

**Яцун С.М.<sup>1</sup>, Рукавицын А.Н.<sup>2</sup>©**

<sup>1</sup>Д.м.н., профессор, зав. кафедрой медико-биологических дисциплин,  
Курский государственный университет;  
<sup>2</sup>к.т.н., доцент кафедры мехатроники и робототехники,  
Юго-Западный государственный университет

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕАБИЛИТАЦИОННЫМ КОМПЛЕКСОМ ДЛЯ КИНЕЗИОТЕРАПИИ**

### *Аннотация*

*В работе рассматриваются вопросы изучения автоматического управления режимами приводов трехзвенного реабилитационного комплекса для кинезиотерапии.*

**Ключевые слова:** автоматическое управление, реабилитация, моделирование, кинезиотерапия.

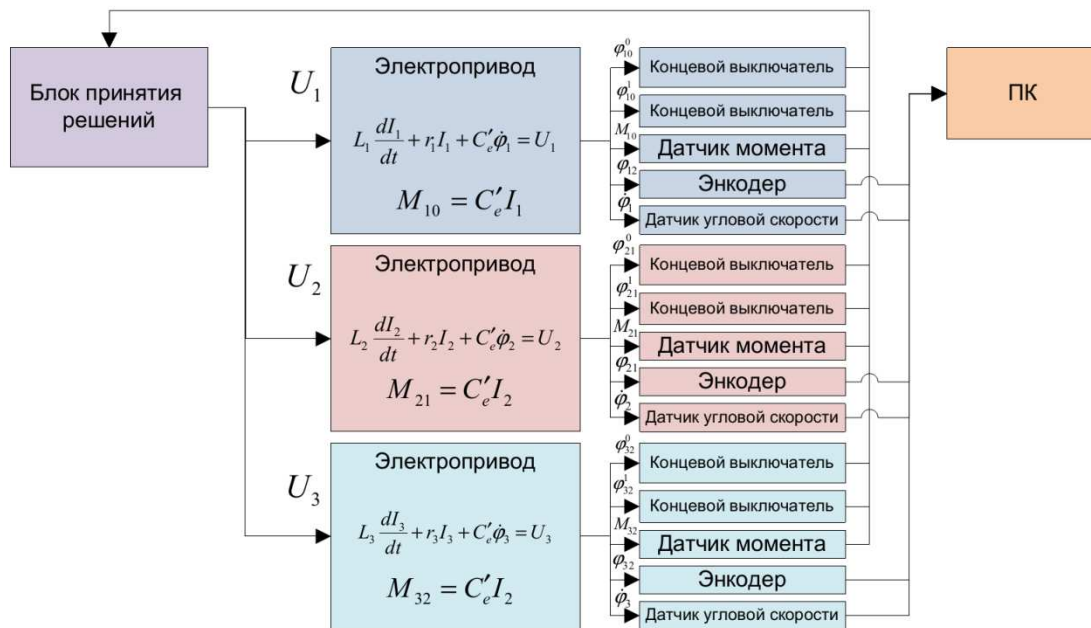
**Keywords:** automatic control, rehabilitation, modeling, movement therapy.

Одним из главных направлений в реабилитации является кинезиотерапия, направленная на разработку суставов. Существует большое количество различных тренажеров, методик и реабилитационных систем, которые позволяют заниматься реабилитацией конечностей. В настоящее время наибольшее распространение получили двухзвенные системы с одним активным шарниром. Такие устройства имеют ограниченные функциональные возможности, поэтому наиболее перспективными на сегодняшний день являются трехзвенные конструкции аппаратов с несколькими активными шарнирами [1, 15].

Целью данного исследования является изучение закономерностей управляемого движения трехзвенного механизма с тремя активными шарнирами.

Опытный образец устройства для механотерапевтических мероприятий был изготовлен на кафедре Робототехники и мехатроники Юго-Западного государственного университета с учетом биомеханических особенностей нижней конечности человека [2].

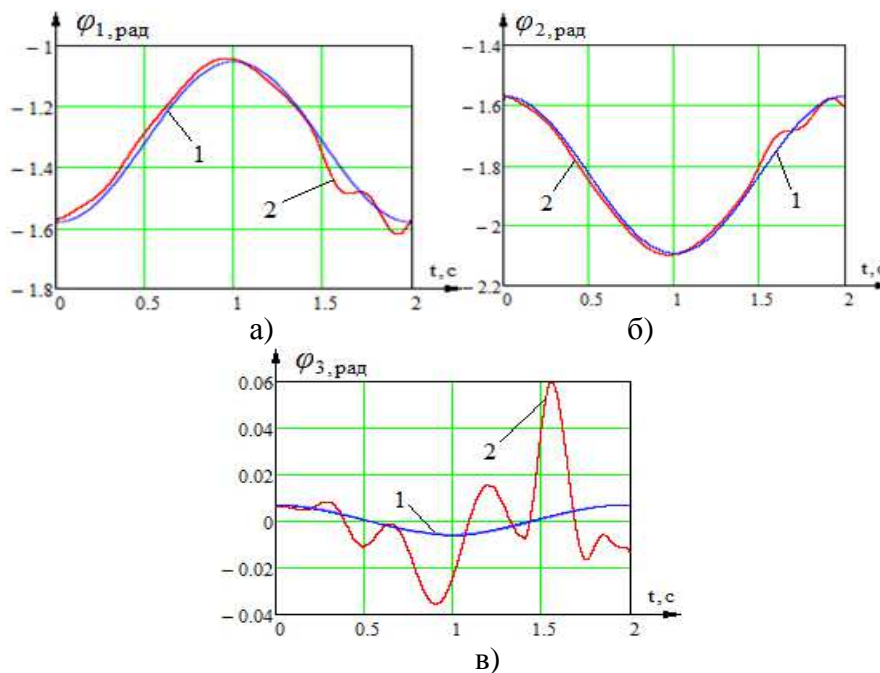
Для устройства разработана система автоматического управления, которая представляет собой комплекс, включающий в себя: 1) пары концевых датчиков, датчиков моментов, датчиков угловых скоростей, датчиков углов поворота; 2) блок электроприводов; 3) блок принятия решений; 4) персональный компьютер.



**Рис.1. Система автоматического управления аппаратом для реабилитации нижних конечностей человека после травм**

Предложенная система управления устройством построена на базе микроконтроллеров серии Atmega, которые реализуют алгоритмы цифрового компаратора и интеллектуального регулятора. Пары концевых выключателей образуют релейную систему управления, направленную на повышение безопасности конструкции. Выбор такой многоканальной системы управления обусловлен необходимостью предотвращения возможных повреждений при выполнении упражнений на тренажере.

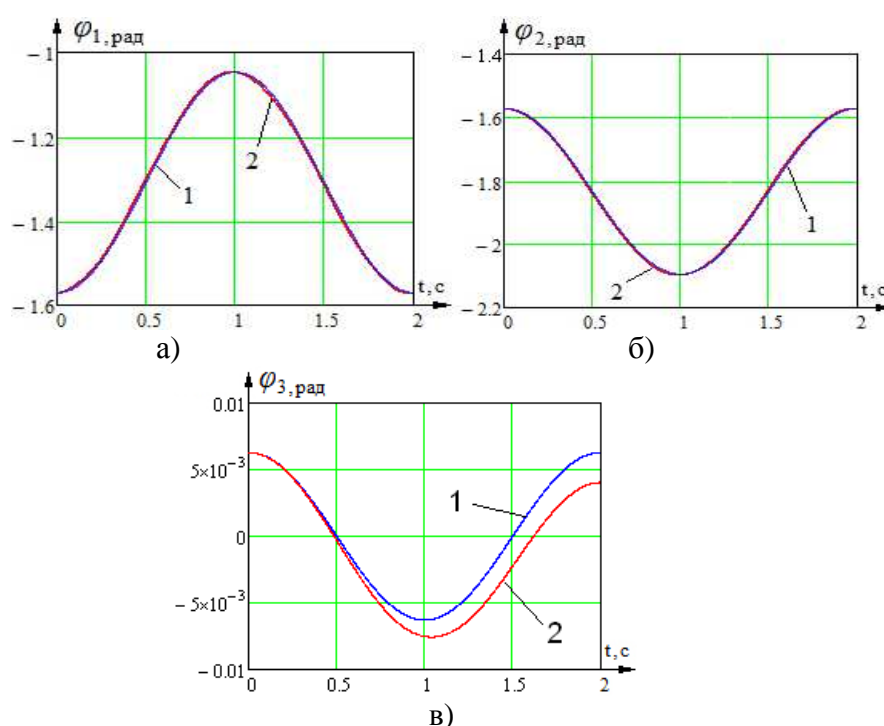
Разработанная система автоматического управления (САУ) аппаратом позволяет дискретно управлять приводами. Для отладки ее работы решалась обратная задача динамики, заключающаяся в получении адекватных законов изменения углов звеньев посредством изменения управляющих моментов.



**Рис. 2. Временные диаграммы изменения углов звеньев системы при подаче моментов  $M_{10}$ ,  $M_{21}$ ,  $M_{32}$ :** 1 – идеальная характеристика, 2 – полученная при подаче момента  $M_{10}$  с шагом дискретизации  $\Delta t = 0,05c$ ; а) диаграмма изменения угла  $\varphi_1$  звена 1; б) диаграмма изменения угла  $\varphi_2$  звена 2; в) диаграмма изменения угла  $\varphi_3$  звена 3.

Шаг дискретизации оказывает существенное влияние на точность работы системы (Рис.2), так при шаге 0,05с звенья бедра и голени обрабатывают требуемые углы с погрешностью не более 5%, а угол поворота стопы совершенно не отвечает заданному, также имеют место колебательные процессы, которые недопустимы при проектировании такого рода механизмов. Попробуем улучшить результат, подавая моменты со временем дискретизации  $\Delta t = 0,025c$ .

В результате численного моделирования получим следующие характеристики изменения углов звеньев во времени.



**Рис. 3. Временные диаграммы изменения углов звеньев системы при подаче управляющих сигналов:** 1 – идеальная характеристика, 2 – полученная при подаче дискретного сигнала; а) диаграмма изменения угла  $\varphi_1$  звена 1 при подаче момента  $M_{10}$  с шагом дискретизации  $\Delta t = 0,025c$ ; б) диаграмма изменения угла  $\varphi_2$  звена 2 при подаче момента  $M_{21}$  с шагом дискретизации  $\Delta t = 0,025c$ ; в) диаграмма изменения угла  $\varphi_3$  звена 3 при подаче момента  $M_{32}$  с шагом дискретизации  $\Delta t = 0,005c$ .

Исследуя моменты, мы получили диаграммы изменения углов звеньев 1 и 2, которые соответствуют заданным законам, угол звена 3 при  $\Delta t = 0,025c$  имеет нестабильный колебательный характер и требует уменьшения периода дискретизации управляющих моментов до  $\Delta t = 0,005c$  (Рис.3).

Мы получили угловые изменения звеньев системы с минимальной ошибкой, которая составляет для углов  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$   $\xi_2 = 0,5\%$ , а для угла  $\varphi_3$  – порядка 25%.

Таким образом, в результате исследования установлено, что дискретное импульсное управление приводит к появлению значительных колебаний третьего звена, амплитуда и продолжительность которых зависит от периода дискретизации сигнала. В ходе эксперимента установлен немонотонный характер диаграмм управляющих моментов, реализующий заданный закон движения звеньев аппарата и предложены методы и средства реализации сглаживания пиковых значений этих моментов.

Определены реакции в шарнирах, которые помогают понять, в какой момент времени она испытывает максимальную нагрузку, что будет учтено при разработке и проектировании устройства.

### **Литература**

1. Кичайкина Н.Б., Козлов А.В. Биомеханика физических упражнений: учебно-методическое пособие. – СПб, 2008.– 164 с.
2. Яцун С.Ф., Локтионова О.Г., Понедельченко М.С. Математическое моделирование движения аппарата для реабилитации нижних конечностей человека после травм [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №5. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/111-10061>.