the reaction rate, a decision-taking support system.

**The purpose** of the work is to study the methods of testing sensorimotor reaction of a person and the development of mathematical methods of software and hardware complex of express diagnosis of psycho-physiological state of the human body designed to determine readiness for activity in extreme conditions on the basis of a decision support system.

**Research methods and equipment:** psychophysiological condition of people of extreme professions has been studied and analyzed with hardware and software system that implements the method of calculation of the indicators (functional level of the system, the stability of reaction, the level of functional abilities, the Whipple accuracy factor, the Loskutov criterion) and including a decision-taking support system.

**Final results and their novelty:** the mathematical model has been developed and tested that allowed to create on its basis a decision-taking support system forecast of competitive readiness of athletes and people of extreme professions, psychodiagnostic software and hardware of human condition has been developed including the decision-taking support system, which allows you to assess the state of human dynamics for the subsequent psychological or pharmacological correction.

**Extent of usage:** designed hardware and software system and decision-taking support system used in the diagnosis of psychophysiological indicators in the military unit of the border troops 1250 RB, "Republican Scientific and Practical Center of Mental Health", "Minsk Regional Clinical Hospital" and in the studying process of Minsk State University of Management.

**Scope:** tools, software to determine the effect of therapeutic influence and various physical factors, as well as medical rehabilitation and the biomedical experiment in various fields of research.



**Боброва Наталья Леонидовна**

**ДИАГНОСТИКА СЕНСОМОТОРНЫХ РЕАКЦИЙ  
ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ  
ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского  
назначения

Подписано в печать 13.03.2015. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».  
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л.1,63 . Уч. изд. л.1,4. Тираж 60 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/238 от 24.03.2014,  
№ 2/113 от 07.04.2014, № 3/615 от 07.04.2014.  
ЛП № 02330/264 от 14.04.2014.  
220013, Минск, П. Бровки, 6.