

УДК 62-133.2+669

*к.т.н. Левченко Э.П.,
студ. Сомченко А.А.,
студ. Матвейчук А.С.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

СИНТЕЗ МОДЕЛИ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ НА ОСНОВЕ БИОМЕХАТРОННИКИ НОГИ ЧЕЛОВЕКА

Представлена биомехатронная модель нижней конечности, структурированы классы кинематических пар, из которых она синтезирована и виды движений звеньев, рассчитана степень подвижности модели.

Ключевые слова: биомеханика, кинематическая модель, нижняя конечность, степень подвижности, структурный анализ, кинематическая пара.

В настоящее время проблеме двигательной активности нижних конечностей, в том числе и ноги человека, уделяется значительно меньшее внимание, чем верхним конечностям. Это вызвано, скорее всего тем, что в процессах жизнедеятельности и труда основополагающую роль все же выполняют верхние конечности с помощью которых производится подавляющее большинство различных операций. Роль нижних конечностей отходит на второй план, хотя известно, что управление некоторыми техническими средствами, такими, например, как транспортные, спецтехника и другие, частично происходит с помощью ног человека. Анализ литературных источников, показывает, что модели нижних конечностей в основном применяются в медицинской практике, а в качестве движителя встречаются пока лишь технические предложения в виде пробных моделей, зачастую на уровне курьеза. [1-4]. Отсюда известна стопоходящая машина П.Л. Чебышева и другие, а также различные роботы. В горнодобывающей промышленности широкое применение нашли карьерные шагающие экскаваторы типа ЭШ-100/100 [4].

В медицине, в виду сложности организации поступательного движения, широкое распространение получили вращательные кинематические пары, что находит применение в инвалидных колясках, заменяющих ходьбу человека. Хотя известны коля-

ски, способные перемещаться по ступенькам, но обладающие высокой стоимостью. В последнее время широкое применение находят протезы, заменяющие движение ноги упругими движениями пружинного элемента и, даже, с пассивными пружинами управляемыми микропроцессором [5] с сенсорным контуром обратной связи (рис.1). Стоимость такого роботизированного сустава голеностопа составляет около 10 тыс. долларов.



Рисунок 1 – Протез PowerFoot One

Задачей статьи является составление кинематической модели нижней конечности человека, выявление и анализ кинематических пар и определение степени подвижности данной модели.

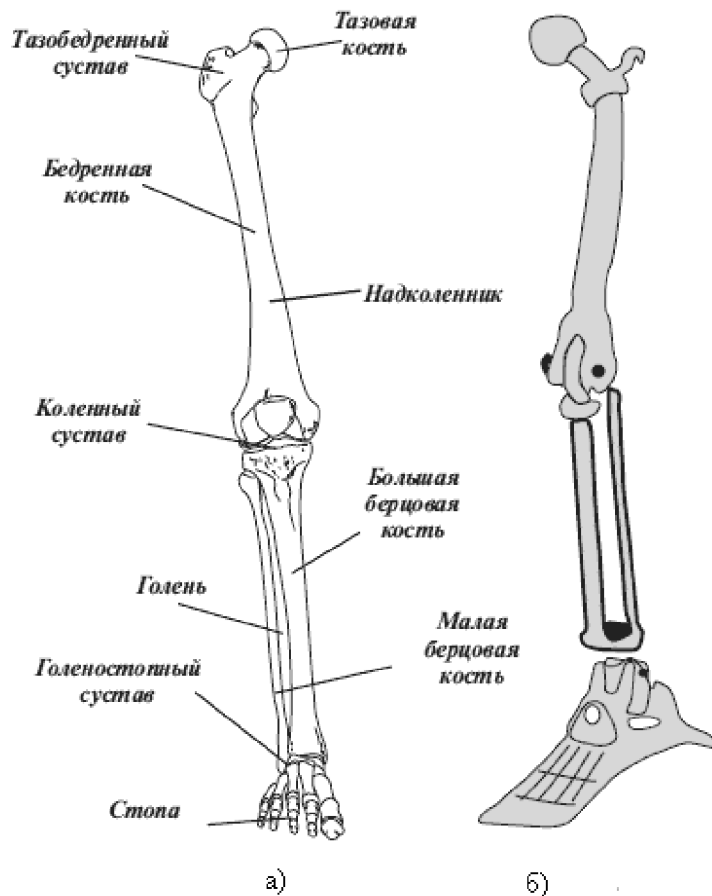


Рисунок 2 – Биомеханическая и механическая модели ноги человека

В биомехатронике рассматриваются кинематические модели нижних конечностей, но применительно к естественному строению человека, достаточно хорошо описана модель, включающая в себя тазобедренный сустав, бедренную кость, коленный сустав, голень, голеностопный сустав и стопу, что показано на рисунке 1а, а её механическая модель на рисунке 1б.

Коленный сустав работает как цилиндрический шарнир с пределами сгибания-разгибания около 140-170 градусов, при этом полусогнутый сустав допускает вращение голени до 40-60 градусов. В настоящее время известны различные модели верхних конечностей человека, которые в различной степени приближаются к истинному её строению. Наличие большого количества звеньев, образующих кинематическую цепь нижней конечности создают

сложности её практической реализации. Рассмотренные биомехатронные модели не являются универсальными, а служат лишь определенным целям, для которых они предлагаются. Достижение же полного приближения к естественной организации нижней конечности на сегодняшний день пока еще затруднительно, но стремительное развитие технических систем уже, возможно в ближайшем будущем, может в корне изменить эту ситуацию.

В результате анализа известных разработок по моделированию нижних конечностей можно сделать вывод об их многочисленном разнообразии, однако они не учитывают всей полноты естественных возможностей ноги человека. Все зависит от тех задач, которые ставят перед собой исследователи в каких-то конкретных случаях. Поэтому, очень актуальным

является любая модель, которая дает возможность, как можно более полно учесть все биомеханические способности человека в его двигательных функциях или позволяющая использовать какие либо частные функции при выполнении поставленных прикладных задач.

Удобным методом изучения технических конструкций является структуризация, заключающаяся в разбиении целого на элементарные составляющие с последующим изучением их частных возможностей и свойств.

Такой подход широко применяется в теории механизмов и машин, как основополагающий при изучении кинематических пар, из которых состоят любые механизмы. Причём, на основе известных кинематических пар, как на базе конструктора, возможно создание любого нового механизма, который, по своим функциональным способностям, может значительно отличаться от ранее известных, созданных из тех же кинематических пар.

Воспользуемся методикой структурного анализа, основанного на классификации кинематических пар в технике, предложенных Л.В. Ассуром. Для этого составим кинематическую схему в виде модели ноги человека, учитывающую наиболее используемые перемещение звеньев относительно друг друга на основе вращательного движения, представленную на рисунке 1.

Выявим кинематические пары, входящие в данную модель, проанализируем их класс и вид движения, при этом условно считаем, что звенья движутся относительно корпуса тела человека, как неподвижного звена. Структурируем полученную модель (табл. 1).

1-2 – кинематическая пара III класса, вращательная – p_3 (соединение корпуса тела человека с бедром);

2-3 – кинематическая пара V класса, вращательная – p_5 (сочленение бедра и голени);

3-4 – кинематическая пара IV класса, вращательная – p_4 (голень-стопа);

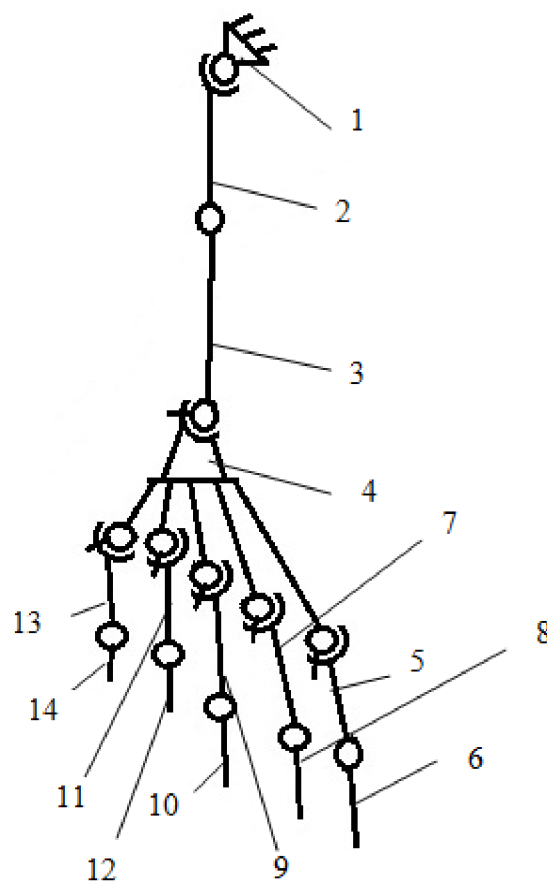


Рисунок 3 – Кинематическая модель ноги человека

4-5 – кинематическая пара IV класса, вращательная – p_4 ;

5-6 – кинематическая пара V класса, вращательная – p_5 ;

4-7 – кинематическая пара IV класса, вращательная – p_4 ;

7-8 – кинематическая пара V класса, вращательная – p_5 ;

4-9 – кинематическая пара IV класса, вращательная – p_4 ;

9-10 – кинематическая пара V класса, вращательная – p_5 ;






4-11 – кинематическая пара IV класса, вращательная – p_4 ;

11-12 – кинематическая пара V класса, вращательная – p_5 ;

4-13 – кинематическая пара IV класса, вращательная – p_4 ;

13-14 – кинематическая пара V класса, вращательная – p_5 .

Таблица 1 – Виды кинематических пар, входящих в модель нижней конечности

Кинематическая пара	Эскиз	Условное обозначение	Название пары	Класс пары	Символ пары	Способ контакта	Способ замыкания
1-2			Сферическая	III	p_3	По площади	Геометрическое
3-4 4-5 4-7 4-9 4-11 4-13			Сферическая с пальцем	IV	p_4		
2-3 5-6 7-8 9-10 11-12 13-14			Вращательная	V	p_5		

Применив формулу Сомова-Малышева [7], определим число возможных независимых перемещений (степень подвижности) кинематической цепи, представленной на рисунке 1.

$$W = 6 \cdot n - 5 \cdot p_5 - 4 \cdot p_4 - 3 \cdot p_3 - 2 \cdot p_2 - p_1.$$

В рассматриваемой кинематической схеме все кинематические пары вращательного типа, из них III класса – 1 штука, IV класса – 6 штук, V класса – 6 штук.

Степень подвижности такой пространственной модели, ввиду отсутствия кинематических пар I и II класса, выразится сокращённой формулой:

$$W = 6 \cdot n - 5 \cdot p_5 - 4 \cdot p_4 - 3 \cdot p_3,$$

где $n=13$; $p_5=6$, $p_4=6$, $p_3=1$

$$W = 6 \cdot 13 - 5 \cdot 6 - 4 \cdot 6 - 3 \cdot 1 = 21.$$

Принимая во внимание, что стопа относительно голени у человека имеет возможность вращения во всех трех независимых плоскостях, т.е. на самом деле образует собой кинематическую пару 3-4 III класса, уточним степень подвижности кинематической модели с учетом такой особенности.

Тогда $n=13$; $p_5=6$, $p_4=5$, $p_3=2$.

$$W = 6 \cdot 13 - 5 \cdot 6 - 4 \cdot 5 - 3 \cdot 2 = 22.$$

Строение стопы и ее костей представлены на рисунке 4, откуда видно, что на самом деле кинематических пар в стопе больше, чем в рассматриваемой модели.



Рисунок 4 – Строение стопы человека

Однако, их значением, с целью упрощения, можно пренебречь из-за мизерного влияния, ввиду сильного ограничения подвижности пяти костей, с которыми соединяются пальцы соединительными тканями,

что практически исключает использование этих костей в двигательной функции.

Таким образом, число возможных независимых перемещений модели нижней конечности увеличивается всего на единицу, но это придает ей дополнительную опорную устойчивость при опирании на поверхность, что является существенным преимуществом. Поэтому, такая модель является более предпочтительной с практической точки зрения повышения надежности вертикальной устойчивости при ходьбе.

Выводы и направление дальнейших исследований.

Предложена кинематическая модель нижней конечности в виде четырнадцатизвенной разомкнутой кинематической цепи с вращательными кинематическими парами. Определена степень подвижности предложенной модели нижней конечности.

Результаты кинематического моделирования могут быть применены при создании искусственных органов нижних конечностей, а так же в виде движителей искусственно создаваемых человеком механизмов.

Библиографический список

1. Платонов А. К. Методы биомехатроники тренажера руки человека [Электронный ресурс] / А. К. Платонов, А. А. Фролов, Е. В. Бирюкова и [др.] // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. — 2012. — № 82. — 40 с. — Режим доступа: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2012-82>.
2. Чебышева П. Л. Механизмы / П. Л. Чебышева. — Юный техник, 1956. — № 4. — С. 61–63.
3. Брискин Е. С. Шагающие машины со сдвоенными ортогональными движителями / Е. С. Брискин, Я. В. Калинин // Газета Волгоградского политехнического университета. — Политехник, 2010. — №1291 (35). — С. 7.
4. Ваннах М. Стопоходы будущего, или зачем Google купила Boston dynamics [Электронный ресурс] / М. Ваннах. — Режим доступа: <http://www.computerra.ru/90118/stopohodyi-ot-google/>
5. Биконические протезы ног выносивее оригинала [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://nlo-mir.ru/tech/35157-bionicheskie-protezy-nog-vynoslivee-originala.html>.
6. Кадочников А. А. Один на один с врагом. Русская школа рукопашного боя / А. А. Кадочников. — М. : Феникс, 2006. — 440 с.
7. Заблонский К. И. Теория механизмов и машин : учебник / К. И. Заблонский, Б. М. Щекин. — К. : Выси. шк.. Головное издательство, 1989. — 376 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. ЛГУ им. Даля Харламовым Ю.А., к.т.н., проф. ДонГТУ Ульяницким В.Н.

Статья поступила в редакцию 10.11.15.

**к.т.н. Левченко Е.П., студ. Сомченко О.О., студ. Матвейчук О.С. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)
СИНТЕЗ МОДЕЛІ НИЖНЬОЇ КІНЦІВКИ НА ОСНОВІ БІОМЕХАТРОНІКИ НОГИ
ЛЮДИНИ**

Представлено біомехатронну модель нижньої кінцівки, сконструйовано класи кінематичних пар, з яких вона синтезована та види руху ланок, розраховано ступінь рухомості моделі.

Ключові слова: біомеханіка, кінематична модель, нижня кінцівка, ступінь рухомості, структурний аналіз, кінематична пара.

**PhD in Engineering Levchenko O.A., Student Somchenko A.A., Student Matveichuk A.S.
(DoSTU, Alchevsk, LPR)**

**SYNTHESIS OF LOWER LIMB MODEL ON THE BASIS OF HUMAN LEG
BIOMECHATRONICS**

Lower limb biomechatronical model is presented, grades of kinematic pairs, which it is synthesized from and moving patterns were created, and model's degree of freedom was calculated.

Key words: biomechatronics, kinematic model, lower limb, degree of freedom, structural analysis, kinematic pairs.