

УДК 531.1

**МЕХАНОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЕ РЕАБИЛИТАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО  
ДЛЯ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА****Рукавицын А.Н., Яковлев И.А.***ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», Курск, e-mail: alruk75@mail.ru*

В статье рассмотрены вопросы исследования динамики механотерапевтического устройства для реабилитации больных с повреждениями опорно-двигательного аппарата, разрабатываемых на основе современных мехатронных технологий.

**Ключевые слова:** биоинженерия, механотерапия, реабилитация, динамические параметры, мехатронная система

**DEVELOPMENT BIOENGINEERING MECHATRONIC MODULE FOR  
EXOSKELETAL HUMAN LOWER EXTREMITY****Rukavitsyn A.N., Yakovlev I.A.***South-West State University, Kursk, e-mail: alruk75@mail.ru*

The paper considers some of the issues up rehabilitation mehanoterapevticheskikh devices designed based on advanced mechatronic bioengineering technologies.

**Keywords:** exoskeleton, mechatronic module, bioengineering, rehabilitation, the actuator, mechanotherapy

Одной из важнейших социальных проблем, стоящих в настоящее время является реабилитация и социальная защита инвалидов. При этом целью реабилитации является восстановление социального статуса инвалида, достижение им материальной независимости и его социальная адаптация. Обеспечение техническими (биоинженерными) средствами реабилитации является частью реализации комплекса мероприятий по улучшению качества жизни инвалидов. Последние достижения биоинженерии, в области создания механотерапевтических устройств, позволяют значительно повысить качество жизни инвалидов и больных с нарушениями опорно-двигательного аппарата и проходящих реабилитацию, и позволяют им стать полноправными членами

общества в равной степени со здоровыми людьми. Лечение методом механотерапии базируется на использовании основной биологической функции организма – движения. Данный метод заключается в строгом дозировании физических упражнений на фоне постановки правильного дыхания [1].

Современное реабилитационное механотерапевтическое устройство (экзоскелет) представляет собой систему со сложной конфигурацией (см. рис. 1), объединяя в себе различные механические и электронные компоненты, призванные обеспечивать максимально эффективный и безопасный процесс реабилитации пациентов [1]. Работа практически любого реабилитационного устройства сводится к механическому взаимодействию реабилитационного устройства с конечностью пациента.

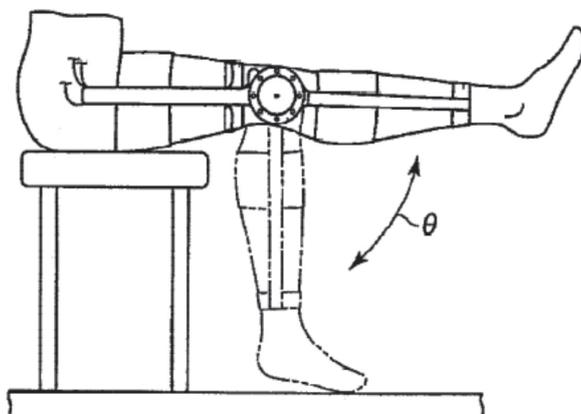


Рис. 1. Устройство для реабилитации нижних конечностей человека

Для исследования динамического поведения реабилитационного устройства была составлена его расчётная схема (см. рис. 2), где само устройство было представлено в виде

многозвенника  $A_1A_2A_3$ , лежащего в координатной плоскости  $OXY$ , и состоящего из двух подвижных звеньев, центры масс которых находятся в точках  $O_1$  и  $O_2$  соответственно.

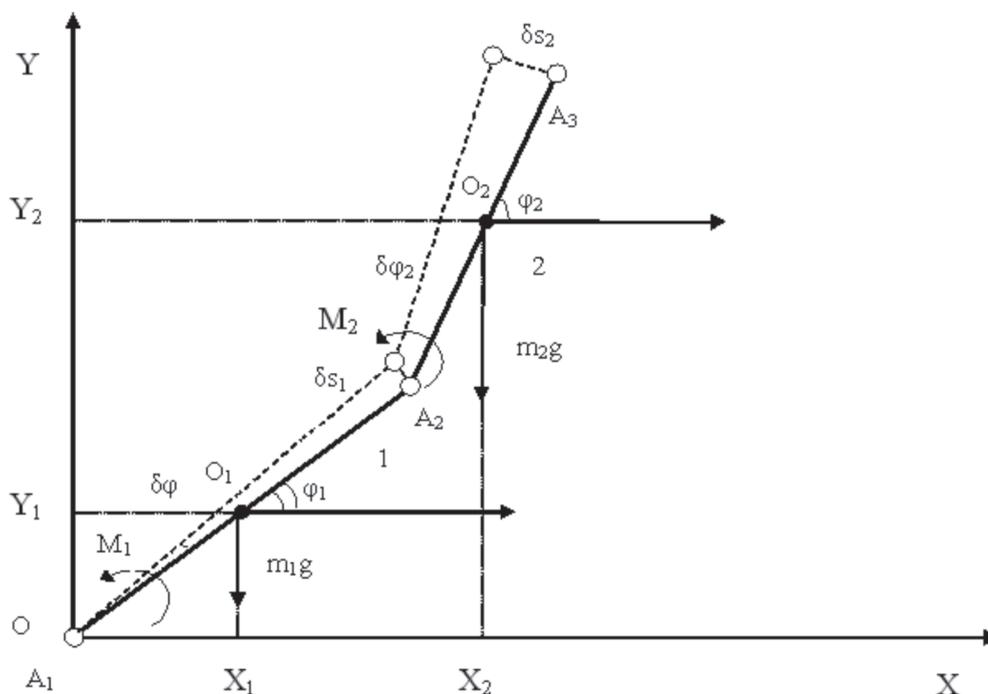


Рис. 2. Расчётная схема устройства для реабилитации нижних конечностей человека

Динамические уравнения движения системы были разработаны на основе уравне-

ний Лагранжа 2-го рода [2] и имели следующий вид:

– уравнение для обобщенной координаты  $\varphi_1$ :

$$\frac{m_1 \cdot L_1^2 \cdot \ddot{\varphi}_1}{3} - \frac{m_2 \cdot L_1^2 \cdot \sin 2\varphi_1 + 2 \cdot m_2 \cdot L_1 \cdot \frac{L_2}{2} \cdot \sin \varphi_2 \cdot \cos \varphi_1}{2} + \frac{-2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot m_2 \cdot L_1^2 - 2 \cdot m_2 \cdot L_1 \sin \varphi_1 \cos \varphi_2}{2} = M_1 - m_1 \cdot g \left( L_1 + \frac{L_2}{2} \cdot \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \right), \quad (1)$$

– уравнение для обобщенной координаты  $\varphi_2$ :

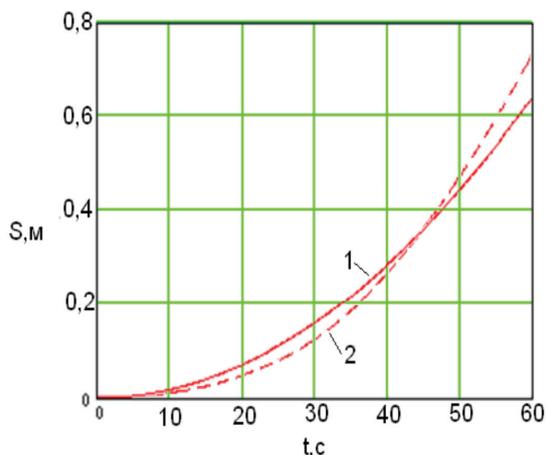
$$\frac{(m_2 \cdot L_2^2 + 3 \cdot m_2 \cdot L_1^2) \cdot \ddot{\varphi}_2}{3} - \frac{2 \cdot m_2 \cdot L_1 \cdot \frac{L_2}{2} \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 + m_2 \cdot \frac{L_2^2}{4} \cdot \sin 2\varphi_2}{2} + \frac{-2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \frac{L_2}{2} \sin \varphi_2 \cdot m_2 \cdot L_1 - 2 \cdot m_2 \cdot L_1 \sin \varphi_2 \cos \varphi_2 \cdot m_2 \cdot \frac{L_2^2}{4}}{2} = M_2 - m_2 \cdot g \cdot \left( L_1 \cdot \frac{\varphi_1}{\varphi_2} + \frac{L_2}{2} \right). \quad (2)$$

Здесь  $m_1$  и  $m_2$  – массы звеньев 1 и 2 соответственно;  $L_1$  и  $L_2$  – длины звеньев;  $F_{T1}$  и  $F_{T2}$  – силы тяжести;  $M_1$  и  $M_2$  – крутящие моменты электродвигателей приводов

На основе полученных выражений, было проведено исследование динамически рассматриваемой системы в среде Mathcad 2000. Вычисления проводились при посто-

янном 1 и переменных 2 значениях крутящего момента  $M_1$ .

Результаты моделирования представлены на рис. 3.



При переменных значениях угла поворота  $\varphi_2$  динамические характеристики принимали вид, представленный на рис. 4.

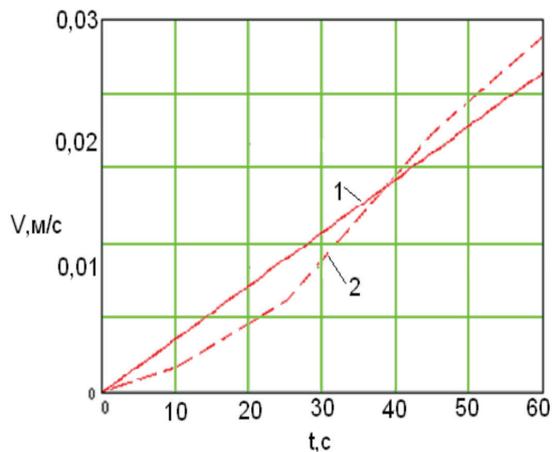


Рис. 3. Временные зависимости перемещения  $S$  и скорости звена  $V$  центра масс звена 2

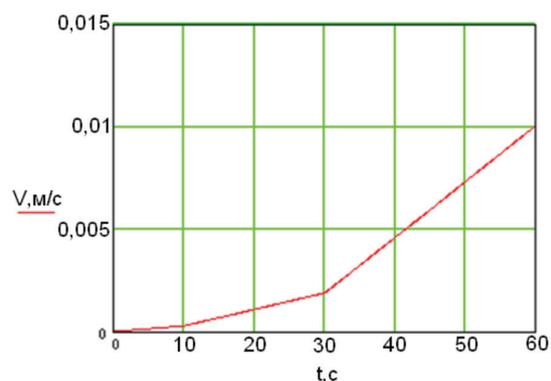
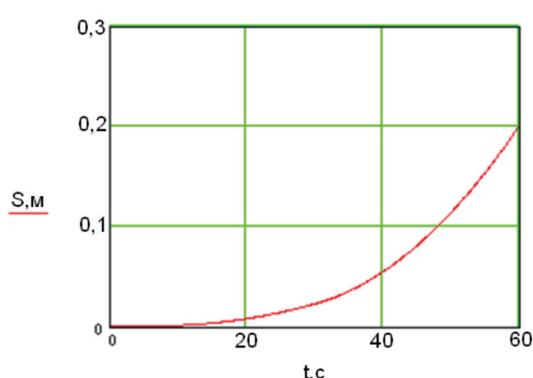


Рис. 4. Временные зависимости перемещения  $S$  и скорости звена  $V$  центра масс звена 2 при переменных значениях момента  $M_2$  и угла поворота  $\varphi_2$

### Выводы

1. В исследуемом механотерапевтическом устройстве, движение каждого звена влияет на движение всех остальных.

2. Для установления параметров, определяющих рабочую область движения исполнительного органа устройства, а также форму траекторий движения, которые должна обеспечивать реабилитационная система, необходимо оптимизировать ее параметры и синтезировать алгоритмы работы и законов управления движением исполнительных звеньев.

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уварова, Н.П. Экзоскелеты: настоящее и будущее / Н.П. Уварова, И.А. Яковлев, А.Н. Рукавицын // Наука и инновации – 2012: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Т. 16 Биологические науки, «Nauka i studia», Прzemysl, 2012. – С. 65-72
2. Яцун, С.Ф. Определение параметров приводов биоинженерных мехатронных модулей для экзоскелета нижних конечностей человека / С.Ф. Яцун, А.Н. Рукавицын // Известия ЮЗГУ, Серия: Техника и технологии, Ч.1 – № 2. Курск, 2012. – С. 196-200