

УДК 681.58

**В.Б. Лазарев**

Севастопольский национальный технический университет  
ул. Университетская, д. 33, г. Севастополь, Украина, 99053  
E-mail: victor.b.lazarev@gmail.com

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ДВИЖЕНИЯ СТЕНДА БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

*Ставится и решается задача построения системы автоматического управления процессами движения образцов медицинских протезов в составе устройства физического моделирования. Анализируется состав программных платформ устройства. Описывается программная реализация системы автоматического управления процессом движения. Делается ряд предложений по развитию моделирующего устройства.*

**Ключевые слова:** управление, программирование, PLCOpen, контроллер, износ.

**Введение.** На протяжении ряда последних лет существенно увеличился интерес к созданию устройств моделирующих поведение сферических шарнирных соединений в процессе их эксплуатации. Повсеместно признано, что только этот тип устройств может предсказать поведение материалов в сочетании с геометрическими особенностями машин и механизмов в различных условиях работы с точки зрения трибологии [1, 2]. Моделирующие устройства предназначены для прогноза скорости изнашивания шарниров при заданном профиле движения, нагрузок и большом количестве циклов движения. Интерес к таким устройствам проявляется в транспортном машиностроении, медицине и других отраслях [3–5]

В межведомственной лаборатории биомеханики Севастопольского национального технического университета разработано и создано моделирующее устройство (стенд-симулятор) для испытания тотальных эндопротезов тазобедренных суставов (ТЭТБС) на износ в соответствии с требованиями ISO 14242 [3,4]. На рисунке 1 показан общий вид стенда-симулятора, позволяющего одновременно проводить испытания 6 ТЭТБС одновременно.

**Цель данной работы** – обоснование способов построения системы автоматического управления процессом движения образцов ТЭТБС в моделирующем устройстве в соответствии с различными требованиями, предъявляемыми к испытаниям на основе использования программных средств контроллеров фирмы FESTO.

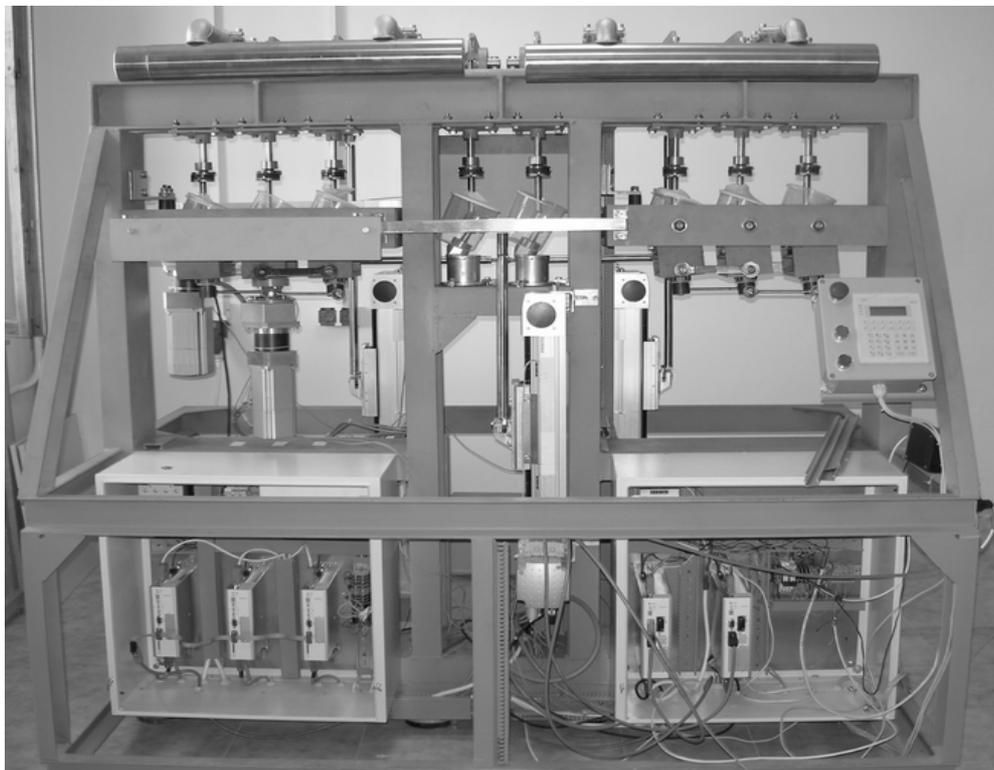


Рисунок 1 – Моделирующее устройство для испытаний на износ ТЭТБС

**Основная часть.** Геометрический центр подвижной головки ТЭТБС в моделирующем устройстве помещают в точку пересечения трех взаимно перпендикулярных осей, относительно которых она совершает вращательные движения. Согласно требованиям ISO 14242 регламентируются законы изменения угловых перемещений с точностью воспроизведения  $\pm 3^\circ$  в максимумах и минимумах диаграмм угловых перемещений и  $\pm 1\%$  от времени цикла по фазе. Частота цикла испытаний составляет  $1\text{ Hz} \pm 0,1\text{ Hz}$ . Прикладываемая вертикально к неподвижному относительно основания вертлюжному компоненту сила изменяется в течение цикла от 0,3 кН до 3 кН, а ее график имеет характерную «двухпиковую» форму. Схема вращательных движений головки, а также законы изменения угловых координат и силы согласно ISO 14242 в графической форме показаны на рисунке 2.

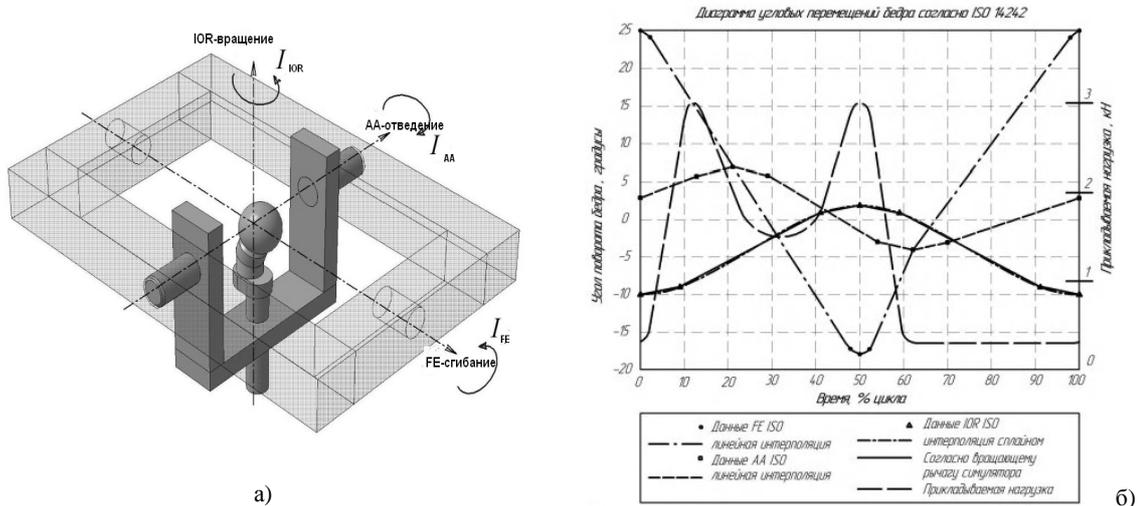


Рисунок 2 – Регламентируемые параметры при испытаниях ТЭТБС согласно ISO 14242:

а) схема реализуемых вращательных движений: FE (flexion – extension) – сгибание-разгибание; AA (abduction – adduction) – отведение-приведение; IOR (inward-outward rotation) – внутреннее-внешнее вращение; б) законы изменения угловых координат и силы

Моделирующее устройство представляет собой замкнутую мехатронную систему, в состав которой входят механические узлы, изготовленные в производственных мастерских СевНТУ, и мехатронные модули фирмы Festo, снабженные зубчатыми ременными передачами и шариковыми направляющими EGC-TV-KF. В состав мехатронных модулей входят: два мощных сервопривода типа EMMS-AS с контроллерами CMMP-AS, три шаговых электропривода EMMS-ST с контроллерами CMMS-ST и контроллер управления CPX-CEC-C1-M1. Все электродвигатели оснащены датчиками поворота. Контроллеры обеспечивают построение контура обратной связи по углу поворота и настройки встроенного PID – регулятора.

Кроме описанных электронных устройств в состав моделирующего устройства входит персональный компьютер, который выполняет функции: контроля, управления, программирования и хранения экспериментальных данных. Структурная схема моделирующего устройства приведена на рисунке 3.

Система автоматического управления процессами движения (САУПД) моделирующего устройства представляет собой подсистему, работающую в режиме реального времени в ходе проведения испытаний. Она реализуется программным способом в составе контроллеров приводов, контроллера управления и персонального компьютера.

Контроллеры приводов и контроллер управления в процессе реализации функций САУПД взаимодействуют через полевую шину CAN-bus. Контроллер управления и персональный компьютер для тех же функций используют локальную компьютерную сеть. Особенности аппаратной части мехатронных модулей моделирующего устройства предполагают программирование САУПД на основе двух принципиально разных программных платформ.

Нижний уровень программирования контроллеров приводов выполнен на основе платформы параметрического программирования двух типов контроллеров: CMMP-AS и CMMS-ST. При этом возникает необходимость настройки каждого контроллера отдельно через специальную программу Festo Configuration Tool FCT с добавлением инсталляционных файлов этих типов контроллеров, с добавлением инсталляционных файлов этих типов контроллеров.

Параметрическое программирование требует ввода от 100 до 200 параметров на каждый модуль, определения режимов работы Homing и PID – регуляторов. Его результаты сохраняются в контроллере и на персональном компьютере. Для отладки работы приводов FCT используется специальный режим.

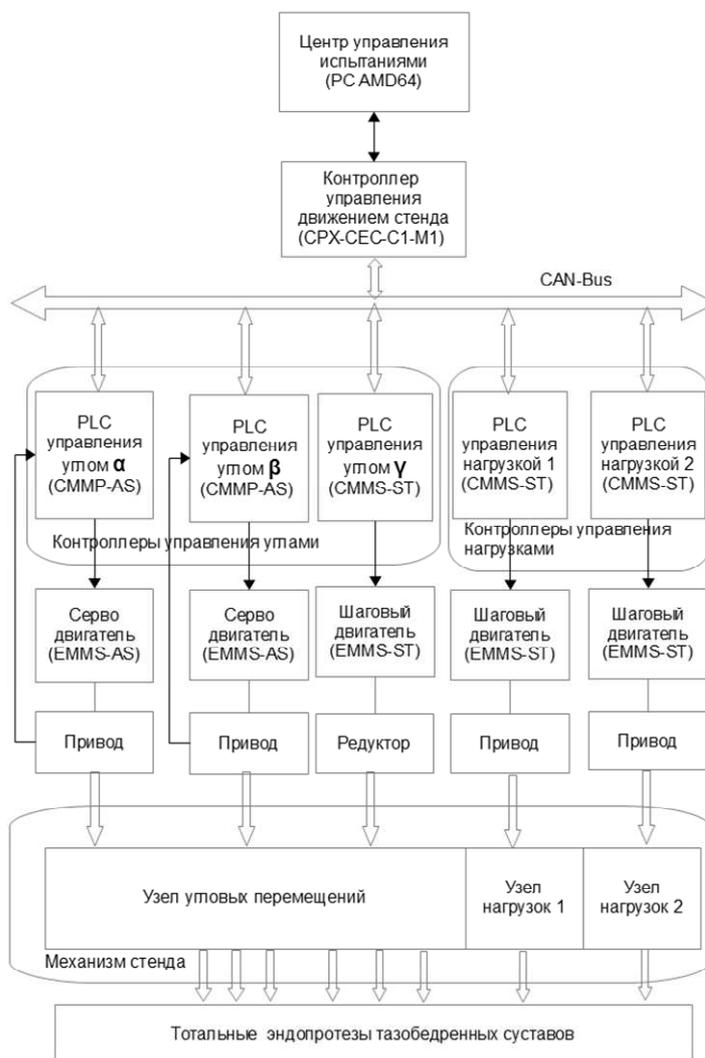


Рисунок 3 – Структурная схема моделирующего устройства

Верхний уровень программирования выполнен на основе программной платформы промышленного программирования на основе стандартов IEC 61131-3 и рекомендаций сообщества PLCOpen. Контроллер управления поддерживает среду программирования CoDeSys. В рамках этого подхода на персональном компьютере была установлена среда программирования CoDeSys-2.3 (IDE) с компонентой для устройства CPX-CEC-C1-M1.

Основная сложность программирования состояла в том, что программное обеспечение САУПД должно обеспечивать синхронное перемещение всех приводов по заданным траекториям движения. Программирование подобной системы сравнимо с аналогичной задачей для станков с ЦПУ. Однако, использование классических средств программирования с G-языком для станков с ЧПУ значительно усложнило бы процесс настройки моделирующего устройства для разных типов ТЭТБС.

Для решение этой проблемы был выбран современный подход к программированию движений устройств на основе технологии и пакета программ SoftMotion сообщества PLCOpen. Данный пакет используют большинство ведущих мировых производителей приводов: Siemens, Schneider Electric, Festo и др. Сущность такого подхода состоит в том, что программирование ведется при помощи функционального языка согласно стандарта IEC61131-3.

Функции SoftMotion обеспечивают весь набор задач управления моделирующим устройством. В состав этого пакета включен графический редактор профиля (САМ-редактор), который позволяет программировать движение приводов по траекториям в графическом виде. В процессе работы САМ-редактор автоматически рассчитывает скорости и ускорения, возникающие в процессе движения. Траектория движения записываются на контроллер управления. В процессе работы он в режиме реального времени подает команды приводам на перемещения. На рисунке 4 изображено окно САМ-редактора с заданным профилем перемещения и диаграмма движения моделирующего устройства по оси FE, воспроизводящего заданный профиль.

Программирование и отладка САУПД были проведены в ходе выполнения госбюджетной работы 0113V001251 межведомственной лабораторией биомеханики. Результаты были продемонстрированы комиссии и руководству фирмы Festo, а также представлены в виде докладов на ряде международных конференций.

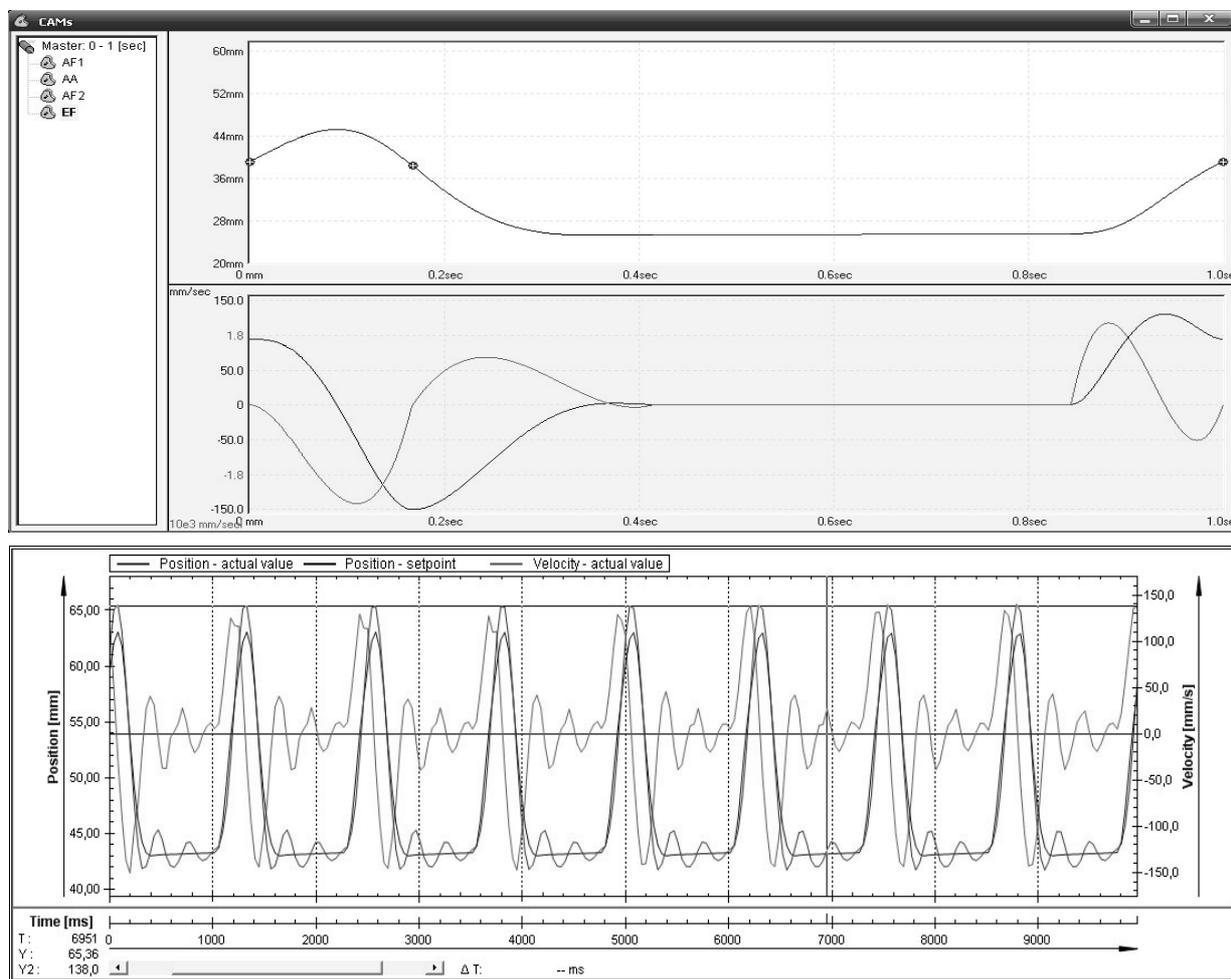


Рисунок 4 – Ось перемещения FE в САМ-редакторе и диаграмма движения по этой оси

**Заключение.** В процессе настройки и тестовой работы моделирующего устройства был выявлен ряд особенностей, что позволило сформулировать цели и задачи, решение которых позволит модернизировать и улучшить его работу.

Масса основных модулей, вращаемых по оси FE, составляет 50 кг. Момент инерции соответственно равен  $6 \text{ кг/м}^2$ . Для вращения этих модулей использован сервопривод EMMS-AS с номинальным моментом на оси двигателя 5,69 Нм и пиковым моментом 22,1 Нм. Двигатель через привод EGC-TV-KF и шарнир осуществляет движение по оси FE. Работа в тестовом режиме показала следующее. Движение моделирующего устройства повторяет заданную траекторию при цикле испытаний 3,5-4 Hz. Однако при цикле 1 Hz в движении возникает перерегулирование с затухающими колебаниями. Такое поведение моделирующего устройства связано с недостаточной мощностью двигателя для перемещения по оси FE, с массой и моментом инерции на большой скорости движения. Для увеличения скорости движения при заданных требованиях ISO 14242 необходимо установление более мощного двигателя либо уменьшение моментов инерции модулей за счет изменения конструкции.

Другим способом решения возникших проблем будет создание внешнего контура управления за счет датчиков, установленных рядом с объектами испытаний, и разработки новой системы автоматического управления процессом движения. Для реализации этого подхода была предложена конструкция модуля оценивания. Модуль оценивания параметров перемещений построен на 32-разрядном микроконтроллере на основе SAM3X8E ARM Cortex-M3 фирмы Atmel. В качестве контроллера использована плата Arduino DUE. Контроллер предназначен для независимого расчёта параметров движения объектов испытания по данным микрохатронных датчиков линейных ускорений и угловых скоростей. В качестве датчиков используются трёхкоординатные акселерометры MMA7361

(Sparkfun Electronics, 2013), гироскопы ITG 3205 (InvenSense Inc, 2010) и трехкоординатные магнитометры CMPS10 (Vascom). Другим решением является создание новой конструкции моделирующего устройства с уменьшением механической и увеличением мехатронной части на основе подходов изложенных, в [6].

#### **Перспективы исследований**

1. Модернизация моделирующего устройства путем создания второго контура обратной связи САУПД при помощи датчиков ускорения и магнитометров.
2. Разработка конструкции альтернативного моделирующего устройства на основе механизмов с параллельной кинематикой для испытаний ТЭТБС.

#### **Библиографический список использованной литературы**

1. Трибология: Исследования и приложения: опыт США и стран СНГ. Под ред. В.А. Белого, К. Лудемы, Н.К. Мышкина. — М.: Машиностроение; Нью-Йорк: Аллертон пресс, 1993. — 454 с.
2. Комбалов В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: справочник / под ред. К.В. Фролова, Е.А. Марченко. — М.: Машиностроение, 2008. — 384 с.
3. Пахалюк В.И. Разработка усовершенствованной конструкции моделирующего устройства для испытания эндопротезов тазобедренного сустава на износ / В.И. Пахалюк, И.Б. Десятов, В.И. Манчук // Вестник СевНТУ. Серия: Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. — Севастополь, 2010. — Вып. 110. — С. 241–244.
4. Оценка кинематических и динамических характеристик нажимного механизма моделирующего устройства для испытаний эндопротезов тазобедренного сустава на износ / В.И. Пахалюк, А.М. Поляков, И.Б. Десятов, М.Г. Ступко // Вестник СевНТУ. Серия: Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. — Севастополь, 2011. — Вып. 120. — С. 170–176.
5. Stand and Control System for Wear Testing of the Spherical Joints of Vehicle Suspension at Complex Loading Conditions/O. Poliakov, V. Pakhaliuk, V. Lazarev, P. Shtanko, Y. Ivanov // 1st IFAC Workshop on Advances in Control and Automation Theory for Transportation Applications (2013). Control and Automation Theory for Transportation Applications. — 2013. — Vol. 1. — Part 1. — P. 106–111.
6. Поляков О. Нова концепція синтезу напрямних і передавальних механізмів з мехатронними приводами / О. Поляков, В. Лазарев, П. Штанько // Одинадцятий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: Тези доповідей. — Львів: КІНПАТРІ ЛТД, 2013. — С. 11–12.

*Поступила в редакцию 20.01.2014 г.*

#### **Лазарев В.Б. Дослідження способів та програмна реалізація системи автоматичного управління процесами руху стелю біомеханічних випробувань**

У статті ставиться і вирішується завдання побудови системи автоматичного управління процесами руху зразків медичних протезів в складі пристрою фізичного моделювання. Аналізується склад програмних платформ пристрою. Описується програмна реалізація системи автоматичного управління процесом руху. Робиться ряд пропозицій щодо розвитку моделює пристрою.

**Ключові слова:** управління, програмування, PLCOpen, контролер, знос.

#### **Lazarev V.B. The study of the ways of software implementation of automatic control system of traffic processes stand biomechanical testing**

The article raises the problem of constructing and automatic process control movement patterns of medical prosthetic device comprising physical modeling. Analyzed the composition of the device software platforms. The software realization of the automatic process control movement. Makes a number of proposals for the development of the simulation tool.

**Keywords:** control, programming, PLCOpen, controller, wear.