

УДК 531.38:612.76

ПРИБОР КОНТРОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА НА БАЗЕ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИНЕРЦИАЛЬНОГО МОДУЛЯ

Зорина Е.В.

*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Томск, e-mail: Lenochka0892@gmail.com*

В статье рассматривается прибор контроля пространственного положения человека на базе МЭМС датчиков, своего рода миниатюрная навигационная система. Прибор содержит микромеханические инерциальные модули, вычислительный блок, радиоканал приема и передачи данных, а также программное обеспечение отображения и визуализации движений человека. Микромеханический инерциальный модуль включает в себя трехкомпонентный гироскоп, акселерометр и магнитометр. Цель работы – разработать прибор, который позволит пациентам улучшить общее физическое состояние и способность к самостоятельному передвижению, а также будет служить для реабилитации, функциональной диагностики, количественной оценки координатных возможностей человека, стабильности позы и многое другое. Прибор может стать хорошей альтернативой традиционной стабилотрии. Проведен компьютерный эксперимент в программном продукте MATLAB/Simulink и построена имитационная модель алгоритма ориентации.

Ключевые слова: равновесие, стабилотрия, микромеханический инерциальный модуль, математическая модель тела человека

CONTROL DEVICES THE SPATIAL POSITION OF THE PERSON BASED MICROMECHANICAL INERTIAL MODULE

Zorina E.V.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education National Research Tomsk
Polytechnic University, Tomsk, e-mail: Lenochka0892@gmail.com*

The article discusses the control device of spatial position the human based on MEMS sensors, a kind of miniature navigation system. The device comprises the several micromechanical inertial modules, calculation unit, radio channel to receiving and transmitting data, and software to display and visualize human motion. Micromechanical inertial module includes a three-component, gyroscope, accelerometer and magnetometer. The purpose of the work to develop a device that would allow patients to improve the general physical condition and the ability of independent movement. The device will be used to rehabilitation, functional diagnostics, quantitative evaluation of coordination possibilities of man, stability of pose and a host of other things. The device can be a good alternative to traditional stabilometry. The was conducted computer experiment in software product MATLAB/Simulink and it constructed simulation model the algorithm of orientation.

Keywords: balance, stabilometry, micromechanical inertial module, the mathematical model of the human body

Значительное место в современном мире технического прогресса занимают задачи сохранения баланса, ориентации и координации движения в вертикальной стойке, ходьбе и других действиях. Таким образом, работа с множеством механизмов, управление технологическими и производственными процессами предъявляет строгие требования к тонким координационно-двигательным реакциям. В таких условиях разные виды патологии могут выявляться самым критическим образом. В то же время большинство заболеваний опорно-двигательного аппарата имеют свои симптомы, выраженные нарушением равновесия пациента в положении стоя, сидя или при ходьбе. Однако при клинических исследованиях наличие отдельных симптомов становится очевидным только при грубой патологии. Существуют специальные методы, которые могут выявить такие изменения намного быстрее, что позволяет провести диагно-

стику на стадии заболевания человека, когда нет еще жалоб от пациента.

На сегодняшний день в медицине развитых стран сложилась новая медицинская специальность – постурология [9].

Постурология – это область человеческих знаний, занимающаяся изучением процессов сохранения, регуляции и управления равновесием человека при различных положениях его тела и выполнении движений в нормальном состоянии и при патологии. Поддержание равновесия, так называемого прямостояния, – динамический процесс. Тело человека иногда совершает практически незаметные, а иногда хорошо видимые в разных плоскостях колебательные движения. Характеристики колебаний, такие как частота, амплитуда, направление движения, являются чувствительными параметрами, отражающими состояние различных систем, включенных в поддержание равновесия.

Тестирование процесса равновесия в основной стойке может дать информацию о функциональном состоянии значительной части опорно-двигательной и сенсорной систем [10].

Термины стабилметрия или стабиллография часто применяются как синонимы, хотя подразумевают анализ изменения позы человеком только на определенном оборудовании – стабилметрической платформе. Постурография включает стабилметрию как одну из методик.

Методики различаются видом применяемого оборудования, на котором проводят измерения различных физических параметров, связанных с перемещением центра давления, перемещением конечностей и сегментов тела, силой толчка (прыжка) и других.

Стабилметрия применяется в медицине [4], спорте [8, 3] при допуске и оценке функционального состояния, психологии [5] и других областях для количественной оценки двигательных и координационных возможностей. Метод включен в российские стандарты оказания медицинской помощи как один из способов диагностики при некоторых заболеваниях: врожденные аномалии нервной системы, травмы позвоночника и спинного мозга, болезнь Паркинсона, полиневропатии [7] и других.

Самым распространенным является метод с использованием стабилметрических платформ, он вошел в приказ Минздрава России от 29.12.2012 № 1705н «О порядке организации медицинской реабилитации».

Рассмотрим метод, который основан на регистрации колебаний тела человека или других его сегментов с помощью микромеханических датчиков. Для названия метода используются названия «акселерометрия», «пространственная стабилметрия», «3D-стабилметрия» и другие.

Данный метод диагностики имеет свои преимущества перед другими.

Метод акселерометрии существенно чувствительнее для регистрации различных колебаний, чем использование стабилметрических или пододинамометрических платформ, что позволяет получать больше информации и исследовать колебания в широком спектре частот. Есть у метода акселерометрии и свои ограничения. Он, в отличие от пододинамометрических приборов, не позволяет получить координаты положения центра тяжести тела или его проекции на плоскость опоры. В то же время стало возможным измерять количество движения, которое выполняет тот или иной человек в течение суток и более. Здесь имеется и прямой выход на клинические задачи – это объективная оценка количества физической нагрузки для пациента во время занятий ЛФК, бытовых действий, занятий спортом.

Другая сторона таких технологий – возможность объективной регистрации тремора любого сегмента тела во всем диапазоне частот. Такие исследования стали доступны относительно недавно, например регистрация функции конечности после перенесенного церебрального инсульта. Данная технология делает возможной быструю и недорогую оценку двигательных нарушений в процессе лечения или действия фармакотерапии [2].

Контроль пространственного положения человека

В данной статье рассматривается прибор для контроля пространственного положения человека на базе МЭМС датчиков, своего рода миниатюрная навигационная система. Прибор (рис. 1) содержит микромеханические инерциальные модули, закреплённые на человеке, вычислительный блок (система сбора и обработки полученных от МИМ данных), радиоканал приема и передачи данных, а также программное обеспечение отображения и визуализации движений человека.

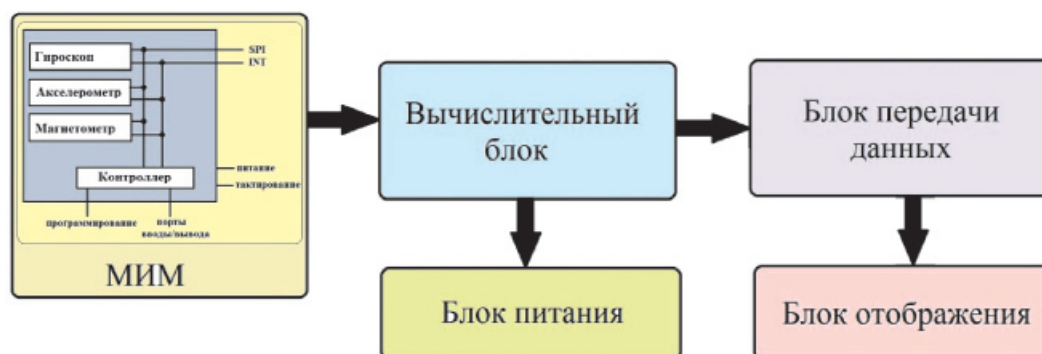


Рис. 1. Структурная схема прибора пространственного положения человека

Прибор контроля пространственного положения человека на базе МЭМС датчиков может быть хорошей альтернативой традиционной стабилотрии.

Микромеханический инерциальный модуль (МИМ) это цифровое измерительное устройство, построенное на базе микромеханических инерциальных датчиков, которые измеряют линейные ускорения, параметры магнитного поля и углы поворота.

Целью работы является построение миниатюрной навигационной системы для определения пространственного положения человека с использованием микромеханических систем, а также для реабилитации, функциональной диагностики, стабильности позы.

Для проведения расчетов и визуализации необходима математическая модель тела человека. Такая модель должна учитывать различные особенности строения тела человека, однако тогда это усложнит ее создание. Целесообразнее, чтобы модель включала только те элементы, на которые будут крепиться чувствительные элементы.

В качестве модели тела человека возьмем простейшую модель (рис. 2), состоящую из 13 составных частей.

Пользователь системы для измерения кинематических параметров движений человека должен получать информацию о движениях в удобном виде, что включает в себя наглядность выходной информации, возможность визуально оценить конкретные измерения. Таким образом, вычислительный блок выполняет следующие задачи.

1. Получение на выходе углов ориентации частей тела человека:

- относительно базовой системы координат;
- относительно связанных систем координат соседних сегментов.

2. Визуализация движений человека в трехмерном пространстве.

Входными данными будет набор кватернионов, соответствующий количеству сегментов тела, несущий информацию об ориентации частей тела в данный момент

времени, а также длины L подвижных частей тела человека.

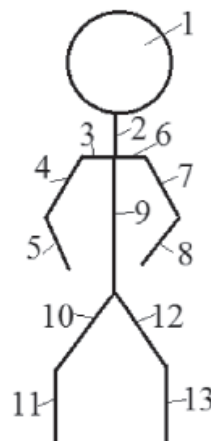


Рис. 2. Модель тела человека

Структурная схема разработанного алгоритма представлена на рис. 3.

Уравнениями ориентации называют дифференциальные уравнения, в результате решения которых получают параметры, характеризующие положение подвижного объекта относительно выбранной системы координат. Такими параметрами могут быть углы Эйлера – Крылова, направляющие косинусы, параметры Родрига – Гамильтона и др.

Источником информации алгоритма ориентации с углами Эйлера – Крылова являются проекции ω_x , ω_y , ω_z вектора относительной угловой скорости получаемые на основе сигналов трех микромеханических гироскопических датчиков. Выходом алгоритма ориентации являются углы Ψ , θ , γ пространственного положения человека.

Микромеханические гироскопы измеряют угловые скорости ω_x , ω_y , ω_z , которые определяются выражениями [6]

$$\left. \begin{aligned} \omega_x &= \dot{\gamma} + \psi \sin \theta; \\ \omega_y &= \dot{\theta} \sin \gamma + \dot{\psi} \cos \gamma \cos \theta; \\ \omega_z &= -\dot{\psi} \sin \gamma \cos \theta + \dot{\theta} \cos \gamma. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

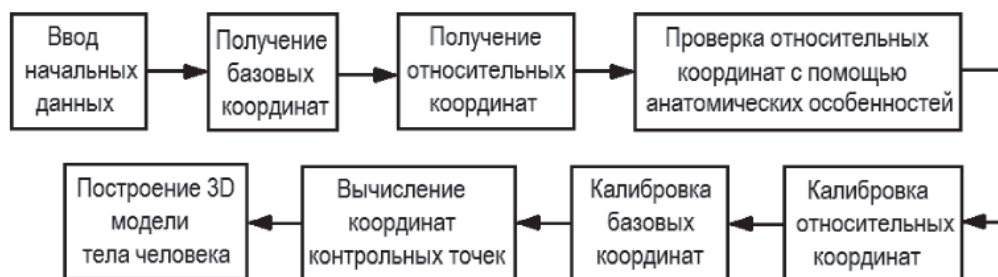


Рис. 3. Алгоритм обработки информации

Для реализации алгоритма ориентации с углами Эйлера – Крылова необходимо решить обратную задачу, то есть по составляющим угловой скорости $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ рассчитать углы Ψ, θ, γ . Данный алгоритм основан на решении системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} \dot{\psi} &= \frac{1}{\cos \theta} [\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma]; \\ \dot{\theta} &= \omega_y \sin \gamma + \omega_z \cos \gamma; \\ \dot{\gamma} &= \omega_x - \operatorname{tg} \theta [\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma]. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Проверка работы алгоритма проводится методом компьютерного экспери-

мента в программном продукте MATLAB/Simulink. На рис. 4 представлена имитационная модель алгоритма ориентации, соответствующая уравнениям (2).

Заданным значениям угловых скоростей соответствуют рассчитанные углы ориентации человека (рис. 5, а). Принимаемые МЭМС гироскопы имеют погрешности в виде нулевого сигнала и случайного шума, что приводит к погрешностям определения угловой ориентации (рис. 5, б).

В таблице представлены числовые значения углов ориентации рассчитанные и с погрешностью в виде случайного шума и нулевого сигнала.

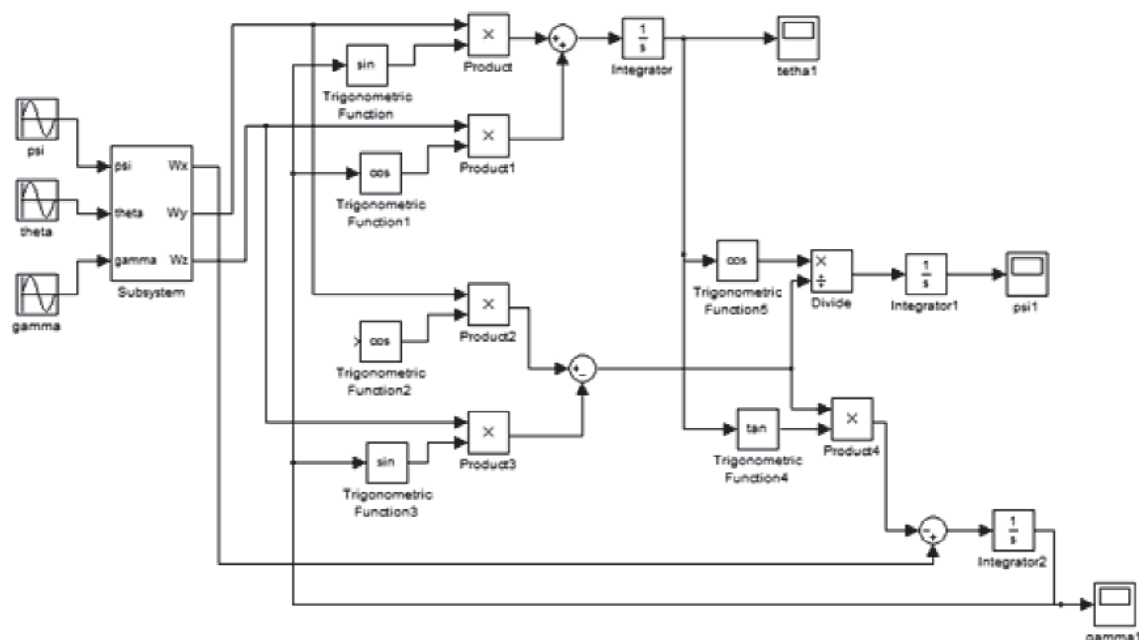


Рис. 4. Компьютерная модель алгоритма определения углового положения человека

$\omega_{x,y,z}$	0	5	15	20	40	60	80	100	150	200
Ψ	0	80,63	248,47	336,45	234,84	317,63	314,64	240,98	74,2	221,5
$\Psi_{ш}$	0,36	82,81	250,64	338,63	237,02	318,81	316,82	243,16	76,38	223,68
θ	0	-0,3	1,23	2,18	2,63	3,09	0,52	3,53	1,24	0,87
$\theta_{ш}$	0,36	1,87	3,11	4,36	4,81	5,26	2,7	5,71	3,42	3,05
γ	0	5,24	10,82	9,72	97,76	1,88	350,8	311,55	5,64	4,82
$\gamma_{ш}$	0,36	7,42	13	11,9	99,93	4,06	352,98	313,73	7,82	7

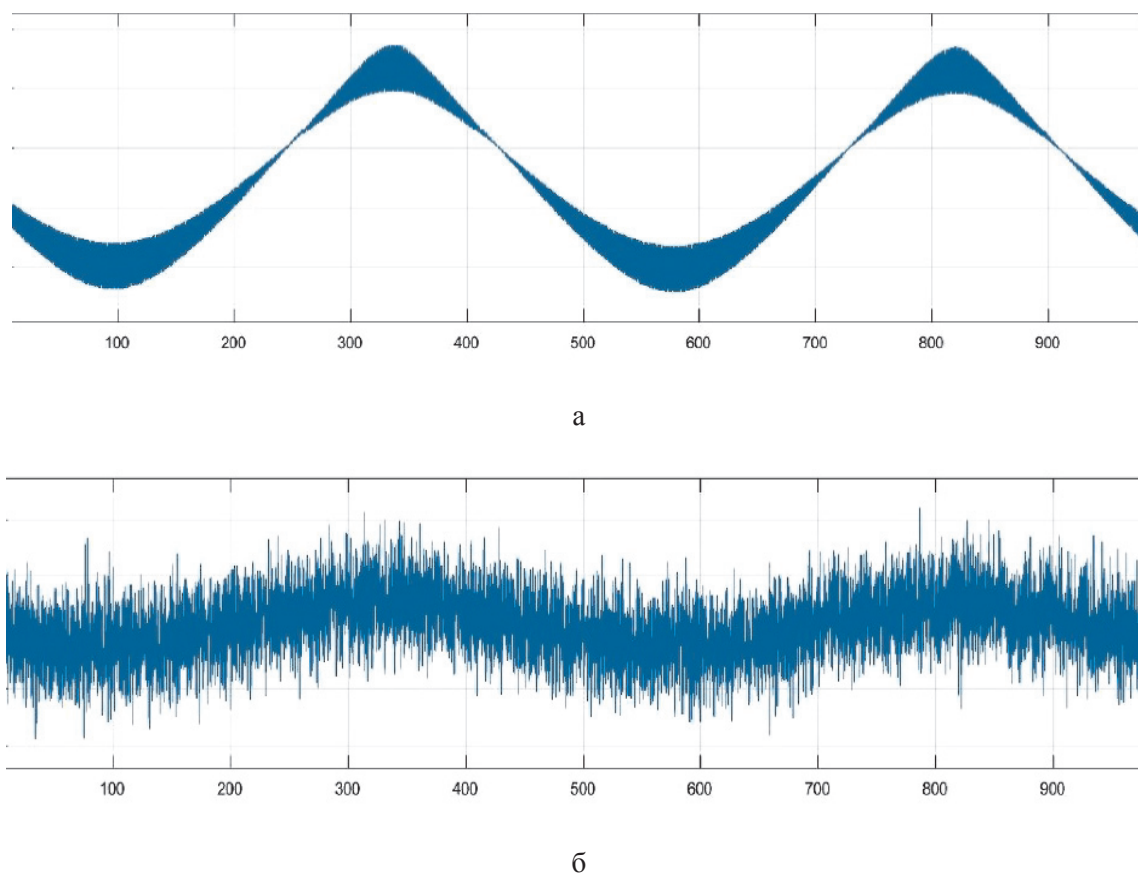


Рис. 5. Пространственная ориентация тела человека:
а – рассчитанная; б – с погрешностью

Заключение

Угловые скорости поворота человека, измеренные МЭМС гироскопами, позволяют определить его угловую ориентацию по отношению к базовой системе координат. Однако погрешности гироскопа снижают точность вычисления. Для повышения точности и определения углов ориентации частей тела человека относительно связанных систем координат соседних сегментов необходимо использовать информацию МЭМС акселерометров. Целесообразно использовать шестикомпонентный гироскоп-акселерометр [1], который позволяет определять вектор угловой скорости и вектор поступательного ускорения.

Работа выполнена в Томском политехническом университете при финансовой поддержке Мишнобрнауки, ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», Соглашение № 14.575.21.0068, уникальный идентификатор RFMEF157514X0068.

Список литературы

1. Анализ чувствительности интегрированных многокомпонентных микрогироскопов и микроакселерометров к механическим воздействиям. Отчёт НИР. Гос. регистрация № 114101040037. 2015. 202 с.
2. Загородний Н.В., Поляев Б.А., Скворцов Д.В., Карпович Н.И., Дамаж А.В. Пространственная стабилметрия посредством трехкомпонентных телеметрических акселерометров (пилотное исследование) // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2013. – № 3(111). – С. 4–10.
3. Каким специалистам необходима стабилметрическая система, где применяется стабилметрия? – [Электронный ресурс] – <http://www.biomera.ru/education/faq>.
4. Кубряк О.В., Исакова Е.В., Котов С.В., Романова М.В., Гроховский С.С. Повышение вертикальной устойчивости пациентов в остром периоде ишемического инсульта // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2014. – № 12–2, Т. 114. – С. 61–65.
5. Масленникова Е.И. Инновационная методика оценки формирования и проявления психических образов в процессе образовательной и профессиональной деятельности // Инновации в образовании. – 2012. – № 4. – С. 79–86.
6. Матвеев В.В., Распопов В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – 114 с.
7. МЗ РФ. Стандарты специализированной медицинской помощи. Проверено 26 марта 2015.

8. Приймаков А.А., Эйдер Е., Омельчук Е.В. Устойчивость равновесия в вертикальной стойке и управление произвольным движением у спортсменов-стрелков в процессе изготовления и стрельбы по мишени // Физическое воспитание студентов. – 2015. – № 1. – С. 36–42.

9. Скворцов Д.В. Постурология – в мире уже существует 30 лет. В России пока – только стабилметрия // Конференция «БИОМЕДПРИБОР-2000» – [Электронный ресурс] – http://www.mks.ru/library/conf/biomedpribor/2000/sec01_03.html.

10. Скворцов Д.В. Стабилметрическое исследование (краткое руководство). – М.: Мера-ТСП, 2010. – 171 с.

References

1. Analiz chuvstvitelnosti integrirovannyh mnogokomponentnyh mikrogiroskopov i mikroakselerometrov k mehanicheskim vozdeystvijam. Otchjot NIR. Gos. registracija no. 114101040037. 2015. 202 p.

2. Zagorodnij N.V., Poljaev B.A., Skvorcov D.V., Karpovich N.I., Damazh A.V. Prostranstvennaja stabilometrija posredstvom trehkomponentnyh telemetricheskikh akselerometrov (pilotnoe issledovanie) // Lechebnaja fizkultura i sportivnaja medicina. 2013. no. 3(111). pp. 4–10.

3. Kakim specialistam neobhodima stabilmetricheskaja sistema, gde primenjaetsja stabilometrija? [Jelektronnyj resurs] <http://www.biomera.ru/education/faq>.

4. Kubrjak O.V., Isakova E.V., Kotov S.V., Romanova M.V., Grohovskij S.S. Povyshenie vertikalnoj ustojchivosti pacientov v ostrom periode ishemicheskogo insulta // Zhurnal nevrologii i psihiatrii im. C.C. Korsakova. 2014. no. 12–2, T. 114. pp. 61–65.

5. Maslennikova E.I. Innovacionnaja metodika ocenki formirovanija i projavlenija psihicheskikh obrazov v processe obrazovatelnoj i professionalnoj dejatel'nosti // Innovacii v obrazovanii. 2012. no. 4. pp. 79–86.

6. Matveev V.V., Raspopov V.Ja. Osnovy postroenija besplatformennyh inercialnyh navigacionnyh sistem. SPb.: GNC RF CNII «Jelektropribor», 2009. 114 p.

7. MZ RF. Standarty specializirovannoj medicinskoj pomoshhi. Provereno 26 marta 2015.

8. Prijmakov A.A., Jejder E., Omelchuk E.V. Ustojchivost ravnovesija v vertikalnoj stojke i upravlenie proizvolnym dvizheniem u sportsmenov-strelkov v processe izgotovki i strelby po misheni // Fizicheskoe vospitanie studentov. 2015. no. 1. pp. 36–42.

9. Skvorcov D.V. Posturologija v mire uzhe sushhestvuet 30 let. V Rossii poka tolko stabilometrija // Konferencija «BIOMEDPRIBOR-2000» [Jelektronnyj resurs] http://www.mks.ru/library/conf/biomedpribor/2000/sec01_03.html.

10. Skvorcov D.V. Stabilmetricheskoe issledovanie (kраткое руководство). М.: Мера-ТСП, 2010. 171 p.