

Melnikov Andrey Alexandrovich – Yaroslavl State Pedagogical University; e-mail: meln1974@yandex.ru; 108, Respublikanskay street, Yaroslavl, 150000, Russia; phone: +79610254836; the department of physical culture and exercise; head the department; dr. of biolog. sc.; professor.

Borisov Alexander Viktorovich – Branch of Force Space Academy named after A.F. Mozhayskiy; e-mail: a.melnikov@yspu.yar.ru; 28, Moscow pr., Yaroslavl, 150001, Russia; phone: +79036913806; the department of physical training; head the department; cand. of ped. sc.; associate professor.

УДК 612.76

О.А. Писаренко

СПОСОБЫ ПЕРЕСЧЕТА ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ДАТЧИКА В СИЛЫ И МОМЕНТЫ СИЛ

Показана актуальность использования шестикомпонентного датчика сил и моментов сил в динамометрических аппаратно-программных комплексах. Описано функционирование реально используемого шестикомпонентного датчика. Подробно рассмотрены вопросы вычисления из выходных сигналов тензомостов шестикомпонентного датчика сил и моменты сил. Проиллюстрирована и описана методика проведения испытаний шестикомпонентного датчика сил и моментов сил, необходимая для получения требуемых выходных величин из сигналов с тензомостов шестикомпонентного датчика. По опытным данным проведена оценка максимального значения ошибки измерения при вычислении по способу, применяемому ранее. Для уменьшения максимального значения ошибки предложен другой способ расчета сил и моментов сил. Подробно рассмотрены требуемые вычисления. Выполнена оценка максимального значения ошибки измерения по новому способу. Сделаны выводы о результатах использования способа. Рассмотрены некоторые аспекты его применимости в системах реального времени в связи с возросшей вычислительной сложностью.

Датчик; сила; момент силы.

O.A. Pisarenko

WAYS OF RECALCULATION OUTPUT SIGNALS MULTICOMPONENT SENSOR FORCES AND MOMENTS OF FORCES

There is shown the relevance of using a six-component sensor forces and moments of forces in the dynamometry complex. The operation of actually using a six-component sensor is described. The computation problems of the output strain gauges signals of the six-component sensor into forces and torques are discussed in details. The technique of testing six-component sensor of the forces and forces moments needed to obtain the desired output values from the strain signals is illustrated and described. According to experimental data the maximum measurement error in the calculation is evaluated by the method used previously. To reduce the maximum error we propose another method of calculating the forces and torques. The required calculations are considered in detail. The estimation of the maximum measurement error by the new method is carried out. Conclusions about the results of using the method are brought. Some aspects of its applicability in real-time systems due to the increased computational complexity are considered.

Sensor; force; torque.

Стабилографические исследования имеют большое значение в диагностике патологий опорно-двигательного аппарата, в совершенствовании методик подготовки спортсменов, реабилитации [1–3]. Такие исследования требуют регистрации данных в разных фазах движений, а это, как следствие, приводит к необходимости создания специальных технических средств. Существующие динамометрические

комплексы предназначены для решения ограниченного круга задач, так как выполняют регистрацию данных на ограниченной площади с небольшим количеством каналов ввода однородной информации [4–6]. Это обусловлено использованием датчиков силы с одной осью чувствительности при построении подобного рода комплексов. Датчики силы или момента силы с одной осью чувствительности получили широкое распространение благодаря относительно простой конструкции и хорошим метрологическим характеристикам. Кроме того, простота изготовления благоприятно сказывалась на итоговой стоимости датчиков такого типа.

В связи с возросшими требованиями к динамометрическим комплексам, использование датчиков с одной осью чувствительности приводило или к сильному усложнению комплексов, либо к невозможности решить поставленную задачу. Решение возникшей проблемы и получение требуемых данных заключалось в необходимости использования многокомпонентных датчиков сил и моментов сил. Такие датчики имеют большое количество тензомостов, поэтому алгоритмы преобразования этих сигналов в выходные величины достаточно сложны.

ЗАО «ОКБ «РИТМ» использует в своих изделиях тензометрические датчики различного типа. В изделии «Стабилан 01-3» [7], которое представляет собой специализированное кресло, используется датчик, регистрирующий силы и моменты сил по трем осям координат [8–10].

Общий вид датчик, нумерация тензомостов и направление осей чувствительности приведены на рис. 1.

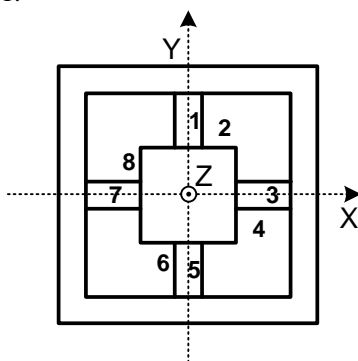


Рис. 1. Схема расположения тензомостов на датчике

Датчик изготавливается из монолитной заготовки твердого сплава алюминия Д16Т. Конструктивно состоит из внешнего и внутреннего фланцев, соединенных между собой балками. На балках размещены тензорезисторы, объединенные в тензомосты, которые осуществляют преобразование деформаций балки в электрическую разность потенциалов. По величине зафиксированной разности потенциалов, можно судить о приложенных к датчику силах и моментах и моментах сил.

Приложенные к датчику силы и моменты сил приводят к появлению напряжений U_1, \dots, U_8 на выходах тензомостов номер 1, ..., 8 соответственно. Из схемы размещения тензомостов очевидно, что при приложении сил и моментов сил в определенных плоскостях разность потенциалов будет возникать на выходах только определенных тензорезисторов. Запишем выражение, определяющее на каких тензомостах будет возникать разность потенциалов при приложении силы или момента силы вдоль каждой из осей:

$$\begin{aligned}
 U_{P_x} &= U_2 - U_6 \\
 U_{P_y} &= U_8 - U_4 \\
 U_{P_z} &= -U_1 - U_3 - U_5 - U_7 \\
 U_{M_x} &= U_5 - U_1 \\
 U_{M_y} &= U_3 - U_7 \\
 U_{M_z} &= -U_2 - U_4 - U_6 - U_8
 \end{aligned} \tag{1}$$

где U_{P_x} , U_{P_y} , U_{P_z} – разности потенциалов, возникающие при приложении сил вдоль осей чувствительности датчика X, Y, Z, соответственно, U_{M_x} , U_{M_y} , U_{M_z} – разности потенциалов, возникающие при приложении моментов сил вдоль осей чувствительности датчика X, Y, Z.

Для вычисления сил и моментов сил, вызвавших появление соответствующих напряжений, ранее предлагалось использовать следующий способ расчета:

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} & k_{46} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} & k_{56} \\ k_{61} & k_{62} & k_{63} & k_{64} & k_{65} & k_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{P_x} \\ U_{P_y} \\ U_{P_z} \\ U_{M_x} \\ U_{M_y} \\ U_{M_z} \end{bmatrix} = K \cdot \begin{bmatrix} U_{P_x} \\ U_{P_y} \\ U_{P_z} \\ U_{M_x} \\ U_{M_y} \\ U_{M_z} \end{bmatrix} \tag{2}$$

где P_x , P_y , P_z – проекции приложенных сил на оси чувствительности датчика X, Y, Z соответственно, M_x , M_y , M_z – моменты сил относительно осей чувствительности датчика X, Y, Z соответственно, K – матрица коэффициентов преобразования между входной и выходной величинами, U_{P_x} , U_{P_y} , U_{P_z} – линейные комбинации напряжений, возникающих на выходах тензостов при появлении сил по осям X, Y, Z соответственно, U_{M_x} , U_{M_y} , U_{M_z} – линейные комбинации напряжений, возникающие на выходах тензостов при появлении моментов сил относительно осей чувствительности датчика X, Y, Z соответственно.

Обозначим столбец сил и моментов сил как V_{PM} , матрицу коэффициентов как K , а столбец напряжений как U_{PM} и перепишем уравнение 2 в следующем виде:

$$V_{PM} = KU_{PM} \tag{3}$$

Матрица коэффициентов K определяется производителем по результатам экспериментов, в которых к датчику прикладываются известные силы и моменты сил. Испытания проводятся с помощью набора эталонных грузов, а изменение нагружаемых осей датчика достигается за счет смены положения датчика относительно направления вектора силы притяжения земли. На рис. 2 приведены схемы проведения экспериментов. В общей сложности используется шесть положений датчика. На рисунках каждому положению присвоена буква латинского алфавита от «a» до «f».

В каждом положении производится два симметричных нагружения, что позволяет получить соответствующие силы и моменты сил с разными знаками. Таким образом, в общей сложности проводится двенадцать экспериментов. В каждом эксперименте имеется набор эталонных значений сил и моментов сил и соответствующий набор

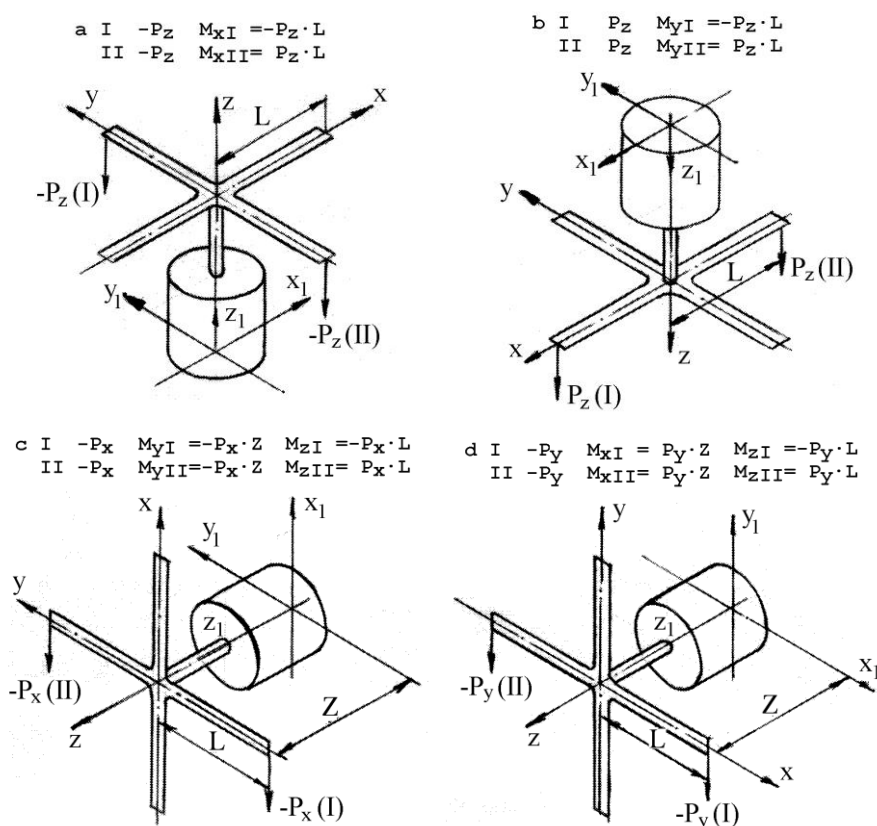


Рис. 2. Схема испытаний многокомпонентного датчика

В табл. 1 приведены прикладываемые силы P и моменты сил в виде произведения силы и плеча L или Z и соответствующие им номера экспериментов.

Таблица 1

Прикладываемые силы и моменты сил

	Номер эксперимент											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ориент.	a		b		c		d		e		f	
поз.	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
P_x					-P	-P			P	P		
P_y							-P	-P			P	P
P_z	-P	-P	P	P								
M_x	-PL	PL					PZ	PZ			-PZ	-PZ
M_y			-PL	PL	-PZ	-PZ			PZ	PZ		
M_z					-PL	PL	-PL	PL	PL	-PL	PL	-PL

Пример полученных данных для одного из тензомостов в эксперименте а 2 приведен на рис. 3.

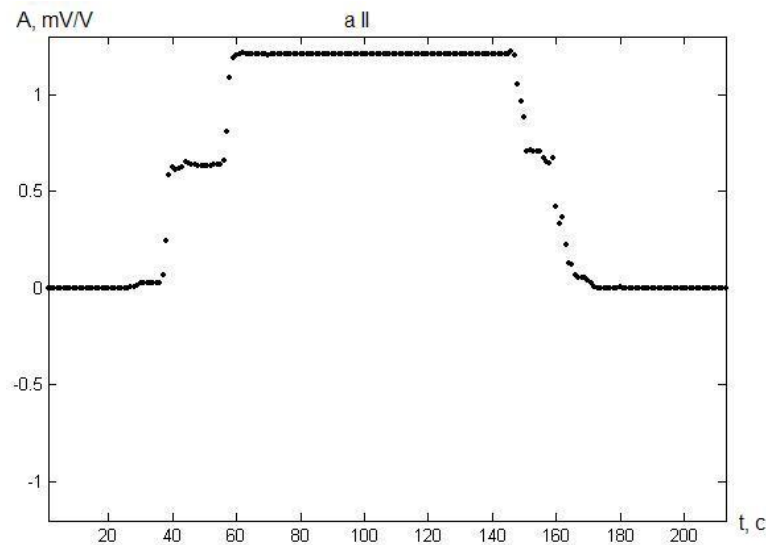


Рис. 3. Пример данных с тензомоста датчика

По осям отложены амплитуда выходного напряжения A , выраженная в относительных единицах, и время t в секундах.

Проведенные эксперименты позволяют определить матрицу коэффициентов K . Для этого запишем следующее матричное уравнение:

$$\begin{bmatrix} P_{x1} \cdots P_{x12} \\ P_{y1} \cdots P_{y12} \\ P_{z1} \cdots P_{z12} \\ M_{x1} \cdots M_{x12} \\ M_{y1} \cdots M_{y12} \\ M_{z1} \cdots M_{z12} \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} U_{Px1} \cdots U_{Px12} \\ U_{Py1} \cdots U_{Py12} \\ U_{Pz1} \cdots U_{Pz12} \\ U_{Mx1} \cdots U_{Mx12} \\ U_{My1} \cdots U_{My12} \\ U_{Mz1} \cdots U_{Mz12} \end{bmatrix} \quad (4)$$

где $P_{x1} \dots P_{x12}$, $P_{y1} \dots P_{y12}$, $P_{z1} \dots P_{z12}$ – проекции приложенных сил на оси чувствительности датчика X , Y , Z в эксперименте $1 \dots 12$ соответственно, $M_{x1} \dots M_{x12}$, $M_{y1} \dots M_{y12}$, $M_{z1} \dots M_{z12}$ – моменты сил относительно осей чувствительности датчика X , Y , Z в эксперименте $1 \dots 12$ соответственно, K – матрица коэффициентов преобразования между входной и выходной величинами, $U_{Px1} \dots U_{Px12}$, $U_{Py1} \dots U_{Py12}$, $U_{Pz1} \dots U_{Pz12}$ – линейные комбинации напряжений, возникающих на выходах тензомостов при появлении сил по осям X , Y , Z в эксперименте $1 \dots 12$ соответственно, $U_{Mx1} \dots U_{Mx12}$, $U_{My1} \dots U_{My12}$, $U_{Mz1} \dots U_{Mz12}$ – линейные комбинации напряжений, возникающих на выходах тензомостов при появлении моментов сил относительно осей чувствительности датчика X , Y , Z в эксперименте $1 \dots 12$ соответственно.

Каждый эксперимент дает шесть уравнений. Следовательно, двенадцать экспериментов позволят записать семьдесят два уравнения. Имея всего тридцать шесть неизвестных величин можно утверждать, что система переопределена, т.е. количество уравнений превышает количество неизвестных. Но, внимательно изучив табл. 1, в которой приведены создаваемые силы и моменты сил, можно увидеть, что в каждом эксперименте создается комбинация из одной силы и одного момента. Таким образом, полученная система уравнений будет иметь значительно

количество членов равных нулю, а, следовательно, полученные матрицы будут разреженными. Это может привести к возникновению значительных ошибок в ходе вычислений.

На основе полученных данных и способа расчета (2) можно вычислить матрицу коэффициентов K . Используя обозначения из выражения (3) перепишем (4) в следующем виде:

$$K = U_{PM} \cdot (V_{PM})^{-1}. \quad (5)$$

Так как система (4) переопределена, то для ее решения необходимо воспользоваться методом наименьших квадратов. Очевидно, что при отсутствии взаимовлияния отдельных каналов друг на друга все элементы вне главной диагонали матрицы K должны быть равны нулю. Но на практике такое практически невозможно. Поэтому практически всегда элементы вне главной диагонали будут иметь значения отличные от нуля. Величина этих значений позволяет косвенно судить о величине имеющегося взаимовлияния осей друг на друга. Таким образом, контролируя величину элементов вне главной диагонали, можно выявить пороговое значение при превышении которого вносимая ошибка приобретает существенные значения по отношению к общей ошибке измерений датчика.

Вычислив матрицу коэффициентов K и имея результаты экспериментов, можно оценить точность используемой модели работы датчика в первоначальных точках аппроксимации. Для этого необходимо вычислить значения сил и моментов сил по экспериментальным данным с помощью матрицы K и сравнить их с эталонными данными для каждого эксперимента.

$$\Delta = \frac{|V_{PMet} - KU_{PM}|}{V_{PMet}} \cdot 100 = \frac{|V_{PMet} - V_{PM}|}{V_{PMet}} \cdot 100. \quad (6)$$

Таблица 2 содержит максимальные значения ошибок, выраженные в процентах, по каждой из компонент датчика, выбранные из всей серии экспериментов.

Таблица 2

Максимальные значения ошибок

P_x	P_y	P_z	M_x	M_y	M_z
0.26 %	0.19 %	0.13 %	0.30 %	0.34 %	0.78 %

Видно, что наибольшее значение ошибки приходится на момент по оси Z . Очевидно, это обусловлено конструктивными особенностями датчика, но в тоже время эта погрешность отражает в некоторой мере точность аппроксимации характеристики 6-ти компонентного датчика линейной моделью, и она является составляющей основной (т.е. определяемой в нормальных условиях эксплуатации) погрешности датчика. Необходимо отметить, что значение ошибки 0.78 % получено по испытаниям всего в 12-ти точках 6-ти мерного пространства значений измеряемой величины. Если мы выберем N проверяемых точек вдоль каждой координаты, то тогда полная программа проверки должна содержать тестирование в N^6 точках. Кроме того для получения наилучших результатов необходимо в каждом эксперименте создавать полный набор сил и моментов сил, который способен зарегистрировать датчик. Это позволит учесть особенности рабочей характеристики датчика и взаимовлияния осей чувствительности датчика.

Описанный способ расчета опирается на знания устройства и особенностей функционирования датчика. Матрицу коэффициентов K , которая имеет размерность 6 на 6 элементов получена благодаря замене восьми выходных напряжений на шесть линейных комбинаций этих напряжений. Это позволяет получить квадратную матрицу и упростить вычисления. В то же время можно представить дат-

чик как «черный ящик», в котором производится преобразование входных сил и моментов сил в восемь выходных напряжений. Такой подход позволяет отказаться от знания устройства и особенностей функционирования датчика. Поэтому, можно предположить, что при использовании не квадратной матрицы коэффициентов размерностью 6 на 8 элементов может уменьшиться ошибка измерений.

Пусть имеется 8 датчиков, которые выдают сигналы U_1, \dots, U_8 . По этим сигналам необходимо вычислить три силы P_x, P_y, P_z и три момента сил M_x, M_y, M_z . Если считать, что искомые величины должны быть линейными комбинациями известных сигналов, то пересчет сигналов в силы и моменты сил может быть выполнен по матричной формуле:

$$\begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11} & \dots & k_{18} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{61} & \dots & k_{68} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 \\ \vdots \\ U_8 \end{pmatrix} = K_9 \begin{pmatrix} U_1 \\ \vdots \\ U_8 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Обозначим столбец сил и моментов сил как V_{PM} , а столбец напряжений как U и перепишем уравнение (7) в следующем виде:

$$V_{PM} = K_9 U. \quad (8)$$

В матрице K_9 , шесть строк и восемь столбцов, поэтому количество элементов равно 48. Очевидно, что для получения коэффициентов, надо нагружать систему известными силами и моментами и измерять 8 сигналов. Если мы выполним эксперимент 1 раз, то из выражения (8) получим 6 уравнений с 48 неизвестными. Следовательно, необходимо выполнить эксперимент не менее 8 раз, каждый раз нагружая систему по-разному, чтобы избежать линейно зависимых уравнений.

Пусть количество выполняемых экспериментов N составляет 8 или более раз, тогда из выражения (7) получим следующее матричное уравнение:

$$\begin{pmatrix} P_{x1} & \dots & P_{xN} \\ P_{y1} & \dots & P_{yN} \\ P_{z1} & \dots & P_{zN} \\ M_{x1} & \dots & M_{xN} \\ M_{y1} & \dots & M_{yN} \\ M_{z1} & \dots & M_{zN} \end{pmatrix} = K_9 \begin{pmatrix} U_{11} & \dots & U_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ U_{81} & \dots & U_{8N} \end{pmatrix} \quad (9)$$

Обозначим матрицу сил и моментов сил как M_{PM} , а матрицу напряжений как M_U и перепишем уравнение (9) в следующем виде:

$$M_{PM} = K_9 M_U. \quad (10)$$

В уравнении (10) матрица сил и моментов сил M_{PM} , а так же матрица сигналов M_U содержат одинаковое число столбцов, равное N . Если $N > 8$, то получаемая система уравнений переопределена. Такую систему уравнений можно решать методом наименьших квадратов относительно неизвестной матрицы K_9 . Согласно [11] решение для не квадратных матриц имеет вид:

$$K_9 = M_{PM} M_U^T (M_U M_U^T)^{-1}. \quad (11)$$

Вычислив матрицу K , по результатам тех же экспериментов, что использовались для вычисления матрицы размерностью 6 на 6 элементов, можно произвести оценку точности используемой модели и сравнить результаты. Для этого необходимо вычислить значения сил и моментов сил по экспериментальным данным с помощью матрицы K и сравнить их с эталонными данными для каждого эксперимента.

$$\Delta = \frac{|M_{PMet} - KM_U|}{M_{PMet}} \cdot 100 = \frac{|M_{PMet} - M_{PM}|}{M_{PMet}} \cdot 100. \quad (12)$$

Табл. 3 содержит максимальные значения ошибок, выраженные в процентах, по каждой из компонент датчика, выбранные из всей серии экспериментов.

Таблица 3

Максимальные значения ошибки

P_x	P_y	P_z	M_x	M_y	M_z
0.21%	0.15 %	0.14 %	0.19 %	0.31 %	0.45 %

Табл. 4 содержит в себе модуль разности максимальных значений ошибок по каждой из выходных величин между значениями, приведенными в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 4

Максимальные значения ошибки

P_x	P_y	P_z	M_x	M_y	M_z
0.05%	0.04 %	0.01 %	0.11 %	0.03 %	0.33 %

Из таблицы видно, что максимальное значение ошибки уменьшилось более чем в 1,5 раза. Кроме того, приведенный способ расчета применим к произвольному числу экспериментов. Увеличения числа экспериментов позволит более детально изучить свойства датчика, а так же выявить наличие взаимовлияния осей друг на друга. Использование метода наименьших квадратов позволит минимизировать все обнаруженные в ходе экспериментов ошибки. Таким образом, использование предложенной схемы расчета позволяет добиться уменьшения максимального значения ошибки в узловых точках аппроксимации рабочей характеристика многокомпонентного датчика. Но, следует помнить, что данный способ имеет более высокую вычислительную сложность. Это накладывает дополнительные требования к аппаратным средствам в случае проведения вычислений в режиме реального времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шестаков М.П.* Использование стабилометрии в спорте. – М.: ТВТ Дивизион, 2007. – 106 с.
2. *Дышко Б.А.* Современные методики биомеханических измерений: компьютеризированный динамометрический комплекс // Теория и практика физической культуры. – 2000. – № 7. – С. 24-27.
3. *Черникова Л.А., Устинова К.И., Иоффе М.Е., Слива С.С., Переяслов Г.А., Слива А.С.* Методики диагностики и тренировки функции равновесия. Пособие для врачей. – Таганрог: ЗАО «ОКБ «РИТМ», 2007. – 50 с.
4. *Писаренко О.А. [и др.]* Аппаратно-программный комплекс оцувствления скамьи для жима лежа в пауэрлифтинге // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 9 (134). – С. 240-243.
5. *Писаренко О.А.* Программное обеспечение стабилографического комплекса для пауэрлифтинга // Сборник научных работ участников Международного молодежного конкурса «Студент и научно-технический прогресс» / Под ред. О.А. Агеева [и др.]. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2012. – С. 369-371.

6. *Писаренко О.А. [и др.] Сравнительный анализ спортивной техники в пауэрлифтинге у спортсменов различных квалификаций с поражением опорно-двигательного аппарата [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 3. Ч. 1. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1057>, свободный. – Загл. с экрана.*
7. Патент на полезную модель №86466 с приоритетом от 27. 02. 2009. Кресло силомоментное / *Кононов А.Ф., Хлабустин Б.И., Переяслов Г.А., Слива С.С., Лебедь С.И.*
8. *Холмогорова Н.В., Кручинин П.А., Шлыков В.Ю., Слива С.С.* Диагностика функциональных состояний человека на основе силокоординатных аппаратно-программных комплексов // *Известия ЮФУ. Технические науки.* – 2010. – № 9 (110). – С. 170-174.
9. *Холмогорова Н.В., Кручинин П.А., Левик Ю.С., Слива С.С. Шлыков В.Ю.* Диагностика ранних неврологических нарушений с помощью силомоментных аппаратно-программных комплексов // *Известия ЮФУ. Технические науки.* – 2012. – № 9 (134). – С. 256-261.
10. *Кручинин П.А., Холмогорова Н.В., Кручинина А.П.* Использование компонентов баллистограмм, обусловленных сердечной деятельностью, при исследовании удержания человеком заданной позы // *Инженерный Вестник Дона.* – 2012. – № 4 (Ч. 1).
11. *Гусак А.А., Бричикова Е.А.* Справочник по высшей математике. – Минск: Тетра Системс, 1999. – 640 с.

REFERENCES

1. *Shestakov M.P.* Ispol'zovanie stabilometrii v sporte [Using stabilometry in sports]. Moscow: TVT Divizion, 2007, 106 p.
2. *Dyshko V.A.* Sovremennyye metodiki biomekhanicheskikh izmereniy: komp'yuterizirovannyi dinamometricheskii kompleks [Modern methods of biomechanical measurements: computerized dynamometer complex], *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and practice of physical culture], 2000, No. 7, pp. 24-27.
3. *Chernikova L.A., Ustinova K.I., Ioffe M.E., Sliva S.S., Pereyaslov G.A., Sliva A.S.* Metodiki diagnostiki i trenirovki funktsii ravnovesiya [Methods of diagnosis and training of the equilibrium function. Manual for doctors]. Taganrog: ZAO «OKB «RITM», 2007, 50 p.
4. *Pisarenko O.A. [и др.]* Apparatno-programmnyy kompleks ochuvstvleniya skam'i dlya zhima lezha v pauerliftinge [Aparatus-programm complex of for powerlifting], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 9 (134), pp. 240-243.
5. *Pisarenko O.A.* Programmnoe obespechenie stabilograficheskogo kompleksa dlya pauerliftinga [Software stabilographic complex for powerlifting], *Sbornik nauchnykh работ uchastnikov Mezhdunarodnogo molodezhnogo konkursa «Student i nauchno-tekhneskiy progress»* [Collection of scientific works of the participants of the International youth competition "Student and scientific-technical progress"]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2012, pp. 369-371.
6. *Pisarenko O.A. [и др.]* Sravnitel'nyy analiz sportivnoy tekhniki v pauerliftinge u sportsmenov razlichnykh kvalifikatsiy s porazheniem oporno-dvigatel'nogo apparata [A comparative analysis of sports techniques in powerlifting in athletes of different qualifications with lesions of the musculoskeletal system], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Journal of Engineering Don], 2012, No. 3. Part 1. Available at: [://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1057](http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1057).
7. Патент на полезную модель №86466 с приоритетом от 27. 02. 2009. Кресло силомоментное [Chair workspace], *Kononov A.F., Khlabustin B.I., Pereyaslov G.A., Sliva S.S., Lebed' S.I.*
8. *Kholmogorova N.V., Kruchinin P.A., Shlykov V.Yu., Sliva S.S.* Diagnostika funktsional'nykh sostoyaniy cheloveka na osnove silokordinatnykh apparatno-programmnykh kompleksov [Diagnostics of functional human's state based on force-coordinat complexes which consist of software and hardware parts], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 9 (110), pp. 170-174.
9. *Kholmogorova N.V., Kruchinin P.A., Levik Yu.S., Sliva S.S. Shlykov V.Yu.* Diagnostika rannikh неврологических нарушений с помощью силомоментных аппаратно-программных комплексов [Diagnostics of early neurological disorders with hardware and software complexes based on force-torque sensors], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 9 (134), pp. 256-261.

10. Kruchinin P.A., Kholmogorova N.V., Kruchinina A.P. Ispol'zovanie komponentov ballistogramm, obuslovlennykh serdechnoy deyatel'nost'yu, pri issledovanii uderzhaniya chelovekom zadannoy pozy [The use of components of bullestorm due to cardiac activity in the study of retention by a person of a given pose], *Inzhenery Vestnik Dona* [Journal of Engineering Don], 2012, No. 4 (Part 1).
11. Gusak A.A., Brichikova E.A. Spravochnik po vysshey matematike [Handbook of higher mathematics]. Minsk: Tetra Sistems, 1999, 640 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор И.Б. Старченко.

Писаренко Олег Александрович – ЗАО «Особое конструкторское бюро «РИТМ»; e-mail: office@stabilan.com.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 99; тел.: 88634623190; инженер.

Pisarenko Oleg Aleksandrovich – JSC «Special design office «RITM»; e-mail: office@stabilan.com.ru; 99, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634623190; engineer.

УДК 612.76

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

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ
НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА СИЛОМОМЕНТНЫМ
АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫМ КОМПЛЕКСОМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

Разработана и апробирована технология неинвазивной оценки функциональных состояний нервной системы человека, включающая модель силомоментного аппаратно-программного комплекса (АПК) нового поколения, позволяющую на основе анализа сигналов АПК оценить состояние ЦНС в соответствии с критериями, общепринятыми в физиологии и медицине. В отличие от известных аналогов, данный АПК оснащен шестикомпонентными силомоментными датчиками, регистрирующими силы и моменты во всех точках взаимодействия частей тела обследуемого с внешним миром, что позволяет анализировать как быстрые высокочастотные, так и медленные постуральные микро движения тела человека и его звеньев. Для выделения и анализа быстрых постуральных микро движений разработана программа частотного анализа стабילו- и баллистограмм. Для анализа стационарных участков программа используется Фурье анализ на базе метода Велча. Анализ нестационарных участков осуществляется с использованием вейвлетов Морле. Для определения особенностей вегетативной регуляции предусмотрена возможность регистрации и программной обработки частоты дыхания и кардиограммы, а также регистрация и анализ КГР. Пилотная апробация показала, что «очувствление» внешнего пространства, с помощью АПК является эффективным приемом, позволяющим выявить скрытые проявления патологического и усиленного физиологического тремора. Результаты позволяют говорить об эффективности использования предлагаемой технологии в целях диагностики ранних неврологических нарушений, а также для выявления динамики нормальных функциональных состояний человека.

Неинвазивная методика; диагностика функционального состояния ЦНС; аппаратно-программный комплекс; кресло с силомоментным чувствление; тремор; мышечный тонус.