

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ

М. Л. Подвязников<sup>1</sup>, А. А. Новичков<sup>1</sup>, П. И. Толкачёв<sup>2</sup>,  
О. А. Викторов<sup>3</sup>, С. В. Божокин<sup>3</sup>, Н. П. Толкачёв<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО „Обуховский завод“, 192012, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ООО „АРС — Автоматизированные реабилитационные системы“, 198188, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: bsvjob@mail.ru

Представлен автоматизированный комплекс динамического позиционирования „Механор СА-05“, разработанный и изготовленный АО „Обуховский завод“. Комплекс позволяет автоматически управлять перемещением тела человека в гравитационном поле с помощью компьютерной программы, задающей различные направления, скорости движения и амплитуды качания механического стола. Комплекс применяется для диагностики и лечения дыхательной, сердечно-сосудистой, центральной и периферической нервной систем, опорно-двигательного аппарата, а также активации микроциркуляции крови и других биологических жидкостей. С помощью теории вейвлетов определены количественные параметры нестационарных сигналов ЭКГ, ЭЭГ, пульсовой волны и дыхательных ритмов во время проведения динамических ортостатических проб.

**Ключевые слова:** автоматизированный комплекс динамического позиционирования человека в гравитационном поле, нестационарные сигналы, теория вейвлетов, спектральные интегралы

**Введение.** В настоящее время широкое развитие получили различные инновационные технологии диагностики, лечения, реабилитации и профилактики различных заболеваний человека [1—9]. К таким инновационным технологиям относится механургия, которая характеризуется тем, что использует метод механической ориентации тела пациента в гравитационном поле (относительно вектора силы притяжения Земли) и включает процедуры мануальной терапии.

В настоящей статье представлены результаты разработки автоматизированного комплекса динамического позиционирования (АКДП) человека в гравитационном поле, а также результаты медицинских исследований, проведенных с помощью этого комплекса. АКДП представляет собой механургический стол с изменяющимся положением ложа и соответственно тела человека относительно направления вектора силы тяжести. АКДП — это единый информационно-диагностический комплекс, который предназначен для определения состояния человека, а также для целостной активации всех физиологических функций организма и для лечения пациентов с различными заболеваниями.

Существующие на сегодняшний день простейшие вертикализаторы, инверсионные и массажные столы либо вообще лишены возможности регулировки положения ложа, либо такая возможность очень ограничена. Электрические приводы подобных столов, как правило, не предназначены для длительной работы, имеют ограниченный диапазон перемещений и рассчитаны только на ручной режим управления от пульта. Недостаточная автоматизация оборудования снижает его медицинскую эффективность.

**Автоматизированный комплекс динамического позиционирования.** Первый АКДП в России был изготовлен в 2010 г. на ОАО „ГОЗ Обуховский завод“ (ныне АО „Обуховский завод“, Санкт-Петербург). АКДП имеет регистрационное удостоверение Росздравнадзора [10, 11] и патент РФ [12]. АКДП позволяет изменять положение ложа по высоте, осуществлять его наклон, а также вращать ложе с пациентом относительно вертикальной оси (рис. 1, *а–в* соответственно). Качание ложа характеризуется как положительными углами наклона (ортостатическая проба, проба в положении человека головой вверх — Head-Up Tilt Test, HUT), так и отрицательными углами наклона (антиортостатическая проба, проба в положении человека головой вниз — Head Down Tilt Test, HDT).

В настоящее время разработана новая модель АКДП „Механор СА-05“, сохранившая все возможности предыдущих (СА-01, 02 и 03). Но, в отличие от них, „Механор СА-05“ позволяет автоматизировать движения ложа стола и обладает улучшенными техническими характеристиками [13]:

- размеры ложа — 2000×850 мм;
- максимальный рост пациента — 2 м;
- максимальная масса пациента — 150 кг;
- минимальное расстояние от пола до ложа — 980 мм;
- ход ложа по вертикали — 500 мм;
- наклон ложа относительно горизонта:  $-15...+90^\circ$ ;
- угловая скорость при качании ложа:  $0...0,079$  рад/с;
- угловая скорость ложа:  $0...0,157$  рад/с;
- напряжение питания — 220 В;
- потребляемая мощность — до 2 кВт.

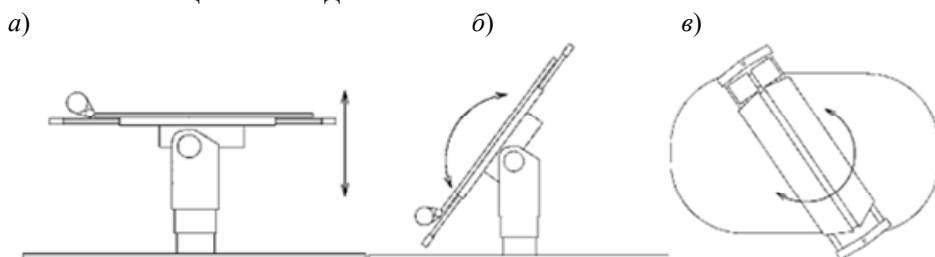


Рис. 1

Электрические приводы АКДП рассчитаны на продолжительный режим работы. Вращение ложа относительно его вертикальной оси не ограничено в любом направлении. Движения ложа (вертикальное, качание и вращение) можно комбинировать различными способами, что значительно расширяет возможности ориентации тела пациента. В частности, в отличие от первых конструкций механургических столов, АКДП позволяет с помощью комбинации движений ложа в двух плоскостях осуществлять ориентацию тела человека в расширенном диапазоне углов наклона  $-90...+90^\circ$ . Например, если движение ложа начинается при вертикальной ориентации человека головой вверх ( $+90^\circ$ ), то вначале выполняется возврат ложа в горизонтальное положение (0). Затем производится разворот ложа вокруг вертикальной оси на  $180^\circ$  и далее возможен наклон до вертикального положения человека головой вниз ( $-90^\circ$ ).

Важная отличительная особенность АКДП „Механор СА-05“ заключается в том, что в его системе управления для полной и эффективной диагностики и реализации лечебных методик предусмотрен автоматический режим. Это позволяет во время лечебного сеанса по заранее составленным программам изменять положение ложа по требуемым траекториям с необходимым темпом чередования различных комбинаций направлений, скоростей и амплитуд перемещений. Программы движений ложа в процессе сеанса для каждого пациента составляются индивидуально в зависимости от состояния его здоровья.

Во время движения ложа по сложным траекториям и при проведении антиортостатической пробы исключена возможность падения пациента. Для этого в конструкции АКДП предусмотрены две поворотные крестовины, с возможностью дистальной фиксации рук и ног пациента, а также настройки по росту и положению головы человека.

**Электроприводы и система управления движением АКДП „Механор СА-05“.** Перемещения ложа осуществляются мотор-редукторами с синхронными серводвигателями серии SMP (компании SEW EURODRIVE, Германия), на валах которых установлены датчики скорости и абсолютного положения HIPERFACE. Выбор синхронных серводвигателей обоснован возможностью регулирования скорости в широком диапазоне, оптимальными массогабаритными характеристиками, естественным охлаждением, пониженными вибрациями и малым акустическим шумом.

Система управления столом (рис. 2) построена по идеологии систем с числовым программным управлением (ЧПУ). Питание серводвигателей осуществляется от трех сервоусилителей MOVITRAC LTX, на базе которых реализованы замкнутые системы регулирования положения осей. Управление сервоприводами во всех режимах выполняется через контроллер MOVI-PLC DHE21B (с системой ввода-вывода) по шине S-Bus (CAN). К контроллеру подключены пульт ручного управления и персональный компьютер.

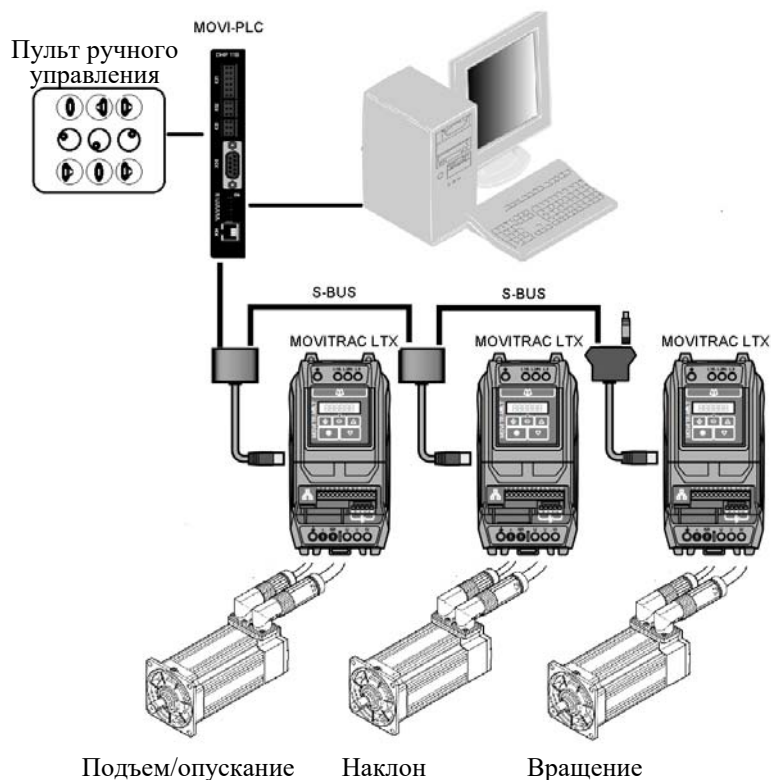


Рис. 2

При ручном управлении АКДП все приводы работают в режиме регулирования скорости. При этом оператор имеет возможность либо выбрать одну из двух зафиксированных заранее уставок скорости, либо использовать плавную регулировку. В автоматическом режиме управление положением приводов осуществляется по заранее подготовленной программе. Программа сеанса состоит из отдельных кадров, в которых задаются простейшие движения приводов осей ложа с возможностью остановки и циклического их повторения требуемое число раз. Для создания таких программ в человеко-машинном интерфейсе предусмотрен экран конфигуратора кадров, позволяющий создавать, редактировать и сохранять в архиве для дальнейшего использования программу каждого сеанса. Графический интерфейс конфигуратора

разработан для пользователей, не имеющих специальной подготовки в области программирования систем с ЧПУ.

В целом человекомашинный интерфейс разработан с использованием графического редактора CoDeSys и включает в себя, помимо конфигуратора кадров, следующие экраны: автоматического управления (запуск и контроль исполнения программ сеансов); ручного управления; настройки пульта ручного управления; видеосуфлера; сервисного обслуживания. Программное обеспечение для контроллера выполнено в среде CoDeSys с использованием платформы управления перемещениями MultiMotion (SEW EURODRIVE).

**Использование АКДП в лечебных и реабилитационных процедурах.** В последнее время появились методики лечения, требующие изменять положение тела человека (постуральные ориентации) в широком диапазоне в процессе проведения массажных и терапевтических процедур. АКДП „Механор СА-05“ при использовании в диагностических и лечебно-реабилитационных целях, позволяет:

1) проводить пульсоксиметрию, функциональную диагностику микроциркуляции сердечно-сосудистой системы, центральной нервной системы, дыхательной системы и опорно-двигательного аппарата в условиях динамического позиционирования тела в гравитационном поле;

2) имитировать движения нижних конечностей, тазового пояса и позвоночника; выполнять психотерапевтическое, психосоматическое воздействие на человека посредством ритмичного покачивания и вращения стола, а также путем активации функции вестибулярного аппарата;

3) возбуждать условно-рефлекторные реакции и формировать новые функциональные взаимосвязи систем и структур организма в превентивных, лечебных и реабилитационных целях;

4) классифицировать адаптивные возможности человека при проведении постуральных воздействий;

5) оказывать эффективную медицинскую помощь, заключающуюся в целостной активации функций структур организма и текучести жидких сред силой гравитации в сочетании с массажем и мануальной терапией;

6) способствовать профилактике осложнений, вызванных вынужденной гиподинамией, связанной с исполнением назначенного врачом постельного режима;

7) проводить профилактику пролежней и застойной пневмонии;

8) осуществлять реабилитацию хронической недостаточности кровообращения различного генеза;

9) проводить реабилитацию пациентов и способствовать восстановлению кровообращения, в частности, у космонавтов, летчиков, водолазов и подводников.

**Диагностический комплекс.** Использование АКДП „Механор СА-05“ позволяет применять стандартные диагностические методики (электроэнцефалограмму — ЭЭГ, электрокардиограмму — ЭКГ, пульсоксиметрию, мониторинг артериального давления, скоростей и профиля пульсовой волны, дыхательных ритмов и пр.) и регистрировать электрические сигналы структур организма в процессе динамической ориентации человека по отношению к вектору силы тяжести. Среди многих функциональных проб (велоэргометрия, беговая дорожка, дыхательные, фармакологические и психоэмоциональные пробы) ортостатические пробы позволяют стандартизировать внешнее воздействие на все морфологические структуры человека.

Все физиологические ритмы человека при условии проведения диагностического сеанса с использованием АКДП не являются стационарными, что подразумевает повторяемость статистических и спектральных свойств таких сигналов на различных этапах проведения ортостатических проб. Для описания динамики изменений спектральных свойств нестационарных

физиологических сигналов была применена теория вейвлетов [14, 15]. Система количественных диагностических параметров, описывающих такие сигналы, изложена в работах [16—19]. Компьютерная программа, рассчитывающая количественные параметры нестационарных сигналов, реализована в виде исполняемых файлов [20—22].

**Заключение.** Автоматизированный комплекс динамического позиционирования человека в гравитационном поле — АКДП „Механор СА-05“ — разработан и изготовлен в рамках программы диверсификации производства. Конструкция комплекса позволяет в широком диапазоне изменять положение тела человека в гравитационном поле, в том числе за счет совместной работы нескольких приводов. Электроприводы, рассчитанные на продолжительный режим работы, обеспечивают возможность постоянного движения механургического стола при проведении длительных терапевтических сеансов.

Управление движением приводов возможно в двух режимах: ручном и автоматическом. В автоматическом режиме работы сервоприводы замкнуты по положению и управление перемещением ложа во время сеанса осуществляется по заданной программе. Программы составляются индивидуально для каждого пациента, а их подготовка максимально облегчена и не требует специальных навыков в программировании.

Три образца механургического стола, установленные в лаборатории механургии Санкт-Петербургского политехнического университета, на кафедре нормальной физиологии Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова и в отделе экологической физиологии Института экспериментальной медицины, прошли успешную апробацию в ходе научно-исследовательских испытаний, а также при диагностике и определении функциональных реакций испытуемых. С помощью теории вейвлетов разработана компьютерная программа, анализирующая нестационарные ритмы сердца человека, пассивно движущегося в гравитационном поле. Техника спектральных интегралов применена для описания частотно-модулированного сигнала ритмограммы сердца. Разработана модель нестационарных сигналов, которая представляет собой систему всплесков активности ритмов сердца в различных спектральных диапазонах.

Апробированы методики мониторинга функциональных реакций сердечно-сосудистой, центральной нервной, дыхательной систем человека и опорно-двигательного аппарата во время проведения ортостатических проб, осуществляемых с помощью АКДП.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Papadakis M. A., McPhee S. J. *Current Medical Diagnosis and Treatment*. McGraw-Hill, 2019.
2. Lee I., Sokolsky O., Chen S., Hatcliff J., Jee E., Kim B. G., King A., Mullen-Fortino M., Park S., Roederer A., Venkatasubramanian K. Challenges and research directions in medical cyber-physical systems // *Proc. IEEE*. 2012. Vol. 100, N. 1. P. 75—90. DOI: 10.1109/JPROC.2011.2165270.
3. Silva L. C., Almeida H. O., Perkusich A., Perkusich M. A model-based approach to support validation of medical cyber-physical systems // *Sensors*. 2015. Vol. 15. P. 27625—27670. DOI: 10.3390/s151127625.
4. Lee E. A. The past, present and future of cyber-physical systems: a focus on models // *Sensors*. 2015. Vol. 15. P. 4837—4869. DOI: 10.3390/s150304837.
5. Аронов Д. М., Лупанов В. П. *Функциональные пробы в кардиологии*. М.: МЕДпресс-информ, 2007.
6. Вассерман Е. Л., Карташев Н. К., Жвалевский О. В., Рудницкий С. Б. Гибкая архитектура аппаратно-программных комплексов для физиологических исследований // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2016. Т. 59, № 11. С. 952—958. DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-11-952-958.
7. Мусаев А. А., Загайнов А. И. Программный комплекс идентификации хаотических параметров мозгового кровообращения // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2016. Т. 59, № 11. С. 959—963. DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-11-959-963.

8. Кривошеев С. В., Соколов С. К., Олейник Р. В., Резников С. С. Разработка реабилитационного устройства для локтевого сустава // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 2. С. 181—185. DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-2-181-185.
9. Абухай Т. М., Ковальчук С. В., Балахонцева М. А., Бухановский А. В. Моделирование, анализ и прогнозирование процессов оказания кардиологической помощи в стационаре // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 8. С. 730—733. DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-8-730-733.
10. Пат. 2391084 РФ. Механургический стол для массажа и мануальной терапии / П. И. Толкачев, А. В. Пантелеев, М. Л. Подвязников. Оpubл. 06.10.2010 [Электронный ресурс]: <<http://bd.patent.su/2391000-2391999/pat/serv1/servletbeec.html>>.
11. Регистрационное удостоверение Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения и социального развития ( № ФСР 2011/12256) [Электронный ресурс]: <<https://nevacert.ru/reestry/med-reestr/fsr-2011-12256-029123>>.
12. Пат. 100902 U1 РФ. Средство дистальной фиксации нижней конечности человека на медицинском или спортивно-тренажерном оборудовании / П. И. Толкачев, А. В. Пантелеев, М. Л. Подвязников. 2011 [Электронный ресурс]: <[https://patents.s3.yandex.net/RU100902U1\\_20110110.pdf](https://patents.s3.yandex.net/RU100902U1_20110110.pdf)>.
13. Автоматизированный комплекс динамического позиционирования „Механор СА-05“ [Электронный ресурс]: <<https://yadi.sk/i/ouOwkDNo9vra4A>>.
14. Chui C. K., Jiang O. Applied Mathematics. Data Compression, Spectral Methods, Fourier Analysis, Wavelet and Applications. Atlantis Press, 2013.
15. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MathLab. М.: ДМК Пресс, 2008.
16. Божокин С. В., Лесова Е. М., Самойлов В. О., Толкачев П. И. Вейвлет-анализ нестационарной variability сердечного ритма при проведении пассивной ортостатической пробы // Биофизика. 2012. Т. 57(4). С. 696—712.
17. Софронов Г. А., Суворов Н. Б., Толкачев П. И., Сергеев Т. В. Влияние постуральной коррекции гемодинамики на параметры сердечного ритма // Медицинский академический журн. 2014. Т. 14 (3). С. 38—51.
18. Божокин С. В., Лесова Е. М., Самойлов В. О., Тараканов Д. Е. Нестационарная variability сердечного ритма во время дыхательных проб // Физиология человека. 2018. Т. 44(1). С. 39—48. DOI: 10.7868/S0131164618010058.
19. Божокин С. В., Лесова Е. М., Самойлов В. О., Баранцев К. А. Нестационарная variability сердечного ритма во время антиортостатической пробы // Биофизика. 2020. Т. 65, № 1. С. 175—183. DOI: 10.31857/S0006302920010196.
20. Bozhokin S. V., Suvorov N. B. Wavelet analysis of transients of an electroencephalogram at photostimulation // Biomed. Radioelektron. 2008. N 3. P. 21—25 [Электронный ресурс]: <<http://www.radiotec.ru/article/3118>>.
21. Bozhokin S. V., Suslova I. B. Wavelet analysis of non-stationary signals in medical cyber-physical systems (MCPS) // Lecture Notes of Computer Science, LNCS. 2014. Vol. 8638. P. 467—480 [Электронный ресурс]: <[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10353-2\\_42](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10353-2_42)>.
22. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ, № 2016617155. Программа SWTPPhase / С. В. Божокин. Дата регистрации 28.06.2016 [Электронный ресурс]: <<http://www1.fips.ru/Archive/EVM/2016/2016.07.20/Index.htm>>.

#### Сведения об авторах

- Михаил Львович Подвязников** — д-р техн. наук; АО „Обуховский завод“; генеральный директор; E-mail: okbgoz@goz.ru
- Александр Анатольевич Новичков** — канд. техн. наук; АО „Обуховский завод“; гл. конструктор ОКБ; E-mail: okbgoz@goz.ru
- Петр Иванович Толкачёв** — ООО „АРС“; врач-терапевт; E-mail: mehanurg@mail.ru
- Олег Анатольевич Викторov** — канд. техн. наук, доцент; СПбПУ Петра Великого; Институт компьютерных наук и технологий; E-mail: o\_viktorov@mail.ru
- Сергей Валентинович Божокин** — канд. физ.-мат. наук, доцент; СПбПУ Петра Великого; Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций; E-mail: bsvjob@mail.ru
- Никита Петрович Толкачёв** — ООО „АРС“; зав. лабораторией; E-mail: mehanurg@mail.ru

Поступила в редакцию  
14.02.2020 г.

**Ссылка для цитирования:** Подвязников М. Л., Новичков А. А., Толкачев П. И., Викторов О. А., Божокин С. В., Толкачев Н. П. Автоматизированный комплекс динамического позиционирования человека в гравитационном поле // Изв. вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 5. С. 483—490.

#### AUTOMATED COMPLEX FOR DYNAMIC POSITIONING OF A PERSON IN A GRAVITATIONAL FIELD

M. L. Podvyaznikov<sup>1</sup>, A. A. Novichkov<sup>1</sup>, P. I. Tolkachev<sup>2</sup>,  
O. A. Viktorov<sup>3</sup>, S. V. Bozhokin<sup>3</sup>, N. P. Tolkachev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> JSC Obukhov Plant, 192012, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Automated Rehabilitation Systems Ltd., 198188, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 195251, St. Petersburg, Russia  
E-mail: bsvjob@mail.ru

An automated system for dynamic positioning Mechanor SA-05 developed and manufactured by JSC Obukhov Plant, is presented. The complex makes it possible to automatically control a human body movement in the gravitational field using a computer program that sets various directions and speeds, amplitudes, and angular vibrations. The complex is used for diagnostics and treatment of respiratory, cardiovascular, central and peripheral nervous systems, musculoskeletal system, as well as activation of microcirculation of blood and other biological fluids. Based on the wavelet theory, quantitative parameters of non-stationary ECG, EEG, pulse wave and respiratory rhythms were determined during dynamic orthostatic tests.

**Keywords:** automated complex for dynamic positioning of a person in a gravitational field, nonstationary signals, wavelet theory, spectral integrals

#### REFERENCES

- Papadakis M.A., McPhee S.J. *Current medical diagnosis and treatment*, McGraw-Hill, 2019.
- Lee I., Sokolsky O., Chen S., Hatcliff J., Jee E., Kim B.G., King A., Mullen-Fortino M., Park S., Roederer A., Venkatasubramanian K. *Proceedings of the IEEE*, 2012, no. 1(100), pp. 75–90. DOI: 10.1109/JPROC.2011.2165270.
- Silva L.C., Almeida H.O., Perkusich A., Perkusich M. *Sensors*, 2015, vol. 15, pp. 27625–27670, DOI: 10.3390/s151127625.
- Lee E.A. *Sensors*, 2015, vol. 15, pp. 4837–4869, DOI: 10.3390/s150304837.
- Aronov D.M., Lupanov V.P. *Funktsional'nyye proby v kardiologii* (Functional Tests in Cardiology), Moscow, 2007. (in Russ.)
- Wasserman E.L., Kartashev N.K., Zhvalevsky O.V., Roudnitsky S.B.F. *Journal of Instrument Engineering*, 2016, no. 11(59), pp. 952–958. DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-11-952-958. (in Russ.)
- Musaev A.A., Zagaynov A.I. *Journal of Instrument Engineering*, 2016, no. 11(59), pp. 959–963. DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-11-959-963. (in Russ.)
- Krivosheev S.V., Sokolov S.K., Oleynik R.V., Reznikov S.S. *Journal of Instrument Engineering*, 2018, no. 2(61), pp. 181–185. DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-2-181-185. (in Russ.)
- Abuhay T.M., Kovalchuk S.V., Balakhontseva M.A., Boukhanovsky A.V. *Journal of Instrument Engineering*, 2018, no. 8(61), pp. 730–733. DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-8-730-733. (in Russ.)
- Patent RU 2391084, *Mekhanurgicheskiy stol dlya massazha I manual'noy terapii* (Mechanurgical Table for Massage and Manual Therapy), Tolkachev P.I., Panteleyev A.V., Podvyaznikov M.L., <http://bd.patent.su/2391000-2391999/pat/serv/servletbeec.html>. (in Russ.)
- <https://nevacert.ru/reestry/med-reestr/fsr-2011-12256-o29123>. (in Russ.)
- Patent RU 100902 U1, *Sredstvo distal'noy fiksatsii nizhney konechnosti cheloveka na meditsinskom ili sportivno-trenazhernom oborudovanii* (Means of Distal Fixation of the Lower Limb of a Person on Medical or Sports Equipment), Tolkachev P.I., Panteleyev A.V., Podvyaznikov M.L., 2011, [https://patents.s3.yandex.net/RU100902U1\\_20110110.pdf](https://patents.s3.yandex.net/RU100902U1_20110110.pdf). (in Russ.)
- <https://yadi.sk/i/ouOwkDNo9vra4A>. (in Russ.)
- Chui C.K., Jiang O. *Applied Mathematics. Data Compression, Spectral Methods, Fourier Analysis, Wavelet and Applications*, Atlantis Press, 2013.
- Smolentsev N.K. *Osnovy teorii veyvletov. Veyvlety v MatLab* (Fundamentals of the Theory of Wavelets. Wavelets in MatLab), Moscow, 2008. (in Russ.)
- Bozhokin S.V., Lesova E.M., Samoilov V.O., Tolkachev P.I. *Biophysics*, 2012, no. 4(57), pp. 530–543.
- Sofronov G.A., Suvorov N.B., Tolkachev P.I., Sergeev T.V. *Medical Academic Journal*, 2014, no. 3(14), pp. 38–51. (in Russ.)
- Bozhokin S.V., Lesova E.M., Samoilov V.O., Tarakanov D.E. *Human Physiology*. 2018, no. 1(44), pp. 32–40, DOI: 10.7868/S0131164618010058.
- Bozhokin S.V., Lesova E.M., Samoylov V.O., Barantsev K.A., *Biophysics*, 2020, no. 1(65), pp. 175–183, DOI: 10.31857/S0006302920010196.
- Bozhokin S.V., Suvorov N.B. *Biomed. Radioelektron*, 2008, no. 3, pp. 21–25, <http://www.radiotec.ru/article/3118>.

21. Bozhokin S.V., Suslova I.B. *Lecture Notes of Computer Science, LNCS*, 2014, vol. 8638, pp. 467–480, [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10353-2\\_42](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10353-2_42).
22. Certificate on the state registration of the computer programs 2016617155, *Programma CWTPPhase* (CWTPPhase Program), Bozhokin S.V., Priority 04 May 2016, Published 20.07.2016, Bulletin 7, <http://www1.fips.ru/Archive/EVM/2016/2016.07.20/Index.htm> (in Russ.)

#### Data on authors

- Michael L. Podvyaznikov** — Dr. Sci.; JSC Obukhov Plant; Director General;  
E-mail: okbgoz@goz.ru
- Alexander A. Novichkov** — PhD; JSC Obukhov Plant; DB Chief Designer; E-mail: okbgoz@goz.ru
- Petr I. Tolkachev** — Automated Rehabilitation Systems Ltd.; Doctor-Therapist;  
E-mail: mehanurg@mail.ru
- Oleg A. Viktorov** — PhD, Associate Professor; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Institute of Computer Science and Technology;  
E-mail: o\_viktorov@mail.ru
- Sergey V. Bozhokin** — PhD, Associate Professor; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Institute of Physics, Nanotechnology and Telecommunications; E-mail: bsvjob@mail.ru
- Nikita P. Tolkachev** — Automated Rehabilitation Systems Ltd.; Head of Laboratory;  
E-mail: mehanurg@mail.ru

**For citation:** Podvyaznikov M. L., Novichkov A. A., Tolkachev P. I., Viktorov O. A., Bozhokin S. V., Tolkachev N. P. Automated complex for dynamic positioning of a person in a gravitational field. *Journal of Instrument Engineering*. 2020. Vol. 63, N 5. P. 483—490 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-5-483-490