

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СТАБИЛОМЕТРИИ

Н. Е. Антонова<sup>1</sup>, А. А. Большаков<sup>1</sup>, В. В. Киселев<sup>2</sup>, В. В. Лобанов<sup>1</sup>

*Кафедры: «Автоматика, управление, механотроника» (1), «Радиоэлектроника и телекоммуникации» (2), ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина», г. Саратов; aabolshakov57@gmail.com*

**Ключевые слова и фразы:** диагностика; медицинские экспертные системы; нейронная сеть; обратная связь; прогноз.

**Аннотация:** Предложена комбинированная модель системы поддержки принятия решений диагностики заболеваний опорно-двигательного аппарата с использованием классификации объекта управления и обратной связи в стабилометрии. В основе предложенной модели лежит использование методов статистического анализа и нейронных сетей. Представлена структура разработанной гибридной экспертной системы.

---

### Введение

Обработка сигналов в медицине – одно из важных направлений развития математических методов и техники. В XX веке в медицине и биологии продолжали развиваться методы анализа сигналов и широко использовались современные математические методы, к которым относятся такие области исследований, как анализ физиологических сигналов, создание математических моделей физиологических и патологических процессов, поддержка принятия решений при диагнозе больных, анализ и моделирование макромолекул, математическое моделирование лекарственных препаратов, разработка методов нелинейной динамики для описания физиологических и патологических процессов, использование методов искусственного интеллекта.

Вопросам компьютерной диагностики заболеваний посвящены работы учёных Б. А. Кобринского, Д. Ферруччи и др. [1, 2]. Однако диагностика заболеваний опорно-двигательного аппарата с использованием стабилометрической платформы является одной из областей медицины, которая практически не охвачена интеллектуальными информационными технологиями. Это связано, прежде всего, со сложностью строения опорно-двигательного аппарата и методов его исследования.

В научной литературе имеются многочисленные авторские методики или предложения по обработке данных, получаемых при регистрации статокинезиограммы. Несмотря на большое многообразие методов математической обработки статокинезиограмм, существует ряд стандартных статистических показателей; характеристики спектрального состава стабилограмм; индикаторы, характеризующие параметры статокинезиограмм, а также их специальные показатели.

Стабилография обладает рядом существенных недостатков: неунифицированность методов стабилографии; отсутствие критериев выбора информативных

параметров статокинезиограммы; расплывчатые и неточные представления о границах нормальных значений стабилометрических параметров; отсутствие общепринятого представления о функциональной системе, осуществляющей функцию равновесия и координацию движений; неясность диагностической ценности изменений параметров равновесия при периферических и центральных поражениях нервной системы [3].

Эффективность стабилометрии в терапии существенно увеличивается, если ее дополнить возможностью получения не только общих кривых, но и формированием категорий вероятных диагнозов.

Таким образом, совершенствование методов и алгоритмов анализа колебаний центра тяжести человека, как одного из ценных диагностических методов, а также разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений, являются востребованной и актуальной задачей.

### Характеристика объекта исследования

В настоящее время стабилометрия – один из методов функциональной диагностики двигательной патологии, который приобретает все большее значение в различных областях практической медицины из-за следующих факторов [4, 5]:

- используемый двигательный тест и основная стойка (рис. 1) включают действие многих систем организма (опорно-двигательной, нервной, вестибулярной, зрительной, проприоцептивной и др.);
- исследование занимает относительно мало времени;
- не требуется монтаж датчиков на теле обследуемого (за исключением специальных методик);
- получаемые параметры очень чувствительны и обладают как диагностической, так и прогностической ценностью.

Таким образом, благодаря техническому прогрессу в области медицинского оборудования и его компьютеризации для оценки функции равновесия человека применяются компьютерные стабилографы, которые анализируют перемещение центра давления стоп пациента на платформу прибора [4].

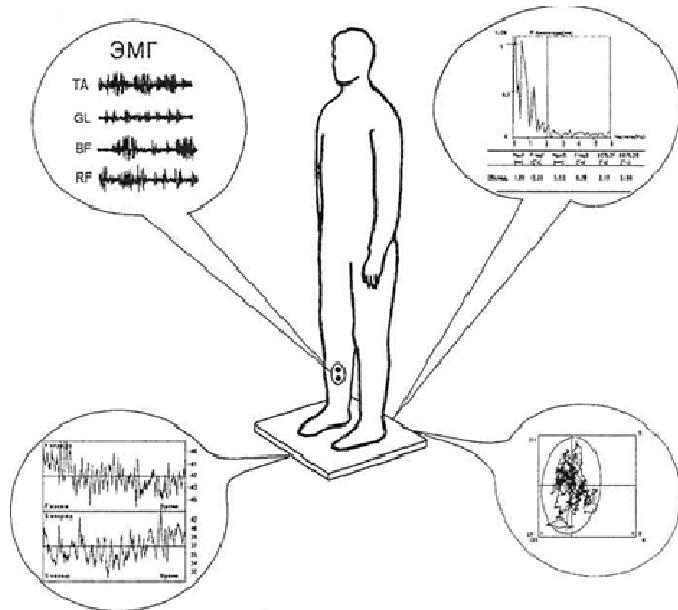


Рис. 1. Схематическое изображение стабилометрического исследования

## Постановка задачи

Для повышения эффективности диагностики заболеваний опорно-двигательного аппарата с использованием стабилометрических исследований необходимо применение комбинированных методов диагноза и поддержки принятия решений. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- провести предварительный анализ стабилометрических данных;
- статистическими методами теории распознавания образов провести оценку точности диагностики заболеваний;
- выявить наиболее значимые факторы;
- провести оценку точности диагностики заболеваний на основе нейронной сети.

В качестве исходных данных используются показатели 273 больных и 20 здоровых пациентов, прошедших стабилометрические исследования.

## Построение интеллектуальной системы поддержки принятия решений

Диагностика в области медицины может быть представлена задачей определения зависимости между симптомами (входными данными) и диагнозом (выходными данными). Для создания эффективной системы диагностики целесообразно использовать методы искусственного интеллекта.

Справедливость такого подхода подтверждает анализ данных, используемых при медицинской диагностике, который показывает, что они обладают следующими особенностями: качественным характером информации; наличием пропусков данных; взаимной коррелированностью; большим числом переменных при относительно небольшом числе наблюдений. Кроме этого, значительная сложность объекта наблюдения (заболеваний) нередко не позволяет построить даже вербальное описание процедуры диагноза врачом.

Для решения актуальной задачи медицинской диагностики заболеваний необходимо выявить существенные признаки. По выявленным значимым признакам на базе интеллектуальной процедуры осуществляется формирование рекомендаций по постановке диагноза пациенту.

Для этого предложена гибридная экспертная система диагностики, в основе функционирования которой находится комбинированный метод построения диагностирующей процедуры. Архитектура интеллектуальной системы медицинской диагностики представлена на рис. 2, согласно которой блок входной информации формирует матрицу исходных данных размерности  $M \times N$ , где  $M$  – число переменных (симптомов, характеристик и т.п.), а  $N$  – число наблюдений (больных).



Рис. 2. Архитектура интеллектуальной системы медицинской диагностики

Модуль предварительного анализа служит для исследования особенностей входной информации: наличия и относительного веса переменных качественного характера; пропусков данных; соотношения числа переменных и наблюдений и т.д. [3].

Эксперт (лицо, принимающее решение – ЛПР) принимает решение о настройках следующего модуля – предварительной обработки по результатам информации предыдущего блока. Этот блок позволяет при необходимости восстановить пропущенные данные одним из выбранных способов, отбросить «дикие измерения» и т.п.

Модуль многомерного статистического анализа числовых и нечисловых данных позволяет выявить наиболее информативные переменные с точки зрения влияния на диагноз. Его использование существенно сокращает число рассматриваемых переменных и снижает требования по числу наблюдений для построения нейронной сети. В качестве многомерного метода обработки данных целесообразно использовать дискриминантный анализ с итерационной процедурой включения переменных.

В блоке выявления значимых факторов принимается решение о составе переменных, которые используются для построения нейронной модели диагноза заболеваний. При этом эксперт может дополнить перечень подобных переменных, формируемых по результатам работы предыдущего модуля.

Следующий блок – построение нейронной классифицирующей сети по заданному множеству входных переменных и диагнозу. Опыт решения подобных задач показал, что целесообразно использовать двухслойные нейронные сети прямого распространения с сигмоидальной функцией активации [4, 5].

В заключительном блоке принятия решения делается вывод о достижении поставленной цели – создании нейронной сети для формирования диагноза заболевания с заданной точностью. Если задача не решена, то осуществляется переход к блоку управляющей подсистемы, который организует передачу управленческого решения в подсистему сбора и обработки информации, далее – в блок выбора данных для анализа. После этого вновь повторяется итерационная комбинированная процедура построения модели диагностики.

### **Многомерный статистический анализ**

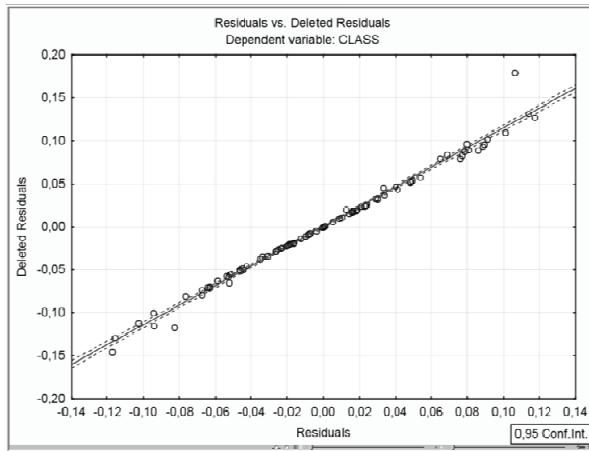
Статистический анализ данных осуществляется с использованием пакета «Statistica 10.0» [6]. При проведении регрессионного анализа для оценки линейной связи между входными и выходными переменными определен коэффициент корреляции  $r_{xy} = 0,9$  что свидетельствует о существенной прямой корреляционной связи между показателями и категорией обследованных.

Значение коэффициента детерминации  $R^2 = 98,7\%$  свидетельствует о том, что модель можно считать достаточно информативной, в том числе фактор  $X$  и модель полностью объясняют дисперсию выходной переменной. По значению критерия  $F = 4158,2$  и уровню значимости  $p = 0,05$  модель следует признать значимой. Таким образом, число наблюдений в эксперименте оказалось вполне достаточным для построения статистически значимой модели.

Рассмотрим значения коэффициентов модели и оценку их значимости. Свободный член  $a = 3,53$ ; коэффициенты регрессии  $b_X = 0,17801$ ,  $b_Y = 0,13021$ ,  $b_x = 0,00481$ ,  $b_y = 0,07962$ ,  $b_L = 0,00403$ ,  $b_S = 0,00097$ ,  $b_A = 0,00123$ ,  $b_B = -0,09228$  определяют характер изменения выходной переменной.

Так как значимыми признаются коэффициенты с уровнем значимости  $p \leq 0,05$ , модель будет иметь вид

$$y = 0,17801X - 0,13021Y - 0,07962x + 0,00403L + 0,00097S.$$



**Рис. 3. График линии регрессии**

Результаты регрессионного анализа представлены на рис. 3.

Далее рассмотрим результаты дискриминантного анализа с пошаговым исключением переменных. Оценка информативности показателей, включенных в линейную дискриминантную функцию, при проведении дискриминантного анализа показала, что наиболее информативными симптомами (с уровнем значимости  $p < 0,01$ ) являются координаты смещения проекций центра тяжести и девиации во фронтальной и сагиттальной плоскостях, длина  $L$  и площадь  $S$  статокинеziограммы.

Линейные квалификационные функции рассчитываются по формулам:

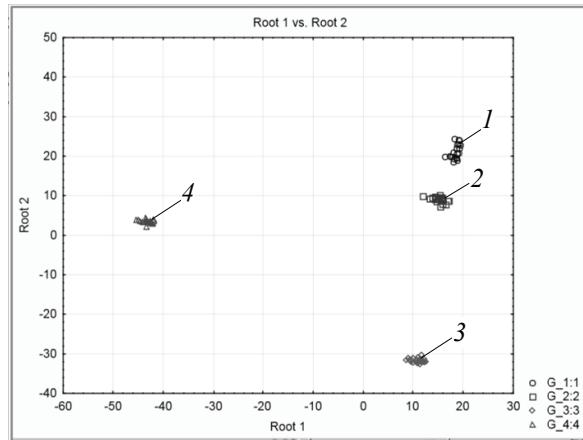
$$\text{ЛКФ1} = 11550,7 + 6,2X - 592,2Y + 213,4x - 65,6y + 8,4L + 1,7S + 1536,3A;$$

$$\text{ЛКФ2} = -13753,0 + 74,9X - 654,9Y + 236,5x - 77,6y + 8,6L + 2,1S + 1527,7A;$$

$$\text{ЛКФ3} = -12317,8 + 256,7X - 609,7Y + 231,7x - 82,7y + 6,5L + 2,3S + 978,0A;$$

$$\text{ЛКФ4} = -11544,0 + 131,7X - 627,5Y + 91,9x - 176,7y + 16,1L + 2,2S + 1357,4A,$$

где  $A$  – спектральная характеристика.



**Рис. 4. Положение объектов четырех групп в координатах первой и второй канонических линейных дифференциальных функций:**  
1 – G\_1:1; 2 – G\_2:2; 3 – G\_3:3; 4 – G\_4:4  
(G – область значений (количество больных))

Для решения задач медицинской диагностики следует использовать первые две канонические линейные дифференциальные функции с суммарным вкладом в дисперсию симптомов 98,5 %.

Канонические линейные дифференциальные функции вычисляются по формулам:

$$F1 = 41,9 - 0,64X + 0,15Y + 2,29x + 1,75y - 0,14L - 0,003S + 0,57A;$$

$$F2 = 9,25 - 4,57X - 0,08Y - 0,51x + 0,04y + 0,06L - 0,009S + 11,29A.$$

Решение диагностической задачи выполняется согласно графику на рис. 4, на котором нанесены центроиды четырех диагностируемых групп. Больного, для которого по его показателям определены значения  $F1$  и  $F2$  (Root1 и Root2), следует отнести к группе по минимальному расстоянию от соответствующего центроида.

### Построение нейронной сети

Применение методов статистического анализа в рассматриваемой области ограничивается нечеткой трактовкой моделей нормы, адаптации и патологии [8, 9].

Для разработки алгоритмов дифференциальной диагностики применялись методы математического моделирования по технологии нейронных сетей пакетов Statistica Neural Networks 10.0 и Statistica 10.0 (StatSoft, Inc., США). Анализ работоспособности системы с использованием нейронной сети показал, что точность предсказания заболевания 85 – 90 %. Результаты работы нейронной сети представлены на рис. 5.

В результате проведенной работы получена оценка эффективности диагностики заболеваний опорно-двигательного аппарата с использованием статистических методов и нейронных сетей. Точность предсказания заболевания составляет свыше 90 % для статистических методов и 85 – 90 % для нейронных сетей, что свидетельствует о целесообразности использования статистических методов дальнейшего исследования и разработки алгоритмов дифференциальной диагностики [10].

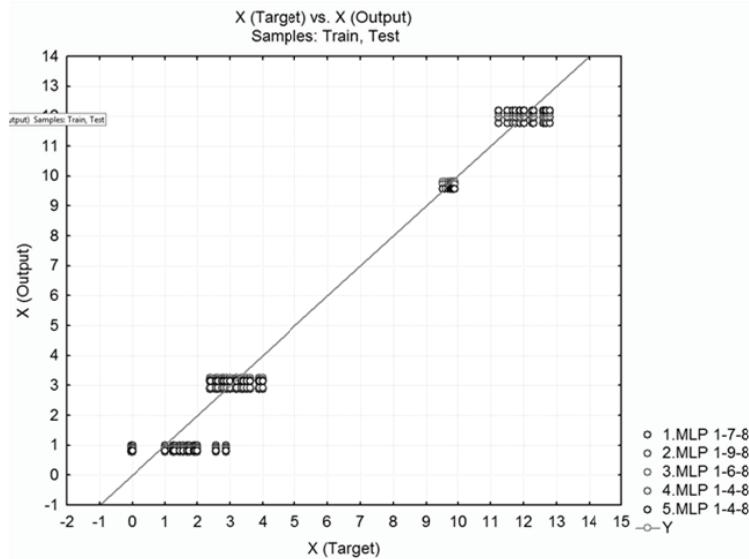
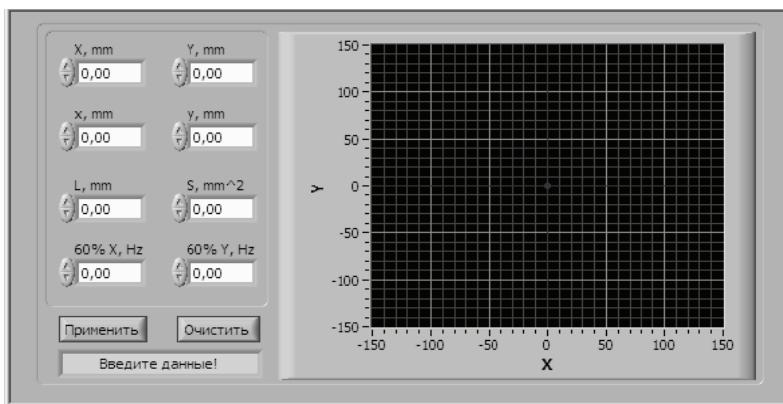


Рис. 5. Результаты работы нейронной сети



**Рис. 6. Интерфейс пользователя разработанного программного обеспечения**

### Разработка программного обеспечения

Программа «Диагностика заболеваний опорно-двигательного аппарата с помощью стабилоплатформы», разработанная на графическом языке G программного комплекса LabVIEW компании National Instruments, предназначена для диагностики заболеваний опорно-двигательного аппарата и может применяться в отраслях, связанных с медициной и профилактикой заболеваний, также в образовательном процессе при обучении специалистов соответствующего профиля. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: установление заболеваний ишемии головного мозга, поясничный остеохондроз, гонартроз, то есть заключения о сущности болезни и состоянии пациента, выраженное в принятой медицинской терминологии. На рисунке 6 представлен интерфейс разработанного программного обеспечения.

### Заключение

Таким образом, предложена архитектура интеллектуальной системы поддержки принятия решений в медицинской диагностике заболеваний с помощью обработки статокинезиограмм. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение, позволяющее реализовать гибридный модуль поддержки принятия решений в соответствии с предложенной архитектурой системы поддержки принятия решений в диагностике заболеваний опорно-двигательного аппарата с помощью стабилометрической платформы.

К преимуществам разработанных модулей можно отнести интегрированность, объединение в единое информационное пространство различных программных средств, поддержку распределенной работы модулей системы.

В результате, использование разработанных алгоритмов обработки статокинезиограмм и системы поддержки принятия решения позволило повысить эффективность диагностики заболеваний на основе стабилометрической платформы на 25 %.

### Список литературы

1. Кобринский, Б. А. Системы искусственного интеллекта в медицине: состояние, проблемы и перспективы / Б. А. Кобринский // Новости искусственного интеллекта. – 1995. – № 2. – С. 45–46.
2. Рахманова, З. Б. Медицинское знание: от прошлого к будущему, или экспертные системы в медицине / З. Б. Рахманова // Новости искусственного интеллекта. – 1995. – № 3. – С. 33 – 36.

3. Корниенко, Л. В. Лечебная физкультура с использованием статического волевого растяжения в комплексном лечении сочетанной патологии опорно-двигательного аппарата : дис. ... канд. мед. наук : 14.00.51 / Корниенко Людмила Васильевна. – Томск, 2007. – 119 с.
4. Скворцов, Д. В. Биомеханические методы реабилитации патологии походки и баланса тела : дис. ... д-ра мед. наук : 14.00.51 / Скворцов Дмитрий Владимирович. – Москва, 2008. – 241 с.
5. Розенблум, М. Г. Исследование хаотических колебаний в нелинейной системе управления поддержанием вертикальной позы тела человека / М. Г. Розенблум // Вестн. науч.-техн. развития. – 2007. – № 3. – С. 32 – 41.
6. Мясникова, Н. Е. Медико-биологические основы работы стабилометрических платформ / Н. Е. Мясникова, Г. М. Проскуряков // Анализ, синтез и управление в сложных системах : сб. науч. тр. / Саратов. гос. техн. ун-т. – Саратов, 2009. – С. 68 – 78.
7. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами / А. Н. Антамошин, О. В. Близнова, А. В. Бобов, А. А. Большаков, В. В. Лобанов, И. Н. Кузнецова ; под ред. А. А. Большакова. – М. : Горячая линия-Телеком, 2006. – 160 с.
8. Большаков, А. А. Методы обработки многомерных данных и временных рядов / А. А. Большаков, Р. Н. Каримов. – М. : Горячая линия-Телеком, 2007. – 522 с.
9. Стабилограф : свид-во на полезную модель 86862 Рос. Федерации : МПК A 61 В 5/11 / Мясникова Н. Е., Проскуряков Г. М. ; заявитель и правообладатель Сар. гос. техн. ун-т. – № 2009117133/22 ; заявл. 05.05.2009 ; опубл. 20.09.2009, Бюл. № 26.
10. Stefanuk, V. L. Expert Systems and its Applications / V. L. Stefanuk // Труды Все-союзной конференции «Искусственный интеллект – 90», г. Минск, 21 – 24 окт. 1009 г. / Российская ассоциация искусственного интеллекта. – Минск, 1990. – Ч. 2. – С. 36 – 55.

---

## The Application of Hybrid Expert System for Decision Support in Stabilometry

N. E. Antonova<sup>1</sup>, A. A. Bolshakov<sup>1</sup>, V. V. Kiselev<sup>2</sup>, V. V. Lobanov<sup>1</sup>

Departments: «Automation, Control, Mechatronics» (1),  
«Radioelectronics and telecommunications» (2),  
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov;  
aabolshakov57@gmail.com

**Key words and phrases:** diagnostics; feedback; medical expert systems; neural network; prediction.

**Abstract:** The authors proposed a hybrid model of decision support system for diagnostics of musculoskeletal system diseases using the classification of control object and feedback in stabilometry. The proposed model includes the use of statistical analysis and neural networks. The structure of the developed hybrid expert system is described.

### References

1. Kобринский Б.А. *Novosti iskusstvennogo intellekta*, 1995, no. 2, pp. 45-46.
2. Рахманова З.Б. *Novosti iskusstvennogo intellekta*, 1995, no. 3, pp. 33-36.
3. Корниенко Л.В. *PhD dissertation (Medical sciences)*, Tomsk, 2007, 119 p.

4. Skvortsov D.V. *PhD dissertation (Medical sciences)*, Moscow, 2008, 241 p.
  5. Rozenblyum M.G. *Vestnik nauchno-tehnicheskogo razvitiya*, 2007, no. 3, pp. 32-41.
  6. Myasnikova N.E., Proskuryakov G.M., in Saratov State Technical University. *Analiz, sintez i upravlenie v slozhnykh sistemakh* (Analysis, design and management of complex systems), Collection of scientific papers, Saratov, 2009, pp. 68-78.
  7. Antamoshin A.N., Bliznova O.V., Bobov A.V., Bol'shakov A.A., Lobanov V.V., Kuznetsova I.N. *Intellektual'nye sistemy upravleniya organizatsionno-tehnicheskimi sistemami* (Intelligent control system of organizational and technical systems), Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 2006, 160 p.
  8. Bol'shakov A.A., Karimov R.N. *Metody obrabotki mnogomernykh dannykh i vremennykh ryadov* (Methods of processing of multidimensional data and time series), Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 2007, 522 p.
  9. Myasnikova N.E., Proskuryakov G.M., Saratov State Technical University, *Stabilograf* (Stabilographa), Russian Federation, Utility model certificate 86862.
  10. Stefanuk V.L., in Russian Association of Artificial Intelligence. *The lectures of Union's workshop on the main problems of artificial intelligence and intellectual systems*, Minsk, 1990, Part 2, pp. 36-55.
- 

## **Anwendung des intellektuellen Hybridsystems der Unterstützung der Annahme der Lösungen in Stabilitätsmetrie**

**Zusammenfassung:** Es ist das kombinierte Modell des Systems der Unterstützung der Annahme der Lösungen der Diagnostik der Erkrankungen des stützmotorischen Apparates unter Ausnutzung der Klassifikation des Objektes der Steuerung und der Rückkopplung in der Stabilitätsmetrie vorgeschlagen. Zugrunde des angebotenen Modells liegt die Nutzung der Methoden der statistischen Analyse und der Neuronnetze. Es ist die Struktur des entwickelten Hybridexperten systems dargelegt.

---

## **Application d'un système intellectuel hybride de la maintenance de la prise des solutions dans la stabilométrie**

**Résumé:** Est proposé le modèle combiné du système de la maintenance de la prise des solutions du diagnostic des maladies du système musculo-squelettique avec l'emploi de la classification de l'objet de la commande et de l'action en retour dans la stabilométrie. A la base du modèle proposé se trouve l'utilisation des méthodes de l'analyse statistique et des réseaux de neuron. Est présentée la structure du système expert hybride élaboré.

---

**Авторы:** Антонова Наталья Евгеньевна – аспирант кафедры «Автоматика, управление, механотроника»; Большаков Александр Афанасьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика, управление, механотроника»; Киселев Вадим Владимирович – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации»; Лобанов Владимир Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика, управление, механотроника», ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина», г. Саратов.

**Рецензент:** Глазков Виктор Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника», ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина», г. Саратов.