

УДК 612.833

**П.А. Кручинин, Н.В. Холмогорова, С.С. Слива, Ю.С. Левик, В.Ю. Шлыков,  
О.А. Писаренко**

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ СТАБИЛОГРАФИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И ПРЕМОРБИДНЫХ  
СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА<sup>3</sup>**

*Описывается аппаратно-программный комплекс для оценки функционального и психофизиологического состояния сидящего человека на основе кресла, оцувствленного сило-координатными датчиками.*

*Сидячая поза; силовая платформа; функциональное состояние.*

**P.A. Kruchinin, N.V. Holmogorova, S.S. Sliva, Y.S. Levik, V.Y. Shlykov,  
O.A. Pisarenko**

**FORCE PLATE-BASED HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR  
DIAGNOSTICS OF FUNCTIONAL AND PREMORBID STATES IN HUMANS**

*Hardware-software complex for diagnostics of functional and psychophysiological states of sitting subjects based on special armchair equipped by several force plates and force-torque sensor is described.*

*Sitting posture; force plate; functional state.*

В настоящее время существует целый ряд работ отечественных и зарубежных авторов, описывающих влияние утомления, эмоционального переживания и перенапряжения на устойчивость вертикальной позы человека. Так показано, что психологическое и функциональное состояние человека отражается на его позе [1, 2]. Известно также, что преморбидные («предболезненные») состояния ЦНС, симптомы психосоматических и соматопсихических нарушений проявляются в изменении ортоградной позы человека и выражаются в форме расстройств функции равновесия [3]. Однако поза стояния не всегда является привычным, оптимально комфортным условием пребывания человека. Особенно четко это проявляется у лиц с ограниченными возможностями здоровья, в преморбидном состоянии, а также больных с неврологическими и психосоматическими нарушениями. Кроме того, для многих видов рабочей, учебной и рекреационной деятельности типичной является именно сидячая поза, которая, тем не менее, исследована недостаточно. Имеющиеся работы имеют преимущественно эргономическую направленность и не отражают диагностических и реабилитационных аспектов проблемы. Длительное пребывание в сидячем положении на рабочем месте, в учебных аудиториях, при работе за компьютером приводит к изменению позы сидящего человека: меняется состояние позвоночника и мышц спины, изменяется биомеханика дыхания, работа внутренних органов, мозговое и периферическое кровообращение. При этом нарушается психофизиологическое (функциональное) состояние сидящего человека, что проявляется в снижении работоспособности, оперативности действия, сказывается на адекватности принятия решений в стрессовых ситуациях и т.д.

---

<sup>3</sup> Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (Грант № 09-01-00809).

Профессиональное ограничение подвижности отрицательно влияет на состояние ЦНС. В связи с этим, актуальной задачей изучения общей проблемы взаимодействия человек – окружающая среда и человек – машина является оценка психофизиологического или функционального состояния сидящего человека. В связи с выше сказанным, актуальным является вопрос создания аппаратно-программного комплекса, способного, без изменения привычных условий деятельности сидящего человека, оценить его функциональное и психофизиологическое состояние. Такой комплекс представляет интерес также для диагностических и реабилитационных задач.

Экспериментальный образец такого аппаратно-программного комплекса (АПК) «Стабилокресло», включает: специальное кресло, очувствленное семью силокоординатными платформами, установленными на основных поверхностях, с которыми контактирует человек (рис. 1). Кресло также снабжено встроенным в стойку сидения силомоментным датчиком и имеет дополнительные физиологические каналы, обеспечивающие регистрацию вегетативных показателей, таких как КГР, частота дыхания, кардиоритм и т.д. В АПК предусмотрена возможность регистрации с помощью ПЭВМ пакетов входной информации, поступающей из электронного блока, хранения исходных данных и их ретрансляции в другие программные среды. Программное обеспечение АПК анализирует исходные данные, формирует базы обработанных данных и осуществляет распознавание сигналов с целью диагностики функционального состояния и оценки позы человека.

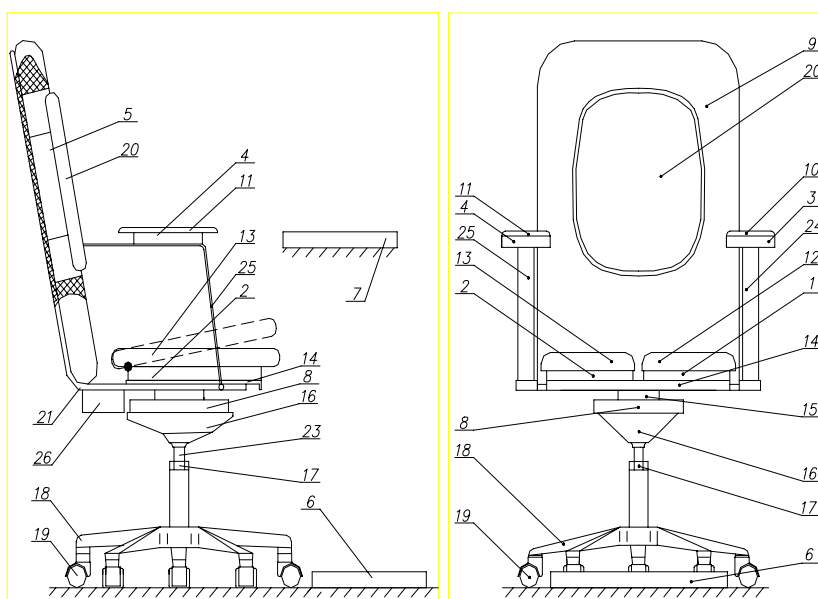


Рис. 1. Многофункциональное кресло: 1 и 2 – силокоординатные платформы (СКП) под сидением; 3 и 4 – СКП в подлокотниках; 5 – СКП для спины, 6 – СКП для стоп; 7 – СКП для кистей рук; 8 – внутренний силовоспринимающий фланец силомоментного датчика; 9 – спинка; 10 и 11 – накладки подлокотников; 12 и 13 – подвижные части сидения; 14 – горизонтальная плита; 15 – прокладка; 16 – цапфа; 17 – ограничитель вращения штока; 18 – крестовина; 19 – опорно-поворотные элементы со стопорами; 20 – опора для спины; 21 – основание кресла; 23 – телескопическая стойка; 24 и 25 – подлокотники; 26 – привод с электронным блоком управления

Эргономика «Стабилокресла» позволяет распределить основную составляющую веса сидящего человека на две отдельные осязаемые поверхности сидения, а парциальную составляющую веса спины – на осязаемый опорный элемент его спинки, что дает возможность оценить асимметрию позы. Парциальные составляющие веса рук и ног сидящего распределяются между осязаемыми подлокотниками кресла и двумя дополнительными осязаемыми поверхностями, под кистями и стопами.

Для оценки позы сидящего человека используются следующие биомеханические показатели: парциальные составляющие веса человека, приходящиеся на поверхности, с которыми он соприкасается; стабиллограммы, регистрируемые с этих поверхностей, а также система параметров, состоящая из трех векторов моментов сил многокомпонентного датчика, вмонтированного в сидение кресла.

Существенным признаком «Стабилокресла», принципиально отличающим его от существующих на сегодняшний день прототипов, наиболее близким из которых является «Силомоментное кресло», выпускаемое ЗАО ОКБ «Ритм», г. Таганрог, [4] является то, что данный АПК позволяет оценить динамику функционального состояния человека на основе определения особенностей изменения постуальных макро- и микродвижений (смещений) человека.

Выбранная схема осязания позволяет получить информацию о сложной биомеханической системе, включающей стабилокресло и сидящего человека, и рассчитать на основе этой информации величины основных составляющих сил. Это дает возможность оценить медленные составляющие движений проекции центра масс человека в сагиттальной и во фронтальной плоскостях.

Для этого рассмотрим систему, включающую человека и ту часть кресла, которая расположена выше многокомпонентного силоизмерительного датчика, как показано на рис. 2.

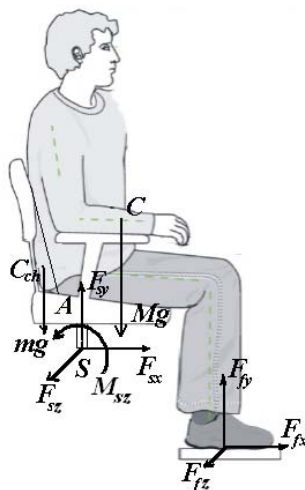


Рис. 2. Система координат и сил

Рассмотрим медленные составляющие движения, для которых ускорения центра масс и изменения кинетического момента малы, и их движения допустимо рассматривать с использованием квазистатического приближения [5]. Запишем уравнения баланса сил и моментов в проекциях на горизонтальные оси.

$$\begin{aligned}
0 &= F_{sx} + F_{fx}; \\
0 &= F_{sz} + F_{fz}; \\
0 &= y_f F_{fz} - z_f F_{fy} + y_s F_{sz} - z_s F_{sy} + M_{sx} + z_c Mg + z_{ch} mg; \\
0 &= y_f F_{fx} + x_f F_{fy} + x_s F_{sy} + y_s F_{sx} + M_{sz} - x_c Mg - x_{ch} mg.
\end{aligned} \tag{1}$$

В этих соотношениях проекции сил  $F_{sx}, F_{sz}$  и моментов  $M_{sx}, M_{sz}$  на соответствующие горизонтальные оси измеряются многокомпонентным силоизмерительным датчиком,  $F_{fy}$  – измеряется силовой платформой расположенной под стопами ног, масса  $M$  человека предполагается известной.  $m$  – известная масса сидения,  $x_{ch}, z_{ch}$  – координаты центра масс пустого кресла  $x_s, y_s, z_s$  – координаты центра многокомпонентного силоизмерительного датчика. За величину  $y_f$ , характеризующую вертикальную координату точки приложения горизонтальных составляющих реакции платформы, расположенной в ногах испытуемого, примем координату плоскости соответствующей силовой платформы.

Неизвестные составляющие реакций опоры поверхности ног  $F_{fx}, F_{fz}$  определим из двух первых уравнений системы (1):

$$F_{fx} = -F_{sx}, F_{fz} = -F_{sz}.$$

Тогда выражения для оценок продольной и поперечной горизонтальных координат центра масс примут вид

$$\begin{aligned}
x_c &= \frac{x_f F_{fy} + x_s F_{sy} + (y_s - y_f) F_{sx} + M_{sz} - x_{ch} mg}{Mg}, \\
z_c &= \frac{z_f F_{fy} + z_s F_{sy} - (y_s - y_f) F_{sz} - M_{sx} - z_{ch} mg}{Mg}.
\end{aligned}$$

Таким образом, добавление силокоординатной платформы под ноги позволяет корректно определить положение центра масс при сколь угодно медленных постральных движениях.

В то же время некоторые колебательные процессы, связанные с нормальным или патологическим функционированием организма человека, имеют локализованный источник возбуждения, часто относительно высокочастотный (сердцебиение, дыхание, тремор отдельных групп мышц и т.д.). Человеческое тело представляет собой сплошную среду, в которой указанные колебательные процессы порождают распространяющиеся волны. Эти волны вызывают колебания на поверхности тела, которые могут регистрироваться силоизмерительной аппаратурой. Вязкие свойства среды вызывают затухание волн и ограничивают область их распространения.

В отличие от известных аналогов чувствительные элементы силокоординатных датчиков приближены к источникам волн, что позволяет получать достоверные сведения об этих волновых процессах, снижает искажения, вызванные особенностями прохождения волны через анизотропную среду и, тем самым, позволяет анализировать динамику источника возбуждения.

Это подтвердили и пилотные исследования с участием здоровых взрослых людей в возрасте 20–25 лет, которые показали, что структура стабิโลграфического сигнала сидящего человека заметно отличается от стабิโลграммы при стоянии. Прежде всего, в ней более выражены высокочастотные компоненты с частотами свыше 1 Гц. Одновременная регистрация вегетативных параметров и стабילו-

грамм с последующим анализом частотных диапазонов стабилеографических сигналов, кардиоритма и ритма дыхания дает возможность выделить высокочастотные стабилеографические компоненты, отражающие влияния вегетативных факторов и компоненты, связанные с движениями звеньев тела, обусловленными активностью мышц. Одновременная регистрация стабилеографических сигналов и моментов сил позволяет получить информацию о работе аксиальной мускулатуры туловища. Подобная оценка работы мышц сидящего человека представляет значительный интерес, так как она может служить косвенным показателем его функционального состояния: развития утомления, эмоционального напряжения и т.п. Активность аксиальных мышц может отражаться в особенностях физиологического тремора, который может быть дифференцирован данным АПК на основе высокочастотных колебаний кривых, отражающих изменения, регистрируемые силомоментными датчиками. В таком случае высокочастотные колебания, регистрируемые силомоментными датчиками, можно рассматривать в качестве индикатора изменения функциональных и развития патологических состояний человека. В стабилеографическом сигнале сидящего человека удастся выделить и низкочастотную компоненту. По аналогии с низкочастотной компонентой стабилеографического сигнала в исследованиях с поддержанием вертикальной позы [6] можно предположить, что у сидящего человека эта составляющая, также участвует в выборе «референтной позы», т.е. того положения тела, которое является базовым на данный момент времени. Это, в свою очередь, допускает возможность того, что низкочастотная компонента стабилеографического сигнала, регистрируемая АПК, может быть рассмотрена в качестве прогностического показателя определенного функционального состояния человека. Кроме того, регистрируемые на «Стабилекресле» показатели могут отражать состояние нескольких функциональных уровней системы постурального контроля, в том числе и изменения на более высоких уровнях системы управления движениями, связанных с формированием внутренней модели тела и внутренней модели внешнего пространства.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Yardley L., Gardner M., Bronstein A., Davies R., Buckwell D., Luxon L.* Interference between postural control and mental task performance in patients with vestibular disorder and healthy controls. *Journal of Neurology Neurosurgery and Psychiatry.* – 2001. – 71, – P. 48-52.
2. *Talkowski M.E., Redfern M.S., Jennings J.R. and Furman J. M.* Cognitive Requirements for Vestibular and Ocular Motor Processing in Healthy Adults and Patients with Unilateral Vestibular Lesions. *Journal of Cognitive Neuroscience.* – 2005. –17, – P. 1432-1441.
3. *Левик Ю.С., Киреева Т.Б., Шлыков В.Ю.* Особенности поддержания вертикальной позы у пациентов с болезнью Паркинсона. *Альманах клинической медицины.* – 2008. – Т. 17. – Ч. 2. – С. 217-220.
4. Полезная модель №2009107237, 27.05.2009. Кресло силомоментное. Кононов А., Хлабустин Б.И., Переяслов Г Ф., Слива С.С, Лебедь С.
5. *Новожилов И.В.* Фракционный анализ. – М.: Изд-во мех.-мат. ф-та МГУ, 1995. – 224 с.
6. *Терехов А.В., Левик Ю.С., Солопова И.А.* Механизмы коррекции референтного положения в системе регуляции вертикальной позы «Физиология человека». – 2007. – Т. 33. – № 3. – С. 40-47.

#### **Кручинин Павел Анатольевич**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова.

E-mail: [pkruich@mech.math.msu.su](mailto:pkruich@mech.math.msu.su).

119992, г. Москва, Ленинские горы, тел.:(495)9393383.

Кафедра прикладной механики и управления, доцент, к.ф.-м.н.

**Kruchinin Pavel Anatolievitch**

Moscow Lomonosov State university.

E-mail: pkruch@mech.math.msu.su.

Lenin hills, Moscow, 119992, Russia, Phone: (495)9393383.

Department of Applied Mechanics and Control Associated professor, PhD in mechanics.

**Холмогорова Наталья Владимировна**

Московский государственный педагогический университет.

E-mail: natalya\_holmogor@mail.ru.

117263, г. Москва, ул. Кибальчича д. 6/4, тел.: (495)6820173.

Кафедра анатомии и физиологии биолого-химического факультета, доцент, к.б.н.

**Holmogorova Natalya Vladimirovna**

Moscow pedagogical State University.

E-mail: natalya\_holmogor@mail.ru.

Kibalchicha 6/4, Moscow, 117263, Russia, Phone: (495)6820173.

Associated professor, PhD in physiology.

**Слива Сергей Семенович**

ЗАО ОКБ «Ритм» г. Таганрог.

E-mail: stabilan@okbritm.com.ru.

347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 99.

Тел.: (863) 4623190.

Зав. отделом стабиллографии.

**Sliva Sergey Sememnovitch**

ЗАО ОКБ «Ritm».

E-mail stabilan@okbritm.com.ru.

99, Petrovskovay, Taganrog, 347900, Russia, Phone: (8634)623190.

Head of sector stabilography.

**Левик Юрий Сергеевич**

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН.

E-mail: YuriLevik@yandex.ru.

127994, г. Москва, ГСП-4, Большой Каретный переулок, 19, тел.: (495)6502895.

Заведующий лабораторией, д.б.н.

**Levik Yuri Sergeevitch**

Institute for Information Transmission Problems RAS.

E-mail: YuriLevik@yandex.ru.

Bolshoy Karetny 19, Moscow, 127994, Russia, Phone: (495)6502895.

Head of laboratory, Doctor Biol. Sci.

**Писаренко Олег Анатольевич**

ЗАО ОКБ «Ритм» г. Таганрог.

E-mail stabilan@okbritm.com.ru.

347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 99, тел.: (8634)623190.

Инженер отдела стабиллографии.

**Pisarenko Oleg Anatolievitch**

ЗАО ОКБ «Ritm».

E-mail: stabilan@okbritm.com.ru.

99, Petrovskovay, Taganrog, Russia, Phone: (8634)623190.

Engineer of stabilography sector.

**Шлыков Владимир Юрьевич**

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН.

E-mail: shlykov@iitp.ru.

127994, г. Москва, ГСП-4, Большой Каретный переулок, 19, тел.: (495)6502895.

Старший научный сотрудник, к.б.н.

**Shlykov Vladimir Yurievitch**

Institute for Information Transmission Problems RAS.

E-mail: shlykov@iitp.ru.

Bolshoy Karetny 19, Moscow, 127994, Russia, Phone: (495)6502895.

Senior Sc. Researcher, Cand. Biol. Sc.

УДК 159.9, 572

**Е.П. Муртазина**

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ  
СТАБИЛОГРАФИЧЕСКИХ ТЕСТОВ У ИСПЫТУЕМЫХ С РАЗЛИЧНЫМИ  
АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ**

*Показана взаимосвязь конституции юношей со стабิโลграфическими показателями выполнения статического теста «Мишень», в отличие от динамического теста «Ступенчатое воздействие», отражающего типы ВНД.*

*Антропометрия; стабilocресло; статические, динамические пробы.*

**Н.Р. Murtazina**

**FUNCTIONAL FEATURES OF PERFORMANCE POSTURAL TESTS AT  
EXAMINEES WITH THE VARIOUS ANTHROPOMETRICAL DATA**

*The interrelation of the constitution of young men with postural parameters of performance of the static test "Target" is shown, as against the dynamic test «Step influence», reflecting types HNS.*

*Anthropology; stabilo-armchair; static, dynamic tests.*

Согласно аналитической психологии К.Г. Юнга, разным типам человеческих тел можно соотносить разные типы человеческой личности. О связи соматотипа с психотипом также писал Э. Кречмер [4]. Анализируя совокупности морфологических признаков, он выделял на основе разработанных им критериев основные конституционные типы телосложения и делал попытку определить темперамент именно через типы морфологических конституций. К морфологическим теориям темперамента относится и концепция американского психолога У. Шелдона [7], который выделял три основных типа соматической конституции («соматотипа»): эндоморфный, мезоморфный и эктоморфный.

Характер движений и качество функции равновесия индивидуальны для каждого человека и взаимосвязаны с психофизиологическим состоянием. Удержание равновесия человеком является динамическим феноменом, заключающимся в непрерывности движения тела, которое обеспечивается в результате взаимодействия афферентаций от вестибулярного и зрительного анализаторов, суставно-мышечной проприорецепции в высших отделах центральной нервной системы [2, 3].

Компьютерная стабิโลграфия представляет собой метод, позволяющий