

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МЕДИЦИНСКОЙ ПСИХОФИЗИОЛОГИИ: ТЕХНОЛОГИЯ ВИБРОИЗОБРАЖЕНИЯ И ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

А. Ф. Бобров¹, Е. С. Щелканова², В. Ю. Щебланов¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна» ФМБА России, Москва, Россия, baf-vcmk@mail.ru

²Центр по обращению с РАО — отделение гб. Андреева СЗЦ «СевРАО» — филиала ФГУП «ФЭО», г. Заозерск Мурманской области, Россия, shchelkanova_el@mail.ru

Аннотация: Статья посвящена совершенствованию методов психофизиологического обследования работников опасных производств. Обоснована перспективность использования технологии виброизображения как средства экспресс-диагностики психофизиологического состояния. В соответствии с задачами медицинской психофизиологии вестибулярно-эмоциональный рефлекс рассмотрен с позиций теории регуляции физиологических функций организма. Предложена двухконтурная модель регуляции микродвижений головы человека, что дает возможность расширить спецификацию параметров виброизображения. Обосновано, что для разработки критериев экспресс-диагностики психофизиологического состояния целесообразно использовать комбинацию линейных методов многомерного статистического анализа и искусственных нейронных сетей. Описаны разработанные критерии экспресс-диагностики психофизиологического состояния.

Ключевые слова: Экспресс-диагностика, технология виброизображения, психофизиологические обследования, медицинская психофизиология, искусственные нейронные сети.

MODERN METHODS OF MEDICAL PSYCHOPHYSIOLOGY: VIBRAIMAGE TECHNOLOGY AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Alexander F. Bobrov¹, Elena S. Shchelkanova², Viktor Yu. Shcheblanov¹

¹State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical and Biological Agency (SRC — FMBC) of Russia, Moscow, Russia, baf-vcmk@mail.ru

²Center for Radioactive Waste Management—Branch of GB. Andreeva SZTs “SevRAO” — branch of FSUE “FEO”, Zaozersk, Murmansk region, Russia, shchelkanova_el@mail.ru

Abstract: The article is devoted to the improvement of psychophysiological examination methods for workers on dangerous industries. The prospect of vibraimage technology using as the means of rapid diagnostics of psychophysiological state is justified. In accordance with the tasks of medical

psychophysiology vestibular-emotional reflex is considered from the point of view of the theory of physiological functions of organism regulation. Two contour model of human head micro-movements regulation is proposed, which makes possible to expand specification of vibroimage parameters. It is justified that is advisable to use the combination of linear methods of multidimensional statistical analysis and artificial neural networks to develop criteria for rapid diagnosis of psychophysiological state. Developed criteria for rapid diagnosis of psychophysiological state are described.

Keywords: *Express diagnostics, vibroimage technology, psychophysiological examinations, medical psychophysiology, artificial neural networks.*

Анализ насыщения потенциально опасными объектами техногенной сферы всех промышленно развитых стран показывает, что рост числа и тяжести последствий техногенных катастроф подчиняется экспоненциальному закону. Для защиты техногенной сферы производства от ошибочных действий персонала (человеческий фактор) необходима минимизация антропогенного риска, под которым понимается количественная характеристика угрозы безопасности предприятия со стороны работника в процессе профессиональной деятельности, обусловленная несоответствием его медико-психофизиологических характеристик требованиям профессиональной деятельности и антропогенной уязвимости технологических процессов (Бобров, 2019).

Соответствие медико-психофизиологических характеристик работника требованиям профессиональной деятельности устанавливается в ходе медицинских осмотров и психофизиологических обследований (ПФО). Согласно Федеральному Закону N 35-ФЗ от 8 марта 2011 г. для предприятий атомной отрасли ПФО является обязательной частью медицинских осмотров, проводимых медицинскими организациями ФМБА России. В ходе ПФО проводится оценка психофизиологического состояния работников.

Психофизиологическое состояние (ПФС) по Е. П. Ильину (Ильин, 1978) — причинно обусловленное явление, реакция не отдельной системы или органа, а личности в целом, с включением в реагирование как физиологических, так и психических уровней (субсистем) управления и регулирования, относящихся к подструктурам и сторонам личности. Психофизиологическую адаптацию определяют также как системный ответ человека на действие внешних и внутренних стимулов и факторов, направленный на достижение полезного приспособительного результата и рассматривают её как критерий оценки донозологических нарушений в состоянии здоровья при медицинских осмотрах (Бобров и др., 2015).

ПФО, реализуемые специалистами ФМБА, направлены, в первую очередь, на оценку психофизиологической адаптации работников, выявление донозологических нарушений в состоянии здоровья с целью своевременного проведения реабилитационно-оздоровительных мероприятий (Казначеев и др., 1980).

Поскольку ПФС является системным явлением/реакцией, то его оценка должна проводиться на различных иерархических уровнях организации организма. Это требование (в разном объеме) реализуется в аппаратно-программных комплексах, используемых при проведении ПФО. Так, в атомной отрасли, ПФС персонала оценивается с использованием АПК «ПФС-КОНТРОЛЬ» на психическом, психофизиологическом и физиологическом уровнях с использованием

4-х психодиагностических тестов, 3-х сенсомоторных методик и методики оценки variability сердечного ритма (Бобров и др., 2015). Время тестирования при этом занимает около 2-х часов. Это отрывает работника от производственного процесса, что не соответствует интересам работодателя, требует большого числа медицинских работников для проведения обследования. Если для предварительных (при приеме на работу) ПФО существующее время проведения обследования является приемлемым, то совершенствование периодических ПФО связано с внедрением методов экспресс-диагностики ПФС. Их использование позволит оперативно выделять группу «риска», подлежащую углубленному ПФО, освобождая остальных от психофизиологического обследования. Это существенно снизит общее время ПФО всей профессиональной группы (цеха, отдела, предприятия).

Методы экспресс-диагностики ПФС не имеют альтернативы при предсменных ПФО, а также при оценке текущего ПФС при выполнении профессиональной деятельности.

Технология виброизображения как метод экспресс-оценки психофизиологического состояния в задачах медицинской психофизиологии

При рассмотрении методов экспресс-диагностики ПФС целесообразно исходить из того, что организм представляет собой сложную иерархию взаимосвязанных и взаимоподчиненных систем, составляющих уровни его организации: молекулярный, субклеточный, клеточный, тканевой, органной, системный и организменный. В организме человека насчитывают тысячи регуляторных систем, функционирующих с целью обеспечения уровня обмена/поступления вещества, энергии и информации, адекватного сложившимся условиям жизнедеятельности.

Согласно современным представлениям (Митрохина, 2000; Мышкин, 2016), основными формами регуляции являются адаптивная и гомеостатическая регуляция.

Механизмы адаптивной регуляции функционируют в режиме следящей системы, в которой осуществляется в основном управление по возмущению. Если между текущим функциональным состоянием организма и тем, которое требуется условиями среды, возникает рассогласование, то это является сигналом для изменения структуры исходного функционального состояния или перевода его на другой уровень. То есть к адаптивной перестройке функциональной системы. Благодаря адаптивной регуляции, поддерживаются адекватные соотношения в системе «организм-среда» с одной стороны, и между отдельными элементами системы — с другой. Устойчивость системы в пределах определенного адаптационного уровня деятельности поддерживается механизмами гомеостатической регуляции, направленной на поддержание гомеостаза, которая корректирует все внутренние отклонения в деятельности системы вокруг сформированного уровня. При этом сами отклонения являются источниками управляющих сигналов, действующих по принципу обратной связи, т. е. регулирующие воздействия пропорциональны отклонениям состояния от заданного уровня, благодаря чему и обеспечивается

устойчивость системы. Таким образом, гомеостатическая регуляция обеспечивает устойчивость определенного уровня функционального состояния организма. Обе формы регуляции, взаимно дополняя друг друга, обеспечивают саморегуляцию организма в соответствии с требованиями текущего момента.

Маркерами систем адаптивной регуляции являются лабильные/пластичные показатели функционального состояния (пульс, давление, уровень питательных веществ в крови и др.). Гомеостатической регуляции — «жесткие» (гомеостатируемые) показатели, которые активно удерживаются соответствующими функциональными системами у строго определенного значения, и отклонение которых от этого значения приводит к необратимым нарушениям (рН, осмотическое давление и другие).

В соответствии с вышеизложенным, для экспресс-диагностики функционального состояния человека необходимо использовать показатели адаптивных систем регуляции. Дополнительными требованиями являются их способность оценивать системную реакцию организма, оперативность оценки и ее комфортность для тестируемого. От полноты соответствия указанным требованиям зависит качество экспресс-диагностики и степень ее востребованности в практической деятельности.

Положительным примером как метода экспресс-диагностики и востребованности в практике является методика вариабельности сердечного ритма (ВСР) (Баевский, 1979; Баевский и др., 1997). Анализ ВСР — это современная методология, технология исследования и оценки состояния регуляторных систем организма, в частности функционального состояния различных отделов вегетативной нервной системы. Она направлена на оценку одной из систем адаптивной регуляции функционального состояния организма — систему кровообращения. Контроль и оценка деятельности механизмов регуляции кровообращения позволяют получать информацию об адекватности реакции приспособительных механизмов организма на разнообразные воздействия изменяющихся условий окружающей среды. Методика является оперативной, достаточно комфортной для тестируемого.

Однако ВСР сложно отнести к методам, позволяющим оценивать системную реакцию организма. Результаты наших многолетних обследований работников атомной отрасли, в число которых вошли практически здоровые люди, не имеющие медицинских противопоказаний к работе, направленные на оценку психофизиологической адаптации (ПФА) на 3-х иерархических уровнях (психологическом, психофизиологическом и физиологическом), показали низкую корреляцию показателей ВСР с показателями психодиагностических тестов и функционального состояния ЦНС, оцениваемого по данным сенсомоторных методик. Межуровневая корреляция существенно увеличивается только для работников с низким уровнем ПФА. Это связано с тем, что при низком уровне ПФА снижаются функциональные резервы организма и, как следствие, уменьшается число степеней свободы регуляторных систем. Активация автономных контуров регуляции при этом снижается, центральных — увеличивается. Организм, как иерархическая многоуровневая система регуляции, становится «жесткой» системой.

Новым шагом в области экспресс-диагностики функционального/психофизиологического состояния является технология виброизображения (Минкин, 2007; 2020). Она в полной мере удовлетворяет всем выше указанным требованиям к системам экспресс-диагностики: системности, оперативности и комфортности.

Объектом оценки является функциональное состояние одной из ведущих сенсорных систем: вестибулярной системы, раздражителями которой являются гравитация и силы, сообщающие телу линейное или угловое ускорение. Комплексные рефлексы, связанные с вестибулярной стимуляцией, включают в себя вестибулоспинальные, вестибуловегетативные и вестибулоглазодвигательные рефлексы (Хандверкер, 1996). Автором технологии виброизображения был открыт и описан новый рефлекс вестибулярной системы: вестибулярно-эмоциональный рефлекс (ВЭР) (Минкин, 2007). Хотя его нейрофизиологические механизмы в полной мере еще не описаны, многочисленные экспериментальные данные не вызывают сомнений в его объективном существовании. Наличие автоматизма, обильные афферентные и эфферентные морфофункциональные связи с корково-подкорковыми образованиями центральной и вегетативной нервных систем головного и спинного мозга, с нейроэндокринными процессами свидетельствуют о возможности использования характеристик функционирования вестибулярной системы в качестве индикатора реакции организма на внутренние и внешние факторы. Отражение в параметрах виброизображения системной реакции организма было показано во многих экспериментальных работах (Минкин, 2018; 2019). В частности, в диссертационной работе Е. С. Щелкановой (Щелканова, 2019), что являлось одним из положений, выносимых на защиту.

Поскольку все регуляторные системы организма построены и функционируют по одному принципу (Мышкин, 2016), для вестибулярной системы может быть построена 2-х контурная модель регуляции рефлекторных движений головы человека, аналогичная по структуре кибернетической модели регуляции сердечного ритма. Автономный контур регуляции связан с вестибулярным аппаратом и вестибулярным трактом, входящим в продолговатый мозг. Центральный контур регулирования включает в себя вестибулярные ядра продолговатого мозга, импульсы от которых поступают в таламус и проекционное поле вестибулярной системы в височной области коры, а также в структуры, находящиеся в непосредственной близости к пирамидным нейронам моторной области коры и корковый отдел.

При оптимальном регулировании (низком уровне напряжении регуляторных систем организма) управление происходит с минимальным участием высших уровней управления. При неоптимальном управлении необходима активация все более высоких уровней управления. В показателях виброизображения это отражается, по нашему мнению, в увеличении асимметрии движений и увеличении доли высокочастотной части спектра вибраций к общей мощности в спектре частоты микродвижений головы человека.

Рассмотрение ВЭР с позиций теории регуляторных систем позволяет дополнить существующую спецификацию параметров виброизображения (Минкин, 2020) такими характеристиками как уровень функционирования

вестибулярной системы; уровень ее активации; уровень централизации управления; общий уровень напряжения регуляторных систем организма, оцениваемый по параметрам виброизображения и др. Результаты интегральной оценки ПФС для задач медицинской психофизиологии могут формулироваться в терминах донозологической диагностики с учетом уровня напряжения регуляторных систем (Баевский, 1979): 1) оптимальный уровень; 2) умеренное функциональное напряжение; 3) выраженное функциональное напряжение; 4) перенапряжение регуляторных механизмов; 5) истощение регуляторных систем.

Искусственные нейронные сети в задачах диагностики психофизиологических состояний

Эффективность диагностических систем в области медико-биологических исследований зависит от качества используемых в них критериев оценки объекта диагностики. Для их построения используются различные математические методы и информационные технологии. На основании анализа результатов исследований функционального состояния лиц, находящихся в экстремальных условиях, была разработана информационная технология статистического синтеза критериев оценки (Бобров, 1993). В ее основе лежит последовательное применение методов факторного, кластерного, дискриминантного и канонического дискриминантного анализа.

Однако методы многомерного статистического анализа относятся к линейным математическим методам. Поэтому при разработке диагностических систем возникает необходимость в использовании нелинейных математических методов. К ним относятся искусственные нейронные сети (ИНС) (Хайкин, 2006).

Настроенная, обученная ИНС способна распознавать предъявляемые ей новые объекты, относя их к одному из классов спектра состояний, распознаванию которых ее удалось обучить. Способность ИНС к самообучению дает существенные преимущества перед критериями, разработанными на основе линейных дискриминантных функций.

Из практики применения математических методов в прикладных медико-биологических исследованиях известно, что степень использования специалистами методов и процедур принятия решения во многом зависит от «степени доверия» к ним. В этом плане диагностические системы, построенные на методах многомерного статистического анализа, имеют определенное преимущество перед системами, построенными с использованием ИНС, поскольку ИНС являются «черными ящиками» с известными входами и выходами, но закрытой для пользователя структурой преобразований.

Наш опыт разработки диагностических систем в прикладных медико-биологических исследованиях показывает, что наибольший эффект достигается при комбинированном использовании различных математических методов, выбор которых определяется характером исходных данных. Поэтому в медицинской психофизиологии для разработки критериев экспресс-диагностики ПФС с использованием параметров виброизображения целесообразно использовать

информационную технологию (метод иерархической стратификации функциональных состояний, МИСФС), включающую в себя несколько последовательных этапов:

1. Синтез интегральных показателей оценки изучаемых характеристик и функций организма на различных иерархических уровнях с использованием линейных моделей факторного анализа или нелинейных моделей автоассоциативной сети с прямой связью.

2. Синтез классификационных моделей типологических состояний изучаемых характеристик и функций организма на различных иерархических уровнях с использованием кластерного анализа и/или самоорганизующейся нейронной сети Кохонена.

3. Синтез решающих правил идентификации типологических состояний изучаемых характеристик и функций организма на различных иерархических уровнях с использованием дискриминантного анализа или многослойного персептрона.

Результаты исследования

МИСФС был использован при разработке критериев экспресс-диагностики ПФС с использованием базы данных МЕД (Минкин, 2020). Она была очищена от «выскакивающих» наблюдений и дополнена данными собственных исследований, содержащих дополнительно результаты ПФО, проведенных с использованием АПК «ПФС-КОНТРОЛЬ». Всего обучающая выборка включила в себя 5098 наблюдений (примеров).

Факторный анализ (ФА). Факторный анализ (Ким и др., 1989) позволяет классифицировать показатели функционального состояния по степени корреляции между собой и степени лабильности. Корреляция между показателями обусловлена, как правило, отражением с различных сторон характеристик одного и того же из изучаемых процессов/реакций в организме: общей причиной отражения. Или комбинаторикой их общих смыслов в формулах вычисления производных/вторичных показателей. ФА позволил обобщить результаты оценки взаимосвязи параметров виброизображения по парным значениям коэффициента корреляции, подробно описанные в книге В. А. Минкина (Минкин, 2020). При его проведении использовались 10 параметров виброизображения. Первичное извлечение факторов осуществлялось методом главных компонент, вращение — методом варимакс. Исследовались 2-х–4-х факторные модели параметров виброизображения. В результате анализа была выбрана 2-х факторная модель, поскольку добавление новых факторов незначительно (до 10%) увеличивает объясняемую ими общую дисперсию показателей.

В 1-й фактор (F_1) преимущественно вошли показатели, характеризующие с разных сторон асимметричность микродвижений левой и правой части головы человека. Высоким положительным значениям фактора соответствует низкая асимметричность, низким отрицательным — высокая. Во 2-й фактор (F_2) — показатели, характеризующие с разных сторон вклад высокочастотной части спектра вибраций к общей мощности в спектре частоты микродвижений головы человека.

Высоким положительным значениям фактора соответствует высокая доля вклада, низким отрицательным — низкая. Значения факторов для их оценки переводились в Т-баллы ($M=50$ балла, $СКО=10$ баллов).

Полученные факторы можно рассматривать как интегральные показатели, отражающие характеристики регуляторных механизмов формирования ПФС, оцениваемые по параметрам виброизображения. Фактор F_1 характеризует, по нашему мнению, уровень внутреннего психофизиологического комфорта и снижение его значений соответствует увеличению асимметричности микродвижений головы. Фактор F_2 — уровень напряжения механизмов регуляции ПФС.

Автоматическая классификация (типологические ПФС). По значениям факторов F_1 , F_2 было выделено 5 типологических классов состояний. Число классов задавалось, исходя из описанной выше концепции донозологической диагностики (Баевский, 1979). Средние значения факторов F_1 , F_2 в выделенных классах и процент встречаемости каждого класса в обучающей выборке показан на рисунке (а, б). Лица, вошедшие в класс 1, характеризуются очень высоким, 2 — высоким, 3 — средним, 4 — низким, 5 — очень низким уровнем ПФА. Как следует из рисунка (а), по мере ухудшения ПФА происходит увеличение напряжения регуляторных механизмов организма и снижение уровня внутреннего психофизиологического комфорта. Распределение лиц с различным уровнем ПФА подчиняется нормальному закону распределения (рис. б).

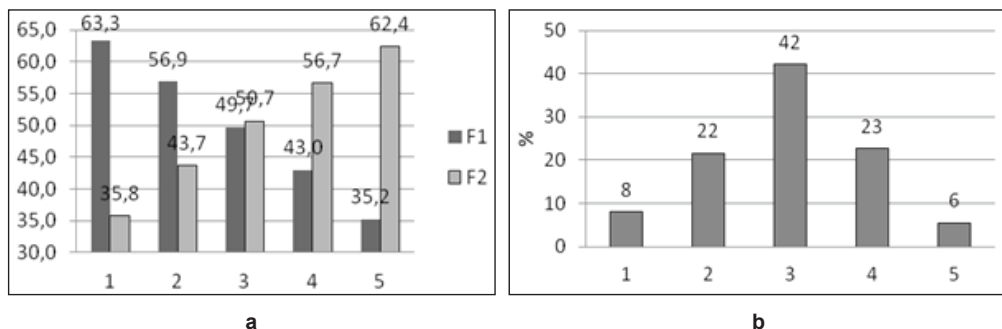


Рисунок. Средние значения факторов F_1 , F_2 в классах типологических состояний (а) и встречаемость (в %) классов типологических состояний (б). На оси абсцисс указаны классы типологических состояний (1–5).

Решающие правила идентификации типологических состояний. Для идентификации типологических состояний настроены нейронные сети, параметры которых приведены в таблице. При построении ИНС использовались программы для нейросетевого анализа данных NeuroShell 2 и STATISTICA Neural Networks. Как следует из приведенных в таблице данных, стандартная ошибка прогнозирования значений факторов F_1 , F_2 составила 0,0002 балла. Точность прогнозирования классов ПФС 99,99%.

Таблица

Параметры ИНС для идентификации характеристик психофизиологического состояния по параметрам виброизображения

Объект прогнозирования	Тип ИНС	Активационная функция нейронов	Алгоритм тренировки	Стандартная ошибка прогнозирования
Фактор F_1	MLP 10-9-1	Tanh	BFGS 109	0,0002
Фактор F_2	MLP 10-4-1	Tanh	BFGS 136	0,0002
Класс состояния	MLP 2-9-5	Tanh	BFGS 39	0,01%

Примечание.
MLP a-b-c: многослойный персептрон, а — число нейронов в входном, b — промежуточном, с — выходном слоях.

Заключение

Совершенствование психофизиологических обследований работников опасных производств связано с разработкой методов экспресс-диагностики психофизиологического состояния. Наиболее перспективной для этого является технология виброизображения. В соответствии с задачами медицинской психофизиологии (выявления донозологических изменений в состоянии здоровья по уровню нарушения психофизиологической адаптации) вестибулярно-эмоциональный рефлекс целесообразно рассматривать с позиций теории регуляции физиологических функций организма и предложенной двухконтурной модели регуляции микродвижений головы человека. Это дает возможность расширить спецификацию параметров виброизображения. Для разработки критериев экспресс-диагностики психофизиологического состояния целесообразно использовать комбинацию линейных методов многомерного статистического анализа и нелинейных методов с построением искусственных нейронных сетей.

Литература:

1. Баевский Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. М.: Медицина, 1979. 298 с.
2. Баевский Р. М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р. М. Баевский, А. П. Берсенева // Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М.: Медицина, 1997. С. 104.
3. Бобров А. Ф. Нормирование функциональных состояний человека, работающего в экстремальных условиях (новые принципы и методы разработки критериев): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1993. 38 с.
4. Бобров А. Ф. Предупреждение техногенных чрезвычайных ситуаций: информационная технология разработки критериев оценки антропогенных рисков // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. 2019. № 2. С. 5–16.
5. Бобров А. Ф. Системная оценка результатов психофизиологических обследований / А. Ф. Бобров, А. Ю. Бушманов, В. И. Седин, В. Ю. Щебланов // Медицина экстремальных ситуаций. 2015. № 3. С. 13–19.

6. Ильин Е. П. Теория функциональных систем и психофизиологические состояния / Е. П. Ильин // Теория функциональных систем в физиологии и психологии. М.: Наука, 1978. С. 325–346.
7. Казначеев В. П. Донозологическая диагностика в практике массовых обследований населения / В. П. Казначеев, Р. М. Баевский, А. П. Берсенева // Донозологическая диагностика в практике массовых обследований населения. Л.: Медицина, 1980. 225 с.
8. Ким Дж.-О. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж.-О. Ким, Ч. У. Мьюллер, У. Р. Клекка и др.; под ред. И. С. Енюкова // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
9. Минкин В. А. Виброизображение, кибернетика и эмоции. СПб.: Реноме, 2020. 164 с. DOI: 10.25696/ELSYS.B.RU.VCE.2020
10. Минкин В. А. Виброизображение. СПб.: Реноме, 2007. 108 с. DOI: 10.25696/ELSYS.B.RU.VI.2007
11. Минкин В. А. и др. Современная психофизиология. Технология виброизображения: Тр. 1-й Международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, Россия, 28–29 июня 2018 г. / под ред. В. А. Минкина. СПб.: Элсис, 2018. 240 с.
12. Минкин В. А. и др. Современная психофизиология. Технология виброизображения: Тр. 2-й Международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, Россия, 25–26 июня 2019 г. / под ред. В. А. Минкина. СПб.: Элсис, 2019. 328 с. DOI: 10.25696/ELSYS.B.EN-RU.VIC.2019
13. Митрохина Н. М. Общая физиология. регуляция функций / под ред. доктора мед. наук, проф. И. Н. Полунина. Астрахань: Агма, 2000. 110 с.
14. Мышкин И. Ю. Механизмы регуляции процессов жизнедеятельности: учебно-методическое пособие / сост. И. Ю. Мышкин; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. Ярославль: ЯрГУ, 2016. 48 с.
15. Хайкин С. Нейронные сети: Полный курс. 2-е издание: Пер. с англ. М.: Издательский дом Вильямс, 2006. 1104 с.
16. Хандверкер Х. Общая сенсорная физиология // Физиология человека: в 3 т. Т. 1 / пер. с англ. под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. М.: Мир, 1996. 323 с.
17. Щелканова Е. С. Бесконтактная экспресс-диагностика психофизиологического состояния работников опасных производств: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2019. 20 с.