

© САЖИН В.Л., 2020

**Сажин В.Л.**

## **СТЕНД ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ВИБРАЦИЙ НА ЧЕЛОВЕКА**

Частное учреждение образовательная организация высшего образования «Университет “Реавиз”»,  
198099, г. Санкт-Петербург, Россия

Вибрационная болезнь занимает ведущее место среди профессиональных заболеваний и характеризуется полиморфной клинической симптоматикой. Углубленное изучение патогенеза вибрационной болезни для выявления признаков нейрососудистых, нейрогуморальных и трофических нарушений на донозологической стадии требует проведения комплексных медико-биологических и биофизических исследований воздействия вибрации в стандартизованных условиях. Условия лабораторного эксперимента позволяют моделировать и многократно воспроизводить идентичные в полном объеме исследуемые режимы вибрационной нагрузки и её сочетанное воздействие с другими различными вредными для организма факторами.

**Целью** работы является апробация стенда для моделирования локальной вибрации, который позволяет создать имитацию условий рабочего места, максимально приближенных к практическому производственному процессу с использованием стандартного ручного инструмента со встроенным двигателем.

**Материал и методы.** Стенд монтируют согласно задачам обеспечения нужной для моделирования вибрационной нагрузки позы человека-оператора относительно рабочей панели. В качестве виброгенератора выбирают соответствующий по техническим характеристикам стандартный ручной инструмент со встроенным двигателем (дрель, перфоратор и др.), в патроне которого закрепляют рабочий элемент. Датчики вибрационной нагрузки фиксируют на выбранных для исследования областях тела и соединяют со входом измерительного прибора.

**Результаты.** Приведенные результаты измерений имеют весьма малый разброс показателей между операторами (мужчинами и женщинами), что указывает на отсутствие значимых отклонений оси вращения стержня от оси углубления в рабочей панели и на идентичность создаваемой операторами нагрузки на виброинструмент.

**Обсуждение.** По результатам апробации предложенный стенд позволяет воспроизвести условия рабочего места и рабочую позу оператора, максимально приближенные к практическому производству работ. Апробация стенда наглядно показала простоту моделирования локальной вибрации при идентичности экспериментальных условий для всех операторов.

**Выводы.** Стенд может быть использован для научных исследований в области медицины труда и промышленной экологии, а также в учебном процессе для постановки лабораторных работ.

**Ключевые слова:** *локальная вибрация; вибрационная нагрузка; моделирование; стенд.*

**Для цитирования:** Сажин В.Л. Стенд для экспериментальных исследований воздействия локальных вибраций на человека. *Здравоохранение Российской Федерации.* 2020; 64(1): 51-56.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0044-197X-2020-64-1-51-56>

**Для корреспонденции:** Сажин Виктор Леонидович, д-р мед. наук, член-корр., профессор РАЕ, ректор, «Университет “Реавиз”», 198099, г. Санкт-Петербург. E-mail: [sazhin1950@mail.ru](mailto:sazhin1950@mail.ru)

**Благодарности.** Автор статьи выражает благодарность А.В. Храмову, Л.В. Ильиной, В.В. Петраш, Д.В. Крыштоф, М.П. Литаевой, специалистам Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) и медицинского центра «Сенсормед», принявшим участие в данной работе.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 19.11.19  
Принята в печать 30.12.19

**Sazhin V.L.**

## **STAND FOR EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE IMPACT OF LOCAL VIBRATIONS ON HUMAN**

University “Reaviz”, Saint Petersburg, 198099, Russia

It is known that the vibration disease takes the leading place among occupational diseases and has quite a polymorphic clinical symptomatology. An in-depth study of the pathogenesis of vibration disease to identify signs of neurovascular, neurohumoral and trophic disorders at the prenosological stage requires an integrated biomedical and biophysical studies the effects of vibration in standardized conditions. Only in a laboratory experiment can be simulated and repeatedly play the identical fully researched vibration modes and its combined effects with various other harmful for the body.

The **aim** of the study is the principle of constructing the stand for modeling local vibration, which, with simplicity of its realization, allows you to create a simulated workplace conditions as close as possible to the practical production of using standard hand tools with built-in motor.

**Material and methods.** Stand mount according to the tasks of ensuring the necessary to simulate vibration poses human operator regarding the working Panel. As vibrogenerator choose the corresponding technical characteristics standard hand tools with built-in motor (drill, punch, etc.), in a cartridge which embody the work item. Vibration sensors lock on is selected for the study areas of the body and connect to the input of the measuring instrument. Vibration load sensors are fixed on the selected areas of the body and connected to the input of the measuring device.

**Results.** The presented measurement results have a very small scatter of parameters between operators (men and women), which indicates the absence of significant deviations of the spin axis, the center rod, from the axis of the recess in the working panel and the identity of the load on the vibration tool created by the operators.

**Discussion.** By the approbation results the offered stand allows to reproduce conditions of a workplace and a working pose of the operator, as much as possible approached to practical production of works. Approbation of the stand clearly showed the simplicity of modeling local vibration under identical experimental conditions for all operators.

**Conclusions.** The stand can be used for scientific research in the field of occupational medicine and industrial ecology, as well as in the educational process for laboratory work.

**Key words:** *local vibration; vibration load; modeling; stand.*

**For citation:** Sazhin V.L. Stand for experimental research of the impact of local vibrations on human. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii (Health Care of the Russian Federation, Russian journal)*. 2020; 64(1): 51-56. (In Russ.).  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0044-197X-2020-64-1-51-56>

**For correspondence:** Viktor L. Sazhin, Dr. Sci. (Med.), corresponding member of the Russian Academy of Sciences, rector of the University "Reaviz", Saint Petersburg, 198099, Russia. E-mail: [sazhin1950@mail.ru](mailto:sazhin1950@mail.ru)

**Information about the author:**

Sazhin V.L., <http://orcid.org/0000-0002-0842-8007>

**Acknowledgements.** The author of the article expresses gratitude to A.V. Hkramov, L.V. Il'ina, V.V. Petrash, D.V. Krzysztowf, M.P. Litaeva, specialists of Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI» and Medical center «Sensormed», who participated in this study. The study had no sponsorship.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Received 19 November 2019

Accepted 30 December 2019

## Введение

Результат длительного воздействия вибрации на организм проявляется в развитии профессионального заболевания — вибрационной болезни. Клиника и патогенез этого заболевания достаточно хорошо изучены. В основе заболевания лежит сложный механизм нервно-рефлекторных и нейрогуморальных нарушений, которые приводят к развитию застойного возбуждения с последующими стойкими изменениями как в рецепторном аппарате, так и в центральной нервной системе [1–3].

Источниками вибрации являются электрические и пневматические машины, инструменты вращательного, поступательного и ударного механизма действия. Вибрационную нагрузку испытывают работники в горнорудной промышленности, строительстве, на автотранспорте и др. На судах морского и речного флота (особенно ледокольного) вибрация рассматривается как один из ведущих физических факторов негативного воздействия на состояние здоровья плавсостава [4, 5].

Характер субъективного восприятия и психофизиологических реакций на вибрацию, глубина и направленность функциональных сдвигов со стороны различных систем организма определяются,

прежде всего, уровнями и продолжительностью вибрационного воздействия. При этом большое значение имеют условия контакта с источником вибрации: площадь участков тела, соприкасающихся с вибрирующим объектом, площадь опоры, положение работника относительно опоры и др. [1].

Углубленное изучение патогенеза вибрационной болезни для выявления признаков нейрососудистых, нейрогуморальных и трофических нарушений на донозологической стадии требует проведения комплексных медико-биологических и биофизических исследований воздействия вибрации в стандартизованных условиях (особенности рабочего места, поза работника (оператора) и др.).

Правильный подбор исследуемых и контрольных профессиональных групп с обеспечением стандартизованных условий на реальном производстве весьма проблематичен из-за неизбежного присутствия неконтролируемых артефактов технического и организационного характера. Поэтому только в условиях лабораторного эксперимента можно моделировать и многократно воспроизводить идентичные в полном объеме исследуемые режимы вибрационной нагрузки и её сочетанное воздействие с другими вредными для организма факторами.

Данная ситуация обуславливает поиск технических решений моделирования вибрационной нагрузки с максимальным приближением к реальным условиям производства.

Существует ряд лабораторных установок для моделирования вибрационной нагрузки. В качестве примера можно привести имитатор ударной локальной вибрации, содержащий виброгенератор (ВГ) и неподвижную опорную панель для приложения вибрационной нагрузки [6]. Принцип работы этого имитатора состоит в использовании индукционно-динамического привода с источником импульсного питания, обеспечивающего возникновение отталкивающей силы между полем тока в обмотке возбуждения и полем тока в подвижном якоре. Сила отталкивания передается на руку испытуемого. Устройство этого имитатора усложнено необходимостью использования сменных пружин, предназначенных для выбора амплитудно-временных характеристик моделируемого удара. Кроме того, применение этого устройства ограничено моделированием только ударной нагрузки и не позволяет воспроизводить комплекс локальных вибрационных нагрузок, возникающих в ручных инструментах со встроенным двигателем и вращающимся рабочим элементом.

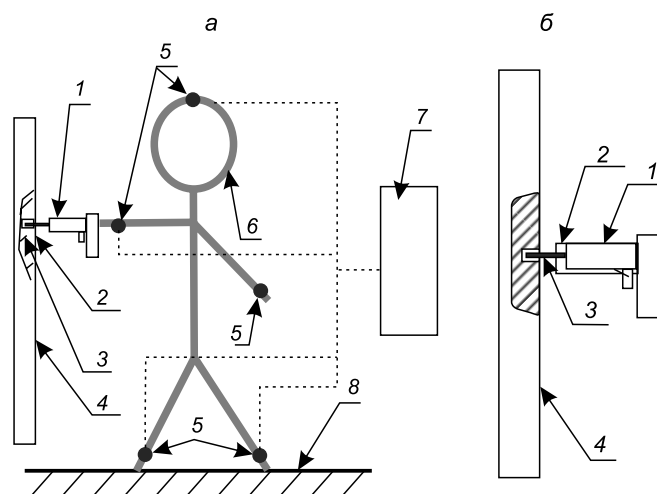
Другим примером может служить устройство для имитационного моделирования рабочего процесса ручной ударной машины на основе математической модели системы «человек-оператор — ударная машина — обрабатываемая среда» [7]. Это устройство отличает техническая сложность имитационного моделирования, требующего введения многочисленных параметров процесса и коэффициентов, таких как средние значения составляющих входного импеданса руки оператора; коэффициенты демпфирования; коэффициенты, учитывающие возникновение реакции обрабатываемой среды; суммарную силу, действующую на рукоятку, включая силу нажатия человека-оператора и др.

Из представленных примеров следует, что перечисленные и многие другие известные аналоги, как правило, достаточно технически сложны и при этом малоэффективны для обеспечения многократного воспроизведения условий, идентичных реальному производственному процессу.

Целью работы является апробация стенда для моделирования локальной вибрации, который позволяет создать имитацию условий рабочего места, максимально приближенных к практическому производственному процессу с использованием стандартного ручного инструмента со встроенным двигателем.

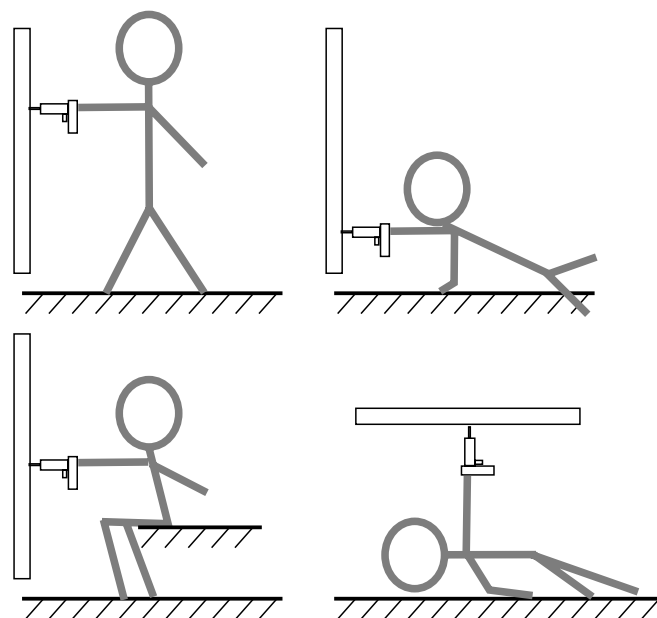
### Материал и методы

Схема стенда с оператором приведена на рис. 1. Основными элементами стенда являются источник вибрации (ВГ) — стандартный ручной



**Рис. 1.** Схема стенда с оператором (а) и виброгенератор с рабочим элементом в увеличенном масштабе (б).  
1 — ВГ; 2 — рабочий элемент ВГ; 3 — цилиндрическое углубление в рабочей панели; 4 — рабочая панель; 5 — датчики вибрации; 6 — оператор; 7 — измеритель параметров вибрационной нагрузки; 8 — опора для оператора.

инструмент со встроенным двигателем (дрель, перфоратор и др.), рабочая панель, выполненная из твердого материала (дерево, бетон, полимер и др.), и прибор для измерения параметров вибрационной нагрузки. В качестве измерителя вибрации могут быть использованы шумомер-виброметр «Экофизика 110А», «Анализатор спектра ZET 017-U8» или другой измеритель параметров вибрации, имеющий выход на ЭВМ для статистической обработки результатов и формирования базы данных. Нами в данной работе был использован шумомер-виброметр «Экофизика 110А».



**Рис. 2.** Варианты поз оператора при моделировании на стенде локальной вибрационной нагрузки.

Это специальный сертифицированный прибор, измеряющий параметры вибрационной нагрузки, с автоматической обработкой регистрируемых сигналов и выдачей готового результата. Датчики вибрации (рис. 1, 5) — штатные датчики прибора «Экофизика 110А», которые крепятся на теле пациента в соответствии с задачами каждого исследования.

Рабочая панель стенда должна быть жестко зафиксирована либо к специальной каркасной конструкции, либо к стене помещения или к другим опорам в зависимости от условий экспериментальной лаборатории и программы исследования, определяющей требования к моделированию позы оператора (стоя, с наклоном тела, сидя, лежа и др.) в процессе работы с ВГ (рис. 2).

Рабочая панель имеет ряд засверленных углублений, глубина которых обеспечивает центрирование оси вращающегося рабочего элемента ВГ и сводит к минимуму возможность его сдвиговых движений в плоскости, перпендикулярной к оси приложения силы во время имитации работы. Диаметр углублений при минимальном зазоре должен соответствовать диаметру рабочего элемента и обеспечивать его свободное вращение в углублении. Указанные углубления расположены на рабочей панели соответственно моделируемому позам оператора. В качестве рабочего элемента может служить любой жесткий стержень, соответствующий диаметру углубления в рабочей панели и закрепленный в патроне ВГ.

Стенд монтируют согласно задачам обеспечения нужной для моделирования вибрационной нагрузки позы человека-оператора относительно рабочей панели (рис. 2). В качестве ВГ выбирают соответствующий по техническим характеристикам стандартный ручной инструмент со встроенным двигателем (дрель, перфоратор и др.), в патроне которого закрепляют рабочий элемент. Датчики вибрационной нагрузки фиксируют на выбранных для исследования областях тела, например, как показано на рис. 1, и соединяют с входом измерительного прибора.

Медико-биологический контроль функционального состояния организма оператора может проводиться с использованием стандартных медицинских приборов и методик и определяется программой исследования.

Оператор располагается в заданной позе, берет в руку ВГ и вводит рабочий элемент ВГ в цилиндрическое углубление, выполненное в опорной панели на всю его глубину до упора. Далее оператор создает заданный экспериментатором рабочий нажим на рукоятку ВГ и по команде включает электродвигатель ВГ, имитируя сверление в течение установленного задачами эксперимента периода времени, например, 15 с, 1 мин и др.

В процессе работы ВГ производят измерение параметров вибрационной нагрузки на организм оператора, например, с помощью шумомера-виброметра «Экофизика 110А».

С целью оценки возможностей практического применения стенда в научных исследованиях была проведена его апробация с использованием в качестве ВГ дрели «STERN Austria model ID13DN-C» (220 В-50 Гц, электрический двигатель 550 Вт, 0–2600 об/мин) в режиме перфоратора. Вибрационную нагрузку измеряли с помощью портативного шумомера-виброметра «Экофизика 110А» в режиме «локальная вибрация», позволяющего получать среднеквадратичные, максимальные и минимальные уровни виброускорения и частотные спектры вибрационной нагрузки. Датчик вибрации прибора располагали на теле испытуемого по центру затылочной области головы и внешних сторонах голени и запястий, как показано на рис. 1. Датчик ориентировали таким образом, чтобы его ось X находилась продольно конечностям, а на голове — в сагиттальной плоскости.

При апробации стенда в качестве операторов выступали 7 добровольцев из числа сотрудников НИИ промышленной и морской медицины ФМБА России (4 мужчины в возрасте 22–60 лет и 3 женщины в возрасте 44–50 лет). Оператор занимал предусмотренную экспериментом позу (в данном случае стоя), устанавливал рабочий элемент ВГ в засверленное углубление рабочей панели до упора и по сигналу экспериментатора включал двигатель дрели с имитацией сверления на 15 с при максимальном нажиме.

## Результаты

В таблице представлены результаты измерений распределения уровня вибраций по зонам тела испытуемых операторов. Данные имеют весьма малый разброс показателей между операторами (муж-

Распределение уровня виброускорений по телу оператора, Дб ( $M \pm m$ ;  $n = 7$ )

Место измерения	Частота измерения вибрационной нагрузки, Гц							
	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Правая рука	110,8 ± 1,6	113,0 ± 5,6	112,6 ± 5,3	107,9 ± 4,7	104,6 ± 4,4	97,5 ± 3,5	92,9 ± 3,7	88,8 ± 4,2
Левая рука	113,8 ± 1,8	111,6 ± 1,0	109,6 ± 0,3	104,3 ± 0,8	98,4 ± 1,5	92,6 ± 1,9	88,1 ± 2,4	84,9 ± 2,3
Правая нога	113,5 ± 1,7	111,0 ± 1,9	113,4 ± 4	106,5 ± 2,7	101,4 ± 3,1	94,9 ± 3,1	89,0 ± 2,8	84,2 ± 3,5
Левая нога	110,3 ± 2,5	111,8 ± 3,7	108,5 ± 1,7	103,8 ± 1,5	97,8 ± 1,7	94,7 ± 1,6	90,4 ± 2	84,4 ± 2,4
Голова	107,3 ± 0,6	105,4 ± 1,1	105,2 ± 1,9	103,7 ± 2,3	98,9 ± 2,4	93,2 ± 2,3	85,5 ± 1,6	81,4 ± 1,4

чинами и женщинами), что указывает на отсутствие значимых отклонений оси вращения стержня от оси углубления в рабочей панели и на идентичность создаваемой операторами нагрузки на ВГ.

### Обсуждение

По результатам апробации предложенный стенд для моделирования локальной вибрации, при простоте своей реализации, позволяет воспроизвести условия рабочего места и рабочую позу оператора, максимально приближенные к практическому производству работ [8].

Апробация стенда наглядно показала простоту моделирования с его помощью локальной вибрации при идентичности экспериментальных условий для всех операторов. Особенностью стенда является использование в качестве источника вибрации стандартного ручного инструмента со встроенным двигателем.

Кроме того, результаты апробации показали, что практически все участки тела испытуемых в процессе работы с инструментом были охвачены вибрационным воздействием. В связи с этим термин «локальная вибрация» в рассматриваемом случае, видимо, не совсем корректен, но данный вопрос требует дополнительного изучения.

Следует отметить, что конструкция стенда обеспечивает свободный доступ к испытуемому для проведения медико-психофизиологических исследований для оценки функционального состояния организма [9–11].

Таким образом, представленный в данной работе принцип построения стенда для моделирования локальной вибрации решает задачу упрощения постановки экспериментальных исследований воздействия локальной вибрационной нагрузки на организм человека. При этом обеспечивается имитация условий рабочего места, максимально приближенных к практическому производственному процессу с использованием стандартного ручного инструмента со встроенным двигателем. Приведенную в работе схему построения стенда следует рассматривать как базовую модель, позволяющую введение дополнительных элементов: конструктивных (опорных для ручного инструмента или оператора, подставок при отдельных позах оператора, направляющих для инструмента и др.), измерительных (силы рабочего нажима — тензометрические датчики, динамометры и др.), модифицирующих стенд применительно к конкретным условиям и задачам исследования.

### Выводы

1. Предложенная в статье схема построения стенда для моделирования локальной вибрационной нагрузки обеспечивает стандартизованные условия для лабораторных исследований.

2. Учитывая распространенность ручного инструмента со встроенным двигателем во многих

отраслях промышленности, стенд может быть использован для научных исследований в области медицины труда и промышленной экологии, а также в учебном процессе для постановки лабораторных работ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дрогичина Э.А., Малинская Н.Н., Метлина Н.Б. *Вибрация на производстве: вопросы физики, гигиены и физиологии труда, клиники, патофизиологии и профилактики*. М.: Медицина; 1971.
2. Измеров Н.Ф., Суворов Г.А. *Физические факторы производственной и природной среды. Гигиеническая оценка и контроль*. М.: Медицина; 2003.
3. Косарев В.В., Бабанов С.А. *Справочник профпатолога*. Ростов-на-Дону: Феникс; 2011.
4. Ильина Л.В., Абакумов А.А., Петраш В.В., Чупрова С.Н., Литаева М.П. Профотбор и психофизиологический мониторинг функционального состояния судовых специалистов морского и речного флота (анализ состояния проблемы и перспективы развития). *Современные проблемы науки и образования*. 2016; (6): 245. DOI: <http://doi.org/10.17513/spno.25964>
5. Белов И.М., Дульнев А.И., Спиридонов Н.Н., Репин Р.В. Расчетно-экспериментальные исследования вибрации судов в условиях ледовой эксплуатации. *Полярная механика*. 2016; (3): 515-26.
6. Кривицкий А.К., Нагорный П.А. Имитатор ударной локальной вибрации. Патент РФ № 2052220; 1991.
7. Рутковский А.Ю., Мулов Д.В. Имитационное моделирование рабочего процесса ручной ударной машины с виброзащитной системой на основе кольцевых канатных виброизолаторов. *Научные труды Донецкого национального технического университета*. 2010; (18): 242-8.
8. Петраш В.В., Крыштоф Д.В., Милюнская Л.Н., Ильина Л.В. Устройство для моделирования локальной вибрации. Патент РФ №152370; 2015.
9. Белканиа Г.С., Дилениа Л.Р., Коньков Д.Г., Багриий А.С., Соботницкий А., Костенко Н.П. и др. *Кардиодинамические основы и перспективы клинического использования реографии. Антропофизиологический аспект*. Нижний Новгород; 2016.
10. Савушкина О.И., Черняк А.В., Неклюдова Г.В. *Лёгочные функциональные тесты: от теории к практике*. М.: СТРОМ; 2017.
11. Петраш В.В., Литаева М.П., Ильина Л.В. Современные методические подходы к анализу биоритмов человека в аспекте проблемы экспресс-оценки психических состояний. *Научное обозрение. Биологические науки*. 2017; (5): 13-7.

### REFERENCES

1. Drogichina E.A., Malinskaya N.N., Metlina N.B. *Vibration in Production: Issues of Physics, Hygiene and Physiology of Work, Clinic, Pathophysiology and Prevention [Vibratsiya na proizvodstve: voprosy fiziki, gigeny i fiziologii truda, kliniki, patofiziologii i profilaktiki]*. Moscow: Meditsina; 1971. (in Russian)
2. Izmerov N.F., Suvorov G.A. *Physical Factors of Production and Natural Environment. Hygienic Assessment and Control [Fizicheskie faktory proizvodstvennoy i prirodnoy sredy. Gigenicheskaya otsenka i kontrol']*. Moscow: Meditsina; 2003. (in Russian)
3. Kosarev V.V., Babanov S.A. *Handbook of Occupational Therapist [Spravochnik profpatologa]*. Rostov-na-Donu: Feniks; 2011. (in Russian)
4. Pina L.V., Abakumov A.A., Petrash V.V., Chuprova S.N., Litaeva M.P. Professional selection and psychophysiological monitoring the functional status of ship specialists sea and river fleet (problem analysis and development perspectives). *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2016; (6): 245. DOI: <http://doi.org/10.17513/spno.25964> (in Russian)

5. Belov I.M., Dul'nev A.I., Spiridonov N.N., Repin R.V. Numerical and full-scale experimental vibration analysis of ships in conditions of ice operation. *Polyarnaya mekhanika*. 2016; (3): 515-26. (in Russian)
6. Krivitskiy A.K., Nagornyy P.A. Simulator of shock local vibration. Patent RF № 2052220; 1991. (in Russian)
7. Rutkovskiy A. Yu., Mulov D.V. Imitating modeling of the manual percussive machine with vibration-proof system on the basis of ring rope vibroinsulators working process. *Nauchnye trudy Donetskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta*. 2010; (18): 242-8. (in Russian)
8. Petrash V.V., Kryshtof D.V., Milinevskaya L.N., Il'ina L.V. Device for modeling local vibration. Patent RF №152370; 2015. (in Russian)
9. Belkaniya G.S., Dilenyan L.R., Kon'kov D.G., Bagriy A.S., Sobotnitskiy A., Kostenko N.P., et al. *Cardiodynamic Basis and Prospects of Clinical Use of Rheography. Anthropophysiological Aspect [Kardiodinamicheskiye osnovy i perspektivy klinicheskogo ispol'zovaniya reografii. Antropofiziologicheskiy aspekt]*. Nizhniy Novgorod; 2016. (in Russian)
10. Savushkina O.I., Chernyak A.V., Neklyudova G.V. *Pulmonary Functional Tests: From Theory to Practice [Legochnye funktsional'nye testy: ot teorii k praktike]*. Moscow: STROM; 2017. (in Russian)
11. Petrash V.V., Litaeva M.P., Il'ina L.V. Modern methodical approaches to human biological rhythm analysis regarding the problem of mental conditions rapid assessment. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki*. 2017; (5): 13-7. (in Russian)