

## ФОРМИРОВАНИЕ У ЧЕЛОВЕКА НАВЫКА ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ НА ВНЕШНИЕ СТИМУЛЫ ДВИЖЕНИЯМИ РУКИ И ТЕЛА

В.А. ДУБОВСКИЙ<sup>1</sup>, В.В. САВЧЕНКО<sup>1</sup>, Н.В. ЩЕРБИНА<sup>2</sup>, А.Ф. КУЗЬМЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси  
Академическая, 12, Минск, 220072, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

**Аннотация.** Исследован процесс обучения человека экстренному реагированию на внешние стимулы с использованием балансировочной стабилметрической платформы с визуальной обратной связью по отклонению опорной поверхности от горизонтального положения. Выявлены особенности и проведен сравнительный анализ процесса формирования у человека навыка экстренного реагирования на зрительные стимулы движениями руки и центра тяжести тела. Результаты исследования являются научным обоснованием применения балансировочных стабилметрических систем для восстановления или развития двигательных функций человека, в том числе и для выработки профессионально важных качеств у операторов человеко-машинных систем.

**Ключевые слова:** двигательное обучение, время реакции, система «человек-машина», функциональное состояние, профессионально важные качества.

**Abstract.** In this paper we present some results concerning the use of an unstable balance platform equipped with visual feedback of the support surface inclination to train human ability to react quickly with the movements of the hand and the center of gravity of the body. The results of the study demonstrated that the balancing stabilometric systems are effective means of acquiring professionally important qualities of man-machine systems operators.

**Keywords:** motor learning, response time, "man-machine" system, functional state, professionally important qualities.

### Введение

Изучение механизмов двигательного обучения, несмотря на многочисленные исследования в этом направлении, остается одной из центральных задач физиологии моторной активности человека применительно к таким областям, как медицинская реабилитация, подготовка спортсменов, профотбор и выработка профессионально важных качеств операторов систем «человек-машина» [1]. Известно, что двигательные (сенсомоторные) реакции человека являются формой целенаправленного поведения с полезным для субъекта приспособительным результатом и предполагают взаимодействие сенсорных и двигательных систем [2, 3]. Информация, поступающая от сенсорных анализаторов, приводит к запуску определенных двигательных программ, а также активизирует отделы центральной нервной системы (ЦНС), ответственные за контроль над этими программами и их корректировку.

Одним из подходов к изучению сенсомоторной активности человека является регистрация и анализ времени экстренных двигательных реакций, основанных на предварительной инструкции [2–4]. Словесная инструкция создает доминирующую мотивацию, или цель действия, которая заключается в максимально быстром реагировании движением на заранее обусловленный сигнал – информационный пусковой стимул. Под временем реакции понимается интервал времени между появлением сигнала и ответной реакцией, который включает в себя следующие компоненты [3–5]: время возбуждения рецептора и послышки импульса в соответствующий чувствительный центр; время обработки сигнала в ЦНС; время

принятия решения о реагировании на сигнал; время передачи сигнала по эфферентным волокнам к мышцам; время развития возбуждения в мышцах и преодоления инерции тела или его отдельного звена. Основными типами сенсомоторных реакций считаются [3–5]:

- Простая реакция, когда испытуемый реагирует на появление любого стимула одним и тем же способом (например, нажатием определенной кнопки).
- Реакция различения, когда испытуемый определенным способом реагирует лишь на один вид раздражителя, игнорируя все другие.
- Реакция выбора, когда испытуемый реагирует одним способом на один раздражитель и другими способами на другие.

К настоящему времени проведено большое количество исследований, в ходе которых в основном изучались такие проблемы, как влияние внешних факторов, индивидуальных особенностей и психофизиологического состояния человека на время его реакции, а также анализировались механизмы познавательных процессов в когнитивной психологии [4]. Авторам неизвестны работы, в которых был бы исследован процесс обучения человека, находящегося в вертикальной позе, экстренному реагированию на внешние стимулы движениями центра тяжести (ЦТ) тела. Подобного рода исследования позволили бы получить дополнительные данные о процессе формирования навыка произвольного управления ЦТ тела и провести сравнительный анализ результатов, полученных при формировании у человека навыка экстренного реагирования на зрительные стимулы движениями руки и ЦТ. Данная постановка задачи легла в основу настоящей работы.

### **Методика эксперимента**

В исследовании принимали участие 28 здоровых испытуемых, не имеющих повреждений опорно-двигательного аппарата, в возрасте от 21 до 70 лет. Средний возраст составил 39,6 года. Все участники были заранее проинформированы о цели и содержании исследования и дали согласие на проведение эксперимента. Для исследования был использован программно-аппаратный стабилометрический комплекс «Стабилотренажер Д-01», разработанный в ОИМ НАН Беларуси. Данный комплекс содержит балансировочную платформу, которая характеризуется наличием ряда устойчивых положений, и позволяет измерять способность человека экстренно реагировать на зрительные стимулы целенаправленными движениями рук и ЦТ тела (тест «Реакция») [6].

Испытуемые были разделены на две группы по 14 человек. Первая группа (средний возраст 39,4 года) обучалась экстренному реагированию на зрительные стимулы целенаправленными движениями ЦТ тела путем непрерывной тренировки в течение 10 сеансов. Тренировочный сеанс состоял из четырех этапов, на каждом из которых испытуемый, стоя в вертикальной позе на балансировочной платформе в одном из ее устойчивых положений, должен был как можно быстрее изменить положение ЦТ тела в заданном направлении в ответ на определенный зрительный стимул на экране монитора. На каждом этапе измерялось время  $t_p$  реакции испытуемого как время между предъявлением стимула и началом движения платформы. Окно с визуальной обратной связью по положению платформы в тесте «Реакция» показано на рисунке 1.

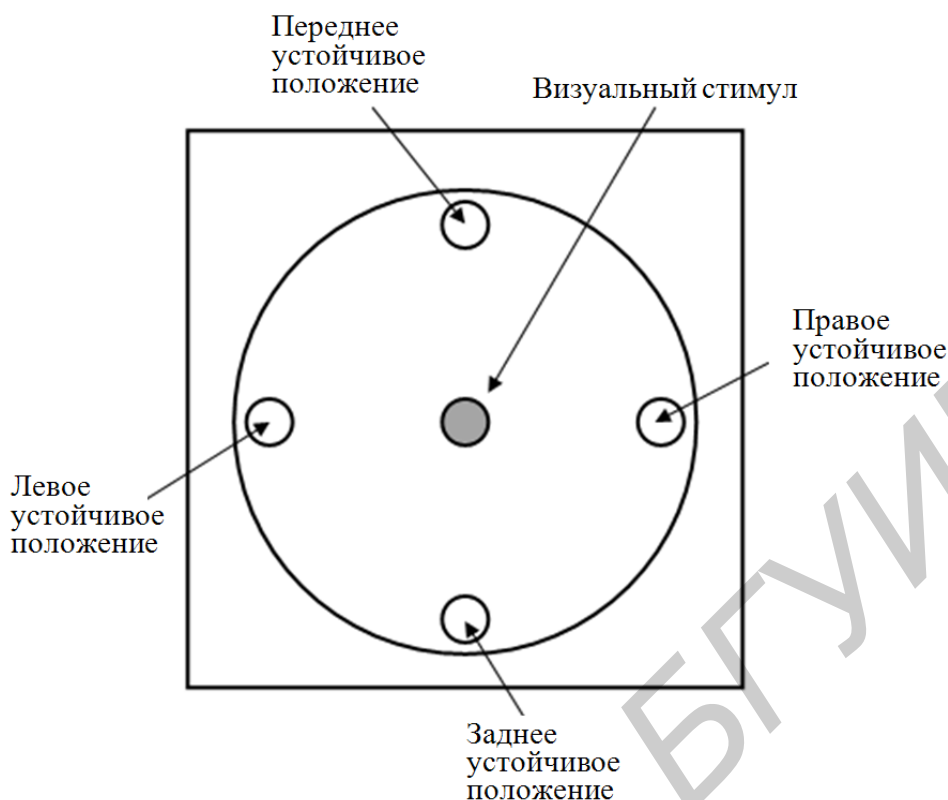


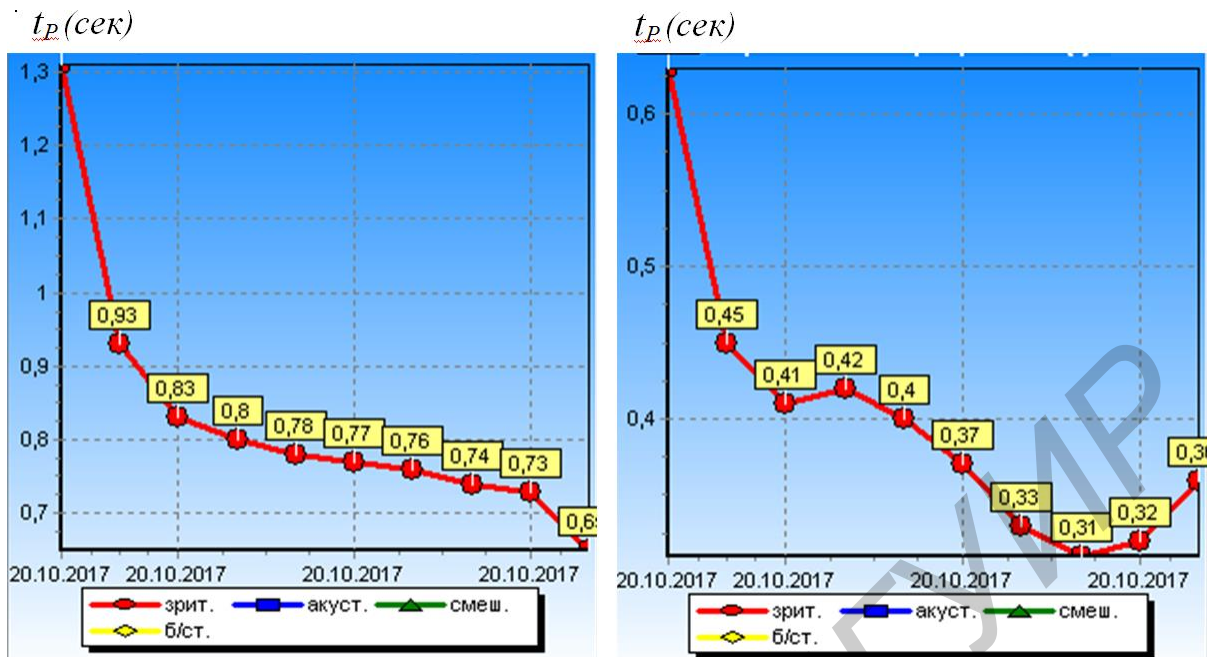
Рис. 1. Окно с визуальной обратной связью по положению опорной платформы в тесте «Реакция»

На первом этапе испытуемый, стоя на платформе так, чтобы она находилась в заднем устойчивом положении, должен был реагировать на появление визуального стимула перемещением ЦТ тела вперед. На втором этапе испытуемый реагировал из переднего устойчивого положения платформы перемещением ЦТ тела назад. На третьем и четвертом этапах аналогичным образом измерялось время реакции испытуемого в направлениях влево и вправо. После четвертого этапа вычислялось среднее время реакции испытуемого за пройденный сеанс тренинга. По завершении 10 сеансов тренировочного процесса балансирующую платформу устанавливали на столе и предлагали испытуемому пройти один раз тест «Реакция», реагируя на предъявляемые стимулы движениями правой руки (11-й сеанс). Испытуемые второй группы (средний возраст 39,8 года) обучались экстренному реагированию на зрительные стимулы целенаправленными движениями правой руки путем непрерывной тренировки также в течение 10 сеансов, после чего проходили один раз тест «Реакция» (11-й сеанс), реагируя на предъявляемые стимулы движениями ЦТ тела.

По завершении тренировочного процесса в каждой из групп рассчитывали средние значения времени  $t_p$  реакции по каждому сеансу, на основании которых получали динамику формирования навыка экстренного реагирования на внешние стимулы. Под «обучением» понималось изменение успешности выполнения задания в течение тренировочного процесса, которое характеризует способность к формированию новой двигательной координации [7]. Для оценки обучения производили регрессионный анализ и сравнивали углы наклона линий регрессии, описывающих полученные нами кривые обучения в ходе 10-сеансовой тренировки.

### Результаты и обсуждение

На рисунке 2 приведены наиболее характерные результаты тренинга отдельных испытуемых из первой и второй групп.



а б  
Рис. 2. Динамика времени  $t_P$  реакции на внешние стимулы испытуемого А из 1-й группы (а) и испытуемого Б из 2-й группы (б)  
Динамика формирования навыка экстренного реагирования на внешние стимулы в первой и второй группах испытуемых представлена на рисунке 3.

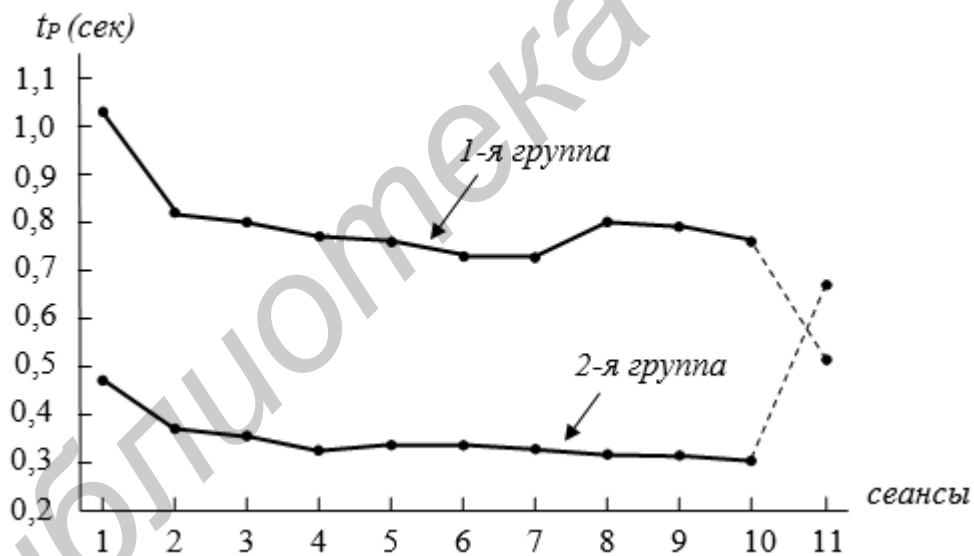


Рис. 3 Динамика успешности выполнения теста «Реакция» в 1-й и 2-й группах испытуемых  
Результаты регрессионного анализа проведенного процесса обучения в первой и второй группах испытуемых в течение 10-ти сеансов приведены на рисунке 4.

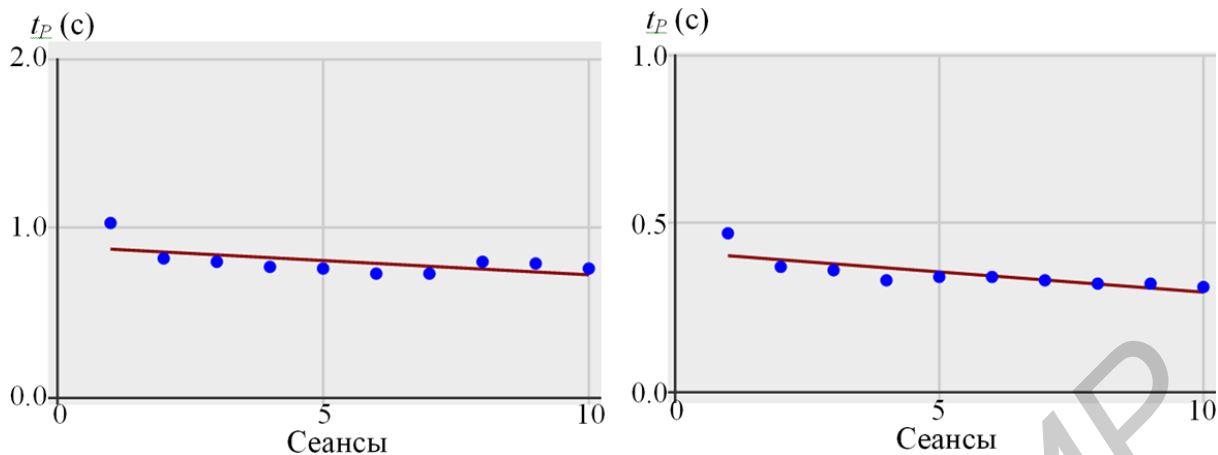


Рис. 4 Линия регрессии, описывающая ход обучения испытуемых 1-й группы (а) и испытуемых 2-й группы (б)

Результаты исследования показывают, что время  $t_p$  реакции испытуемых движением ЦТ тела в среднем более чем в два раза выше, чем движением руки. Вероятно, это может быть связано с тем, что в первом случае необходимо преодолеть инерцию тела с существенно большей массой и подключением большего количества мышц, а также с тем, что двигательные функции рук существенно более развиты, чем функция движения тела. При этом эффективность тренировки навыка экстренного реагирования на зрительные стимулы движениями ЦТ тела (коэффициент  $a = -0.0169$ ) несколько выше, чем движениями руки (коэффициент  $a = -0.0121$ ), что также объясняется более высоким уровнем развития двигательных функций рук и соответственно большими неиспользованными резервами нейронных структур ЦНС, ответственных за перемещения ЦТ тела.

Результаты исследования также показали, что тренировка испытуемых 1-й группы экстренному реагированию на внешние стимулы ЦТ своего тела не оказала позитивного влияния на функцию реагирования рукой, среднее значение показателя  $t_p$  которой в 11-м сеансе составило 0,51 с и близко к среднему начальному значению данного показателя (0,47 с), полученному во 2-й группе. В то же время исследование показали, что тренировка испытуемых 2-й группы экстренному реагированию движениями руки существенно повысила эффективность функции реагирования ЦТ тела, о чем свидетельствует полученное в 11-м сеансе среднее значение  $t_p = 0,68$  с, которое оказалось даже ниже среднего значения (0,76 с) данного показателя завершающего сеанса тренировки испытуемых 1-й группы.

Как известно, в системах «человек-машина», одним из ключевых факторов, обеспечивающих безопасность функционирования, является функциональное состояние оператора непосредственно во время выполнения алгоритмов деятельности, в частности, текущие параметры профессионально важных качеств, необходимых для конкретного вида деятельности, например, параметры готовности к экстренному выполнению алгоритмов деятельности. Известно, что на автомобильном транспорте, по причине «человеческого фактора», происходит до 90% аварий. При этом в 57 % происшествий водительская ошибка является практически единственным фактором, который мог привести к аварии [8]. Лишь 2,4 % несчастных случаев можно объяснить исключительно технической неисправностью, а неблагоприятная окружающая среда (например, гололед) обуславливает 4,7 % дорожных происшествий. Остальные 35,9 % дорожно-транспортных происшествий (ДТП) происходят в силу сложного сочетания различных факторов. Данные, собранные в отдельных странах, как правило, незначительно отличаются от этих среднемировых показателей.

На основе анализа причин ДТП, получено следующее распределение ошибок водителей по категориям: ошибка пропуска – существенное действие не выполнено; ошибка исполнения – выполненное действие неправильно; экстраординарная ошибка – совершенное действие не должно было быть выполнено; последовательная ошибка – порядок выполнения действий был неправильным; временная ошибка – время выполнения действий было неправильным.

Сравнение этих категорий ошибок с причинами ДТП показывает, что задержка распознаваемости предметов, в результате которой происходит около 50 % ДТП, зависит главным образом от временной ошибки. Принятие ошибочных решений водителями является

причиной 40 % всех ДТП (ошибки исполнения). Неправильные действия водителей по управлению транспортным средством – причины 5 % всех ДТП (экстраординарная ошибка). У водителей, управляющих транспортным средством в состоянии уменьшенной степени бодрствования, повышается вероятность быть вовлеченными в ДТП ввиду того, что время реакции увеличивается из-за падения способности быстро реагировать и обрабатывать многочисленную информацию, а также из-за мышечной релаксации. В таком состоянии водителю требуется 3–4 с для отжатия педали тормоза вместо 0,7 с в нормальном состоянии. Уменьшение этого времени на 0,5 с сокращает приблизительно 60% наездов сзади, 50 % ДТП на перекрестках и 30 % ДТП с участием встречных транспортных средств. При уменьшении времени реакции на 1 с на 90% сокращаются наезды сзади и ДТП на перекрестках, предотвращается свыше 60 % встречных столкновений автомобилей [8].

### Заключение

Исследован процесс обучения человека экстренному реагированию на внешние стимулы с использованием балансировочной стабилметрической платформы с визуальной обратной связью по отклонению опорной поверхности от горизонтального положения. Показано, что способность человека экстренно реагировать на внешние стимулы движением ЦТ тела существенно ниже, чем движением руки. При этом эффективность тренировки навыка экстренного реагирования на зрительные стимулы в первом случае несколько выше, чем во втором. Результаты исследования также показали, что тренировка экстренному реагированию на внешние стимулы движением ЦТ тела не оказала позитивного влияния на функцию реагирования рукой. В то же время тренировка экстренному реагированию движением руки оказала позитивное влияние на функцию управления ЦТ тела, существенно повысив ее эффективность при реагировании на внешние стимулы. Результаты исследования являются научным обоснованием применения балансировочных стабилметрических систем для восстановления или развития двигательных функций человека, в том числе и для выработки профессионально важных качеств у операторов человеко-машинных систем.

### Список литературы

- Шейн А.П., Криворучко Г.А., Сайфутдинов М.С. Особенности формирования навыка зрительно-моторного слежения с использованием изометрических органов управления у ортопедических больных в различные сроки после устранения асимметрии в длине нижних конечностей // Физиология человека. 2005. Том 31, № 4. С. 70–80.
- Боксер О.Я., Судаков К.В. Системный анализ двигательных реакций человека в разных режимах работы целенаправленного поведенческого акта // Успехи физиологических наук. 1981. №1. С. 3–31.
- Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В., Депутат И.С. Сенсомоторные реакции в психофизиологических исследованиях // Журнал медико-биологических исследований. 2015. № 1. С. 38–48.
- Зайцев А.В., Лупандин В.И., Сурнина О.Е. Время реакции в теоретических и прикладных исследованиях // Психологический вестник Уральского государственного университета. Вып.3. Екатеринбург: Изд-во «Банк культурной информации», 2002. С.3–20.
- Никандров В.В. Психомоторика. СПб: Речь, 2004. 104 с.
- Dubovsky V.A., Mironovich G.K. Rehabilitation: Practices, Psychology and Health. Nova Science Publishers, Inc. / Ed. R. Lagana and S. M. Esposito. NY, 2012. Ch.5. P. 113–124.
- Устинова К.И., Иоффе М.Е., Черникова Л.А. Возрастные особенности произвольного управления вертикальной позой // Физиология человека. 2003. Том 29, № 6. С. 74–78.
- Савченко В.В. Развитие методологии мониторинга функциональных состояний операторов транспортных систем «человек-машина» // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 6. С. 27–32.

### References

- Shain A.P., Krivoruchko G.A., Sayfutdinov M.S. Osobennosti formirovaniya navika zritelno-motornogo slezeniya s ispolzovaniem izometricheskikh organov upravleniya u ortopedicheskikh bolnih v razlichnie sroki posle ustraneniya asimmetrii v dline niznih konechnostei // Fiziologiya cheloveka. 2005. Том 31, № 4. С. 70–80. (in Russ.)

Bokser O.Y., Sudakov K.V. Systemnyy analiz dvigatelnykh reaktsiy cheloveka v raznykh rezimakh raboti celepravlennoogo povedencheskogo akta // Uspehi fiziologicheskikh nauk. 1981. №1. S. 3–31. (in Russ.)  
Nehoroshkova A.N., Gribov A.V., Deputat I.S. Sensomotornie reaktsii v psihofiziologicheskikh issledovaniyakh // Zurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy. 2015. № 1. S. 38–48. (in Russ.)  
Zaycev A.V., Lupandin V.I., Surnina O.E. Vremya reaktsii v teoreticheskikh i prikladnykh issledovaniyakh // Psihologicheskii vestnik Uralskogo gosuniversiteta. Vip.3. Ekaburg: Izd-vo «Bank kulturnoy informatsii», 2002. S.3–20. (in Russ.)  
Nikandrov V.V. Psihomotorika. SPb: Rech, 2004. 104 s.  
Dubovsky V.A., Mironovich G.K. Rehabilitation: Practices, Psychology and Health. Nova Science Publishers, Inc. / Ed. R. Lagana and S. M. Esposito. NY, 2012. Ch.5. P. 113–124.  
Ustinova K.I., Ioffe M.E., Chernikova L.A. Vozrastnye osobennosti proizvodnogo upravleniya vertikalnoy pozoy // Fiziologiya cheloveka. 2003. Tom 29, № 6. S. 74–78.  
Savchenko V.V. Razvitiye metodologii monitoringa funktsionalnykh sostoyaniy operatorov transportnykh sistem «chelovek-mashina» // Mehatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2013. № 6. S. 27–32.

#### **Сведения об авторах**

Дубовский В.А., старший научный сотрудник  
НИЦ «Бортовые системы управления мобильных  
машин» ГНУ «Объединенный институт  
машиностроения НАН Беларуси»

Савченко В.В., к.т.н., директор НИЦ Бортовых  
систем управления мобильных машин ГНУ  
«Объединенный институт машиностроения НАН  
Беларуси»

Щербина Н.В., старший преподаватель кафедры  
инженерной психологии и эргономики  
Белорусского государственного университета  
информатики и радиоэлектроники  
Кузьменко А.Ф., студент факультета  
компьютерного проектирования Белорусского  
государственного университета информатики и  
радиоэлектроники

#### **Адрес для корреспонденции**

220072, Республика Беларусь, г. Минск, ул.  
Академическая, д. 12, ГНУ «Объединенный  
институт машиностроения НАН Беларуси»  
тел. +375-17-284-26-12;  
e-mail: v\_dubovsky@tut.by  
Дубовский Владимир Андреевич

#### **Information about the authors**

Dubovsky V.A., senior researcher of the research  
and engineering center “Onboard control systems of  
mobile machines” of the Joint institute of  
mechanical engineering of the National academy of  
sciences of Belarus.

Savchenko V.V., Ph.D., director of the research and  
engineering center “Onboard control systems of  
mobile machines” of the Joint institute of  
mechanical engineering of the National academy of  
sciences of Belarus.

Shcherbina N.W., senior lecturer of Engineering  
Psychology and Ergonomics department of  
Belarusian state university of informatics and  
radioelectronics

Kuzmenko A.F., student of computer design  
department of Belarusian state university of  
informatics and radioelectronics

#### **Address for correspondence**

220072, Belarus, Minsk, Akademicheskaya Str., 12,  
Joint institute of mechanical engineering of the  
National academy of sciences of Belarus  
Phone. +375-17-284-26-12;  
e-mail: v\_dubovsky@tut.by  
Dubovsky Vladimir Andreevich