

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЧЕЛОВЕКА

М.Л. КОЧИНА, А.А. КАМИНСКИЙ

В работе описан аппаратно-программный комплекс, предназначенный для исследования функционального состояния вестибулярной системы человека. Комплекс может применяться при профессиональном отборе, предрейсовом контроле на транспорте, диагностике состояния больных с неврологической, ортопедической и оториноларингологической патологией.

Ключевые слова: стабилография, вестибулярная система, функциональное состояние, автоматизированный комплекс.

ВВЕДЕНИЕ

Вестибулярная система играет наряду со зрительной и соматосенсорной системами ведущую роль в поддержании равновесия человеком. Сохранение равновесия – это сложный рефлекторный процесс, контролируемый непрерывным потоком импульсов, идущих от мышц, проприорецепторов сухожилий, кожных экстерорецепторов, вестибулярного и зрительного аппарата к соответствующим отделам ЦНС. При потере равновесия эти импульсы активируют рефлекторные сокращения мышечных волокон для восстановления равновесия. Таким образом, рефлекторные сокращения мускулатуры являются причиной непрерывных колебаний тела человека, направленных на поддержание равновесия [1].

Исследование статодинамической устойчивости человека (стабилография) позволяет получать значительное количество клинически ценной информации. Это связано с тем, что характеристики колебаний, направленных на поддержание равновесия, в частности их амплитуда, частота и направление в проекции на плоскость опоры являются чувствительными параметрами, отражающими состояние различных систем, включенных в поддержание равновесия [2].

Стабилография относится к новым перспективным технологиям медицины. В настоящее время компьютерная стабилография успешно используется при диагностике нарушений опорно-двигательного аппарата человека, дифференциальной оценке атаксий, для подбора дополнительных средств опоры, для экспресс-оценки психофизиологического состояния человека при предрейсовом, предстартовом, предполетном, предсменном контроле, а также в реабилитологии [2].

Стабилографические исследования в настоящее время мало используются для практических целей, поскольку отсутствуют стандарты и рекомендации по их проведению при разных видах деятельности. С другой стороны, недостаточен и парк приборов для стабилографии в Украине. Как правило, существующие системы реализованы в виде аппаратно-программных комплексов. Аппаратная часть представляет собой платформу, снабженную

тензометрическими датчиками и соединенную с компьютером. На компьютере устанавливается программное обеспечение, предназначенное для отображения, анализа и хранения информации, принимаемой от платформы. К таким комплексам можно отнести: «СТАБИЛАН-01» (ЗАО «ОКБ РИТМ», г. Таганрог) [3], «МБН Стабило» (ООО НМФ МБН, г. Москва) [4] и ST-150 (ООО «Мера-ТСП», г. Москва) [5].

В соответствии с приказами Министерства здравоохранения Украины и Государственного комитета по надзору за охраной труда повсеместно создаются центры для проведения психофизиологической экспертизы лиц, деятельность которых связана с повышенной опасностью для здоровья и жизни. Оснащение таких центров стабилографическими системами позволило бы значительно повысить качество профессионального отбора. Однако, существующие в настоящее время стабилографические системы, в основном, предназначены для проведения клинических исследований, сложны в освоении, имеют большое количество не используемых дополнительных функций, дороги в обслуживании.

Всё это свидетельствует о необходимости разработки и создания автоматизированных систем, предназначенных для стабилографических исследований, которые должны быть простыми в использовании и производстве, надежными и доступными по цене для лечебных учреждений Украины.

Целью данной работы является разработка многофункционального устройства для исследования статодинамической устойчивости человека.

1. МЕТОДЫ

Чаще всего стабилометрическое исследование проводится в вертикальном положении пациента на тензометрической платформе. Применяемые методики таких исследований различны. Базовой является методика регистрации стабилометрических параметров неподвижно стоящего человека, другие методики сочетают регистрацию с разнообразными функциональными пробами. Например, регистрацию стабилометрических параметров проводят при различных положениях тела

испытуемого или сочетают с различными воздействиями на его органы чувств [2]. При стабилметрическом обследовании лиц со значительной двигательной патологией, когда есть риск падения больного, используют системы страховки. Это могут быть ручные опоры или страховочные ремни.

Тензометрическая платформа имеет простое конструктивное исполнение (рис. 1). На неподвижном основании (1) закреплена верхняя плита (2), установленная на тензодатчики (3), которые располагаются по углам платформы.

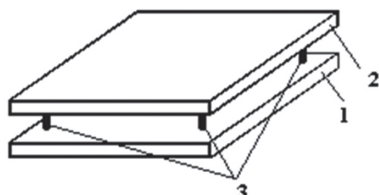


Рис. 1. Конструктивное исполнение платформы стаблогографа

Исследуемый размещается на верхней платформе. В результате действия механизмов поддержания вертикальной позы центр масс человека, находящийся в начальный момент времени в точке А, будет перемещаться в случайном направлении (рис. 2).

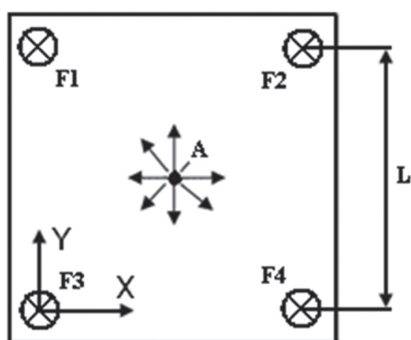


Рис. 2. Схематическое изображение сил, действующих на верхнюю платформу стаблогографа (F1...F4 – силы, действующие на тензодатчики, L – расстояние между тензодатчиками)

Траектория перемещения точки А по платформе описывается соотношениями (1).

$$\begin{aligned} R_x(t) &= \frac{F_3(t) + F_4(t)}{F_1(t) + F_2(t) + F_3(t) + F_4(t)} \cdot L; \\ R_y(t) &= \frac{F_1(t) + F_3(t)}{F_1(t) + F_2(t) + F_3(t) + F_4(t)} \cdot L; \end{aligned} \quad (1)$$

где $R_x(t)$, $R_y(t)$ – траектории перемещения точки А вдоль осей X и Y соответственно.

Колебания центра масс человека носят периодический характер и составляют примерно 78 и 60 колебаний в минуту в сагитальной и фронтальной плоскостях соответственно. Величина отклонения колеблется в зависимости от роста человека, и может находиться в пределах от 10 до 20 мм. Физически это представляется как перемещение проекции общего центра масс на плоскость опорной платформы относительно условного центра на указанное расстояние [6].

Специальные исследования показали, что регистрируемые при стаблогографии изменения реакции опор прибора обусловлены лишь весом испытуемого и величиной смещения проекции общего центра масс его тела [6].

2. ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

Для регистрации перемещения общего центра масс человека разработана функциональная схема стаблогографа, изображенная на рис. 3.

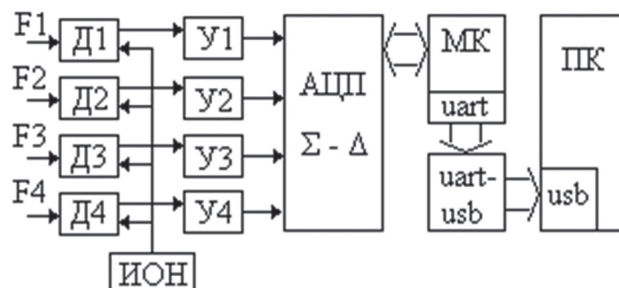


Рис. 3. Функциональная схема стаблогографа (D1-D4 – тензодатчики, U1-U4 – предварительные усилители, ИОН – источник опорного напряжения, АЦП – аналогово-цифровой преобразователь, МК – микроконтроллер, uart-usb – преобразователь интерфейсов, ПК – персональный компьютер)

Тензодатчики преобразуют напряжение ИОН в выходной дифференциальный сигнал, пропорциональный силе, действующей на датчик. Эти сигналы поступают на входы предварительных усилителей, обеспечивающих преобразование дифференциальных сигналов в усиленные однополярные сигналы, которые затем поступают на входы АЦП. МК через шину SPI обеспечивает управление процессом оцифровки сигналов в АЦП и формирование пакетов данных, которые передаются в ПК посредством универсального асинхронного приема-передатчика (UART). Между ПК и МК установлен преобразователь интерфейсов UART/USB.

Принципиальная схема тензодатчика и предварительного усилителя показана на рис. 4. Каждый тензодатчик представляет собой мостовое включение двух тензорезисторов, приклеенных к упругой пластине, и двух постоянных резисторов. Одно плечо моста подключено к прецизионному источнику опорного напряжения REF3125 [7], а ко второму плечу подключены входы микросхемы AD620 [8], которая является прецизионным инструментальным усилителем. Емкости, подключенные параллельно входам микросхемы, обеспечивают защиту устройства от действия высокочастотных наводок.

С выходов инструментальных усилителей сигналы поступают на входы мультиплексированного 16-ти разрядного $\Sigma - \Delta$ АЦП AD7708 [9] (рис. 5). Полосу регистрируемых сигналов задают RC-цепочки с полосой среза 3,4 Гц. Входы АЦП AIN1-AIN4 работают в однополярном режиме без усиления, при этом опорное напряжение (5 В) задается стабилитроном.

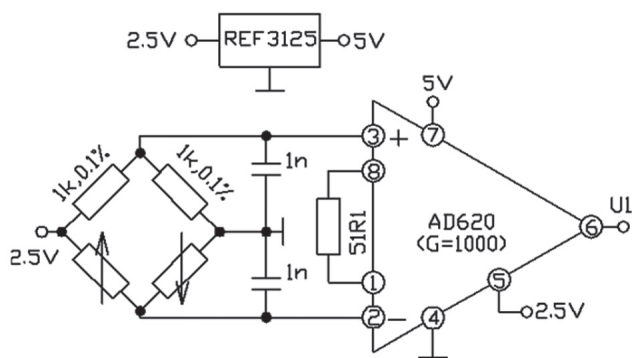


Рис. 4. Электрическая принципиальная схема тензодатчика и предварительного усилителя стабиллографа

Микросхема AD7708 работает в режиме коррекции нуля (chop enabled), при этом задействуется встроенный SINC3-фильтр, который позволяет добиться большей частоты дискретизации при условии подавления сетевой наводки, по сравнению с режимом без коррекции нуля (chop disabled), что объясняется разной формой АЧХ фильтра в этих режимах.

Частота дискретизации АЦП, равная 105,3 Гц, определяет вид АЧХ SINC3-фильтра (рис. 6). В таком режиме частота среза равна 25,2 Гц, подавление сетевой наводки – 23,6 дБ. Следует учесть, что частота дискретизации, приходящаяся на один канал, учитывая время переключения мультиплексора, составляет 13,163 Гц.

После оцифровки данные передаются в МК ATmega8 [10] через последовательный интерфейс SPI. Связь между МК и ПК осуществляется через UART/USB преобразователь FT232R [11].

Устройство и ПК гальванически развязаны по питанию посредством DC/DC преобразователя, и по шине данных посредством оптопары. Питание устройства осуществляется от шины USB, ток потребления не превышает 100 мА.

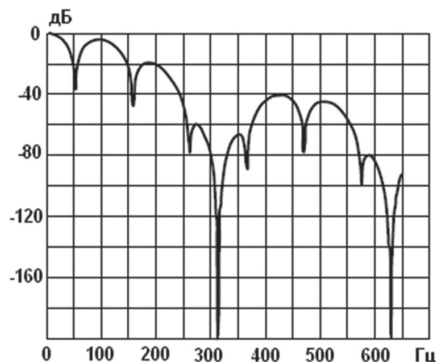


Рис. 6. АЧХ SINC3-фильтра

При разработке устройства особое внимание уделялось совместимости с ПК. Связь с ПК происходит через виртуальный COM-порт, драйвера, на который имеются под операционные системы семейства Windows, Linux, MacOS. Кроме того, по требованию можно изготовить версии прибора для компьютеров без шины USB, а так же с беспроводными адаптерами. Гибкость решения позволяет интегрировать прибор в уже существующие системы путем несложной его доработки.

Протокол обмена между ПК и платформой стабиллографа достаточно прост. Данные передаются только в одном направлении от прибора к ПК в виде коротких сообщений длиной 8 байт. Один пакет данных состоит из 16 таких сообщений: вначале идут 4 сообщения заполненные

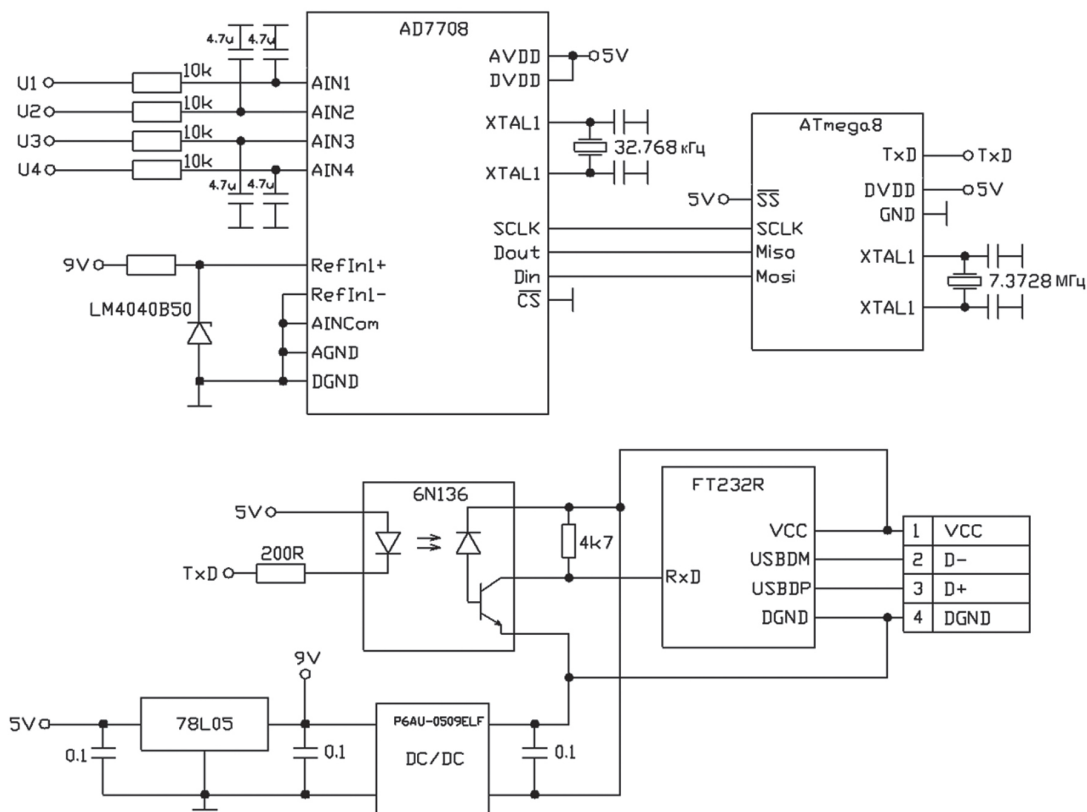


Рис. 5. Схема электрическая принципиальная цифрового блока стабиллографа

нулями, затем 8 сообщений с данными (последовательно записанные двухбайтные выборочные данные каждого канала АЦП) и в конце 4 сообщения заполненные единицами. На приемном конце в ПК реализован несложный алгоритм декодирования этих сообщений.

Управление прибором осуществляется программой «Easy HRV», предназначенной для IBM-совместимых компьютеров с операционной системы Windows 2000/XP/Vista/7. Приложение написано с использованием Borland Builder 2006 на языке C++. Разработанная программа обеспечивает управление и ведение базы данных, в которой сведены личные данные испытуемого и результаты проведенных исследований.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

С целью оценки работы аппаратно-программного комплекса была записана стабилосограмма человека в процессе поддержания вертикальной позы. Продолжительность записи составляет 1 мин, вес испытуемого равен 67 кг, рост – 192 см. На рис. 7 и рис. 8 отображена запись сабилосограммы в фронтальной и сагиттальной плоскостях соответственно.

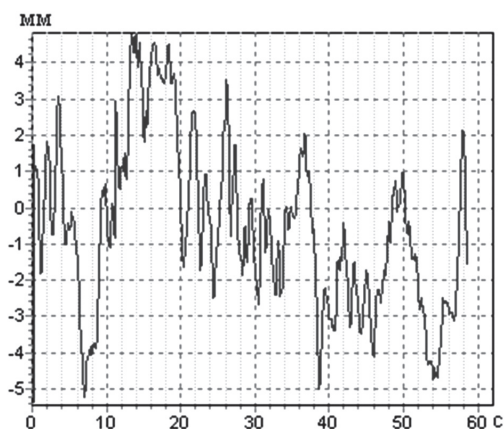


Рис. 7. Стабилосограмма, фронтальная плоскость

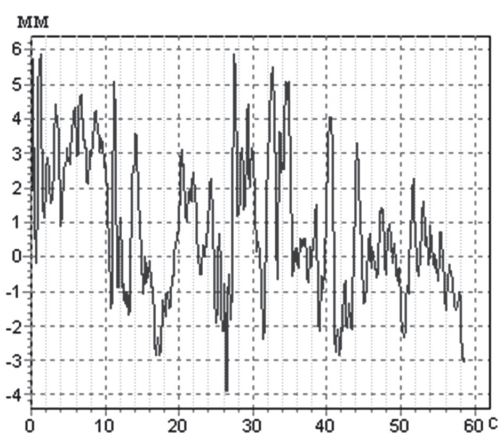


Рис. 8. Стабилосограмма, сагиттальная плоскость

Основные характеристики записи стабилосограммы приведены в табл. 1. Из полученных данных видно, что размах колебаний центра масс в ортогональных плоскостях приблизительно одинаковый, колебания в сагиттальной плоскости более высокочастотные, смещение общего центра

масс (характеризуется математическим ожиданием) невелико по сравнению с амплитудой сигнала. Стандартное отклонение, характеризующие мощность сигнала, выявляет незначительное преобладание колебаний во фронтальной плоскости.

Таблица 1

Характеристики стабилосограммы

Характеристики стабилосограммы	Плоскость	
	Фронтальная	Сагиттальная
Математическое ожидание, мм	-0,52	0,82
Стандартное отклонение, мм	2,32	2,02
Размах, мм	10,27	9,79
Полоса частот 90% энергии, Гц	0,41	0,86

Также были проведены экспериментальные исследования целью которых была оценка соотношения сигнал/шум (С/Ш) устройства. Для этого на платформе был размещен статический груз весом $P = 67$ кг и осуществлена запись стабилосограммы, отображенной в ортогональных плоскостях на рис. 9 и 10. Фактически полученная запись – это шум интегральных микросхем, при этом его среднеквадратическое значение (СКО) $\sigma_{ш}^{x,y}$ будет определять соотношение С/Ш устройства. Следует учесть, что определяющее влияние на эту величину будет оказывать вес груза: СКО шума обратно пропорционально весу груза. Это следует из выражения (1), если учесть, что в знаменателе для этого случая будет записана сумма веса груза и некоторой шумовой составляющей.

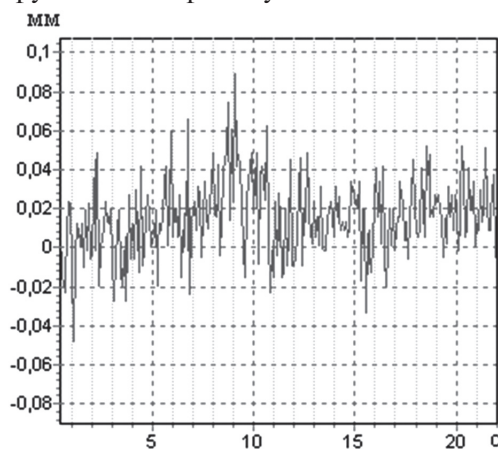


Рис. 9. Шум стабилосографа, фронтальная плоскость

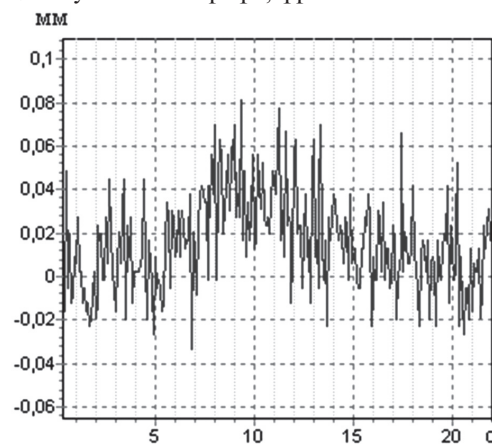


Рис. 10. Шум стабилосографа, сагиттальная плоскость

Таким образом, СКО шума $\sigma_{ш}^{x,y} \approx 0,016$ мм, тогда если принять СКО сигнала $\sigma_c \approx 2$ мм (исходя из табл. 1) получим соотношение С/Ш = 42 дБ. Критериев качества для записей стабилотграмм не разработано, но, сравнивая это значение со стандартами для видеосигнала, можно считать соотношение приемлемым.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный аппаратно-программный комплекс позволяет автоматизировать процесс оценки функционального состояния человека по показателям стабилотграммы и имеет несколько преимуществ перед аналогами:

- позволяет упростить процедуру исследования посредством изменения формы представления результатов в зависимости от поставленных задач (профессиональный отбор, психофизиологическая экспертиза, оценка текущего функционального состояния человека);

- имеет простую общую конструкцию, выполнен на современной элементной базе, что упрощает его обслуживание;

- питается от USB-порта ПК, что позволяет использовать комплекс совместно с портативным компьютером типа notebook.

В результате испытаний комплекса установлено, что соотношение сигнал/шум при записи стабилотграммы составляет 42 дБ, что является приемлемым для стабилотметрических систем медицинского назначения.

В перспективе комплекс может быть дополнен каналом ритмокардиографии, что позволит повысить точность оценки функционального состояния человека.

Литература.

- [1] *Shephard, Neil T. et al*, "Functional operation of the balance system in daily lives." *Otolaryngology Clinics of North America*: June 2000, Vol. 33, No 3; pgs 455-469.
- [2] *Скворцов Д. В.* Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилотметрия / Д. В. Скворцов. – М.: МБН, 2007. – 640 с.
- [3] ЗАО ОКБ «Ритм»: Стабилоанализатор компьютерный с биологической обратной связью [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rista.ru/production/stabila/index.htm>.
- [4] МБН Научно-медицинская фирма: МБН Стабило [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mbn.ru/item_stabilo.html.
- [5] БИОМЕРА Электронные средства измерения: Стабилотметрический комплекс ST-150 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.biomera.ru/production/st-150/>.
- [6] *Гурфинкель В. С.* Регуляция позы человека / В.С. Гурфинкель, Я.М. Коц, М.Л. Шик // М.: Наука, 1965. – С. 36-37.
- [7] *Taxes Instruments: Series Voltage Reference* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/ref3125.html>.
- [8] *Analog Devices: Instrumentation Amplifier* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.analog.com/en/other-products/militaryaerospace/ad620/products/product.html>.

[com/en/other-products/militaryaerospace/ad620/products/product.html](http://www.analog.com/en/other-products/militaryaerospace/ad620/products/product.html).

[9] *Analog Devices: Analog to Digital Converters* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad7708/products/product.html>.

[10] *Atmel Corporation: AVR Solutions – Atmega8* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf.

[11] *FTDI Chip: FT232R - USB UART IC* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ftdichip.com/Products/ICs/FT232R.htm>.

Поступила в редколлегию 21.02.2012



Кочина Марина Леонидовна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Харьковского национального медицинского университета. Область научных интересов: исследование и моделирование механизмов взаимодействия электромагнитного излучения с биологическими объектами, медицинская и биологическая кибернетика.



Каминский Антон Александрович, магистр, выпускник ХНУРЭ, аспирант кафедры радиоэлектронных устройств ХНУРЭ. Область научных интересов: проблемы обработки и представления сигналов биологического происхождения, цифровая обработка сигналов различной природы.

УДК 621.37:004.891.3:616-07

Апаратно-програмний комплекс для дослідження статодинамічної стійкості людини / М.Л. Кочина, А.О. Камінський // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – 2012. Том 11. № 1. – С. 120-124.

У роботі був розглянутий апаратно-програмний комплекс, призначений для дослідження функціонального стану вестибулярної системи людини. Комплекс може застосовуватися при професійному відборі, передрейсовому контролі на транспорті, діагностиці стану хворих з неврологічною, ортопедичною та оториноларингологічною патологією.

Ключові слова: стабілографія, вестибулярна система, функціональний стан, автоматизований комплекс.

Табл. 01. Лл. 10. Бібліогр.: 11 найм.

UDC 621.37:004.891.3:616-07

Hardware and Software Complex for Balance Function Testing / M.L. Kochina, A.A. Kaminsky // *Applied Radio Electronics: Sci. Journ.* – 2012. Vol. 11. № 1. – P. 120-124.

The paper describes a hardware and software complex designed to study the functional state of man's vestibular system. The complex can be used for professional selection, pre-scheduled inspection in transport, diagnosis of patients with neurological, orthopedic and ENT pathology.

Keywords: posturography, vestibular system, functional state, automated complex.

Tab. 01. Fig. 10. Ref.: 11 items