



УДК 62-1/-9

## БЕСКОНТАКТНАЯ ОПТОЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ БИОМЕХАНИКИ ЧЕЛОВЕКА

**В.Г. ЕРЕМЕНКО**  
**А.А. ВЕЛИКОРЕЦКИЙ**

*Московский энергетический  
институт (Технический университет)*

*e-mail: universe@mpei.ac.ru*

В статье описывается универсальная оптоэлектронная система с активными маркерами для диагностики биомеханики человека. Приводится алгоритм работы системы и краткое сравнение с аналогами.

Ключевые слова: видеозахват, системы позиционирования, оптоэлектронные системы, системы видеоконтроля, бесконтактные системы, биомеханика.

В данной статье представлены результаты разработки отечественной системы видео регистрации и анализа биомеханики походки пациента. Под термином видеорегистрация объединяется большая группа методов регистрации перемещений, характерным признаком которой является наличие только оптического канала связи регистрирующей аппаратуры с объектом. Преимущества этих методов очевидны: отсутствие связи пациента (П) с регистрируемой аппаратурой, наличие полной пространственной картины, малый вес маркеров и другого оборудования, устанавливаемого на П.

В настоящее время системы на основе видеорегистрации являются наиболее популярными. Эволюция электронной техники позволила только за последнее десятилетие при значительном увеличении функциональных возможностей существенно сократить их стоимость. Все видеоустройства отличаются в деталях, но в целом похожи, так как работают на одном принципе. В подавляющем большинстве они имеют пассивные маркеры в виде шариков различного диаметра (5-20 мм). Маркеры фиксируются непосредственно на П. Полную пространственную картину движения регистрируют посредством шести-восьми и более камер. Точность определения пространственного положения маркера, в среднем, составляет 1-5 мм у разных систем. Имеются сообщения о большей точности [1], однако их трудно распространить на все условия реального использования. В видеосистемах средняя частота кадров составляет 50-60 Гц. Существуют видеосистемы, достигающие частоты 200 Гц и более, но цена их велика, и применяются они, в основном, для изучения высокочастотных НО. McReflex, Elite[2] – системы смешанного типа и предназначены как для исследований в спорте, так и для медицинских целей. Системы CFTC, GaitTrak, VICON[2] являются первично-медицинскими, хотя в последующем развитие аппаратной и программной части, к примеру, VICON позволило использовать эту систему в анимационной индустрии, производстве фильмов и др. CFTC (Computerized Functional Testing Corporation) – это первая система регистрации и анализа походки, рассчитанная исключительно для нужд практического здравоохранения. С помощью сетей компьютерной связи, а также обычной факсимильной связи пользователи CFTC могут посылать результаты исследования в центр клинической обработки данных и получать полное клиническое заключение специалиста в течение 48 часов, а предварительное – в течение того же дня. GaitTrak более ориентирована на научные исследования, хотя производитель (Motion Analysis Corporation) активно работает в области создания экспертных систем. Таким образом, развитие циклографических исследований в настоящее время тесно связано с эволюцией видео и компьютерной техники, а так же графических сред. Функциональные возможности систем видеорегистрации напрямую зависят от технических возможностей используемых видеокамер. Конструкции последних непрерывно эволюционируют, но основной принцип работы остается неизменным. Несмотря на то, что камеры, используемые различными компаниями, непохожи друг на друга, тем не менее, все они отличаются лишь в деталях. Тем не менее, уже имеются другие оптические принципы, которые позволяют избежать ряда проблем, присущих системам на видео регистрации.

Наряду с объективом, CCD (сокр. от англ. CCD, «Charge-Coupled Device» прибор с зарядовой связью) матрицей и соответствующей электроникой, все они рассчитаны на использование с пассивными светоотражающими маркерами. Работа камер осуществляется в инфракрасном диапазоне, для чего вокруг объектива имеется блок инфракрасных светодиодов. Камеры могут иметь объективы с постоянной фокусировкой или настраиваемые, в том числе и на определенный рабочий угол зрения. В отличие от регистрации посредством видеокамер существуют и другие технологии оптической регистрации на иных принципах. Одним из первых таких



коммерческих устройств, стал комплекс CODA[3], производимый компанией Charnwood Dynamics Limited в Британии. Особенностью этого устройства стал разработанный основателем компании ученым и изобретателем D.L. Mitchelson[4] принцип регистрации пространственного положения светоизлучающих устройств. В качестве светоизлучающих устройств используются светодиоды инфракрасного диапазона. Собственно регистрирующее устройство представляет собой конструктив с тремя приемниками излучения, каждый из которых работает в своей плоскости. Одной из особенностей данного устройства является то, что, используя оптический принцип, приемникам не требуется объектив, имеющийся в обязательном порядке в системах видеонализа. Данный принцип имеет значительные преимущества, перед системами, использующими видеокамеры, заключающиеся в следующем:

- высокая точность регистрации (0.1 мм), что на несколько порядков выше, чем у систем с видеокамерами;
- высокая частота регистрации каждого активного маркера (светодиода) (800 Гц и более).

Подобные системы являются «закрытыми», что усложняет создание отечественных аналогов.

В настоящее время на медицинском рынке предлагаются комплексы шведского и итальянского производства стоимостью от 5 млн. руб. и более, с англоязычным методическим и программным обеспечением, не адаптированным к отечественной системе медицинской помощи, что значительно затрудняет использование таких аппаратов в лечебных учреждениях РФ.

Область функциональной диагностики двигательной патологии, которую обеспечивают описанные выше системы, до нашего времени остается слабо развитой в здравоохранении РФ из-за практически полного отсутствия отечественного оборудования и дороговизны зарубежного.

Ниже приводится описание разрабатываемой системы с активными маркерами и оптоэлектронным регистрирующим блоком и технические решения по повышению её точности. Такая система обеспечивает и отслеживание статических и динамических перемещений П в трёхмерном пространстве для получения информации о двигательной функции человека и её нарушении. Данная продукция необходима для удовлетворения современных инновационных медицинских методик в области диагностики и реабилитации двигательных патологий.

Основная область использования системы, как и у зарубежных аналогов, является клинический анализ движений в практической медицине и реабилитации, который лежит в сферах:

- функциональной диагностики двигательной патологии,
- непосредственного контроля и управления лечебным процессом,
- моделирования результата протезирования, оперативного лечения и др.,
- прогнозирования результата восстановительного лечения,
- реабилитации на принципах биологической обратной связи.

Основными элементами разработанной системы являются [7]: автономные излучатели оптического диапазона – активные маркеры, с блоком управления активными маркерами, блок регистратора оптического излучения активных маркеров, содержащий датчики, ориентированные по 3 координатным осям и блок синхронизации, согласующий работу блока активных маркеров и блока регистратора.

Структурная схема комплекса представлено на рис.1. Комплекс состоит из блока активных маркеров, который вешается на пояс П, активных маркеров, устанавливаемых непосредственно на П с помощью двухстороннего скотча или специальных зажимов, регистратора для оптического получения пространственных координат каждого активного маркера, синхронизатора для согласования блока активных маркеров и регистратора, а также компьютера для отображения и обработки полученных от регистратора данных. Блок регистратора положения маркеров устанавливается на расстоянии 2 метров до П. Данные, полученные с регистратора, передаются в компьютер для дальнейшей обработки. Принцип работы сводится к определению пространственных координат каждого маркера при его кратковременном зажигании с помощью блока регистратора. Для возможности точной обработки данных, каждый маркер имеет свой номер, определяющий порядок его зажигания. Это позволяет без дополнительных средств решить проблему распознавания маркеров после их нахождения вне зоны регистрации. Основной проблемой при создании этой системы было получение повторяемости высокой точности измерений, для чего была разработана специальная щелевая конструкция датчика регистратора, позволяющая вкпе со светофильтром инфракрасного оптического диапазона устранить внешние паразитные засветки в оптической системе определения пространственных координат.



Рис. 1. Структурная схема комплекса

Каждый блок рассчитан на эксплуатацию в комнатных условиях. Экспериментальным путем было установлено, что для улучшения точности работы системы в рабочей зоне должны отсутствовать яркие источники света, такие как прямые солнечные лучи, мощные плазменные панели и т.п. Блок активных маркеров питается от 4-х пальчиковых батареек (рис.) и рассчитан на 8 часов непрерывной работы. Блоки синхронизатора и регистратора имеют питание от стационарной сети 220 вольт переменного тока (рис.) с общим потреблением не более 150 Вт в базовой комплектации. Массы и габариты блоков представлены в табл.

Таблица 1

**Характеристики объекта**

Название блока	Вес блока, кг	Габариты блока
Синхронизатор	0,300	155x105x40
Регистратор	2	1100x100x50
Блок активных маркеров	0,2	80x96x32

Предложена конструкция регистратора с использованием щелевого пропускания света, уменьшающая паразитные засветки и снижающая погрешность измерения пространственных координат. Разработан алгоритм калибровки датчиков регистратора, позволяющий обеспечить автоматическую юстировку.

Среди рыночных параметров конкурентоспособности предлагаемой инновационной продукции на внутреннем и внешнем рынках следует отметить следующие:

- Разрабатываемый комплекс позволяет замещать импортные системы, которые значительно превосходят по стоимости и не являются адаптированными к отечественной системе здравоохранения.
- Разрабатываемый комплекс позволит существенно повысить качество медицинской экспертизы и экспертных решений при диагностике, в том числе и распространённых заболеваний и ранений, затрагивающих опорно-двигательный аппарат.

Для работы на системе необходимо обучение медицинского и обслуживающего персонала. Срок обучения составляет 40 академических часов для врачей с базовыми знаниями биомеханики человека и 8 академических часов для технических специалистов со средним или высшим техническим образованием. Данное оборудование необходимо для медицинских учреждений неврологического, ортопедотравматологического профиля, реабилитационных клиник, стационаров и военных госпиталей.

Создан прототип системы с возможным количеством маркеров до 32 штук и проведены предварительные испытания точности работы системы. Гарантированная точность определения пространственных координат на данный момент достигает 1÷10мм. Данный разброс обусловлен неточностями в программном коде, реализованном в аппаратной части и неотработанной технологией сборки регистратора. Полученные результаты позволяют выявить участки кода, требующие корректировки, что вкупе с отработкой технологического процесса позволит совершенствовать систему и довести её точность до 1мм в ближайшей перспективе.



Гарантийный срок эксплуатации 2 года, наработка на отказ 20000 часов. Срок службы комплекса оценивается не менее чем 5 лет.

Практическая значимость заключается в том, что данная разработка адаптирована к системе отечественной медицинской помощи, имеет более низкую стоимость и оригинальные российские методики исследования, содержит программное обеспечение на русском языке и требует специализированное помещение в лечебных учреждениях. По окончании работы над проектом предполагается получить регистрационные удостоверения и сертификаты и реализация на российском рынке. По предварительным подсчетам, стоимость системы в базовой комплектации составит 1 млн. руб.

С учётом существующих тенденций период времени, в течение которого предлагаемая продукция будет новинкой на рынке, составит около 10 лет. Потенциал инновационных предложений на ближайшую и среднесрочную (3-5 лет) перспективу связаны с внедрением данной технологии в смежные области: системы виртуальной реальности, технические области регистрации движений, испытательные стенды и др.

### Литература

1. Evaluation of a 3-D motion analysis system. / S. Augsburger, S. Hoffinger, C. Grraubert, Mayo Clinic, Rochester// Proc. Clin. Gait Lab. — 1993 — P. 135-136.
2. Сарнадский В.Н. Анализ кинематики туловища и позвоночника в процессе ходьбы методом компьютерной оптической топографии. / В.Н. Сарнадский, С.Я. Вильберг, Н.Г. Фомичев // Труды международной конференции по биомедицинскому приборостроению "Биомедприбор 2000". Москва: ЗАО "ВНИИМП-ВИТА". — 2000. — Том 1. С.65-71.
3. The effect of low-dye taping on rearfoot motion and plantar pressure during the stance phase of gait. / Kieran O'Sullivan, Norelee Kennedy, Emer O'Neill, Una Ni Mhainin // Physiotherapy Department, University of Limerick, Ireland and Physical Activity, Occupation and Health Research Unit, University of Limerick, Ireland BMC Musculoskeletal Disorders — 2008. — С. 10.
4. Whittle M. W. Gait analysis: an introduction / M.W. Whittle // Butterworth Heinemann. — 1991. — С. 230.
5. A three-dimensional anthropometric solid model of the hand based on landmark measurements./ S. Matthew Rogers, B. Alan Barr, Boontariga Kasemsontitum, M. David Rempel.// Ergonomics — 2008. Vol. 51, No. 4, April — P. 511-526
6. Розеншер Э. Оптоэлектроника / Э. Розеншер, Б. Винтер // Техносфера — 2006 — 2 изд — С.592
7. Оптоэлектронная система регистрации пространственных координат локальных автономных объектов / А.А. Великоретский, В.Г. Еременко, В.С. Шальгин, В.М. Голев, Н.Р. Должиков // сборник тезисов XII Всемирный Электротехнический Конгресс. (Москва, 4-5 октября 2011). — 2011 — С. 86-87.

## CONTACTLESS OPTOELECTRONIC SYSTEM FOR THE DIAGNOSIS OF HUMAN BIOMECHANICS

**V.G. EREMKO**  
**A.A. VELIKORETSKIY**

*National Research University  
«Moscow Power  
Engineering Institute»*

*e-mail: universe@mpei.ac.ru*

The article describes the universal optoelectronic system with the active markers for the human biomechanics diagnostic. The article suggests the algorithm of the system and a brief comparison with analogues.

Keywords: video capture, positioning systems, optical systems, video monitoring, non-contact system, biomechanics.