

$$f_i = f_{i-1} + u_i, \quad (4)$$

где f_i – уравнение, описывающее биомеханическое состояние i -го звена;
 f_{i-1} – уравнение, описывающее биомеханическое состояние $(i-1)$ -го звена;
 u_i – свободный параметр, определяемый масс-инерционными характеристиками i -го звена и наложенными кинематическими связями.

Достаточно определить структуры f_{i-1} и u_i , а после этого, используя соотношение (4), выполнить в программе циклические вычисления по i , от $i=1$ до $i=N$. Таким образом, можно автоматизировать процедуру вывода необходимых уравнений для биомеханических систем с произвольным количеством звеньев.

Гипотеза справедлива как для кинематического, так и для динамического анализов. И применима как для задач биомеханики, так и робототехники.

Биомеханическое состояние всей системы определяется через сумму состояний звеньев биомеханической системы. Формула для биомеханической системы в целом имеет вид

$$f_{БМС} = \sum_{i=1}^N f_i \quad (5)$$

где $f_{БМС}$ – уравнение, описывающее биомеханическое состояние опорно-двигательного аппарата человека в целом.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Боянович, Ю. В. Атлас анатомии человека / Ю. В. Боянович, Н. П. Балакирев. – Ростов-на-Дону.; Феникс, Харьков. : Торсинг, 2005. – 734 с.
2. Бегун, П. И. Биомеханика: учеб. для вузов / П. И. Бегун, Ю. А. Шукейло. – СПб. : Политехника, 2000. – 463 с.
3. Бегун, П. И. Моделирование в биомеханике: учеб. пособие / П. И. Бегун, П. Н. Афонин. – М. : Высш. шк., 2004. – 390 с.
4. Загrevский, В. И. Расчетные модели кинематики и динамики биомеханических систем / В. И. Загrevский. – Томск–Могилев. : 1999. – 156 с.
5. Гавердовский, Ю. К. Техника гимнастических упражнений. Популярное учебное пособие / Ю. К. Гавердовский. – М. : Terra-Спорт, 2002. – 512 с.

УДК 629.735

КОНСТРУИРОВАНИЕ МНОГОЦЕЛЕВОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ МЕХАТРОНИКИ, РОБОТОТЕХНИКИ И БИОМЕХАНИКИ

Михальков С.Л., Массальский М.И., Ширвель П.И.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

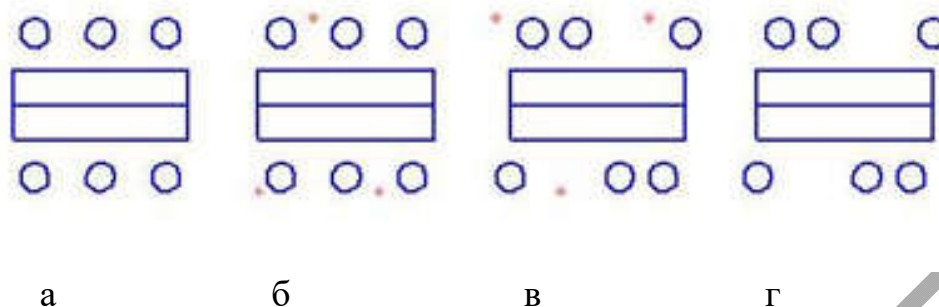
Разработка высокотехнологичного робота в качестве лабораторного комплекса для студентов и преподавателей с целью исследований в области машиностроения, робототехники, мехатроники и биомеханики является весьма актуальной задачей, которая при ее успешном решении позволит вывести образование в сфере робототехники и мехатроники на новый уровень. В настоящее вре-

робототехника является перспективным направлением в связи с развитием технологий и снижением их стоимости. Особенный рост сейчас наблюдается в сфере образовательной робототехники.

Отметим, что в настоящее время существующие роботы можно условно классифицировать по различным видам движения: колёсные и гусеничные роботы, шагающие роботы, летающие роботы, ползающие роботы, роботы, перемещающиеся по вертикальным поверхностям, плавающие роботы. Подчеркнем, что среди них одним из самых распространённых и универсальных является робот с шагающим видом движения. В соответствии с композиционной концепцией построения шагающих роботов низший уровень управления локомотивным процессом может быть представлен как результат коллективной работы независимых замкнутых систем автоматического регулирования (регуляторов). Какие-либо связи между отдельными регуляторами (горизонтальные связи) отсутствуют. Иными словами, шагающий робот как единый автомат может быть представлен композицией некоторого количества элементарных, независимо функционирующих автоматов, а локомотивный процесс результатом совместного действия этих автоматов. Каждый автомат решает свою собственную задачу и таким путем вносит свой вклад в формирование локомотивного процесса. Технику ходьбы шагающих роботов можно разделить по количеству точек опор на две, четыре и шесть. Условием устойчивого равновесия четвероногого робота является требование, чтобы при движении центр тяжести такого робота в любой момент находился в пределах воображаемого треугольника, углами которого являются опорные в настоящий момент конечности. Исходя из этого, был разработан шагающий агрегат на четырех конечностях, алгоритм движения которого был определен таким образом, чтобы при его движении в любой момент времени в воздухе находилась только одна нога, а корпус имел опору одновременно на три точки и сохранял при этом статическую устойчивость.

Отметим, что популярность шестиногих шагающих роботов в значительной степени обусловлена тем, что проблемы обеспечения статической устойчивости движущихся шестиногих аппаратов решаются относительно просто по сравнению с другими конструкциями. Моделью с шестью ногами мы сможем продемонстрировать знаменитую походку "треножником", т. е. с опорой на три ноги, которую используют большинство существ. На следующих рисунках темный кружок означает, что нога устойчиво поставлена на землю и поддерживает вес существа. Светлый кружок означает, что нога поднята и находится в движении. На рисунке 1а показано существо в позиции "стояния". Все ноги опираются о землю. Из положения "стояния" существо решает идти вперед. Для того чтобы сделать шаг, оно поднимает три из своих ног (см. светлые кружки на рисунке 1б), опираясь своим весом на три оставшиеся ноги (темные кружки). Заметьте, что ноги, поддерживающие вес (темные кружки), расположены в форме треножника (треугольника). Такая позиция является устойчивой, и робот не может упасть. На рисунке 1в показано, что три остальные ноги (светлые кружки) могут двигаться и двигаются вперед. На рисунке 1г показан перенос центра тяже-

сти на другие три опоры (тёмные кружки) и движение вперёд свободных ног (белые кружки).



а - исходное положение; б - перенос центра тяжести; в - перенос свободных лап; г - перенос центра тяжести.

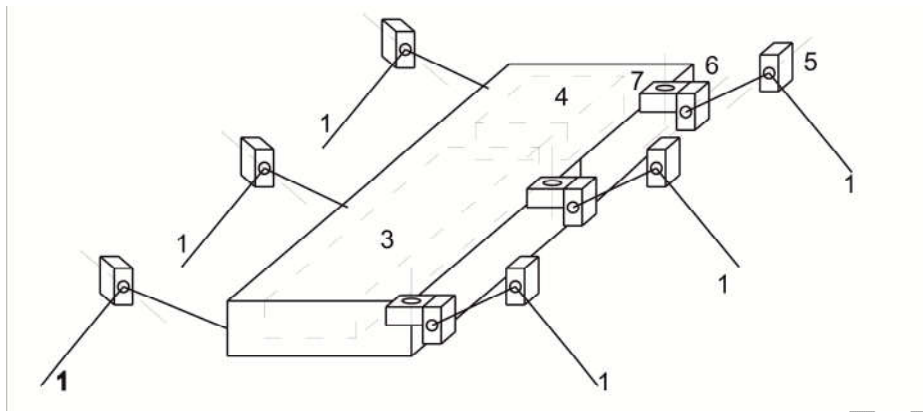
Рисунок 1 – Передвижение шестиногого шагающего робота

Проанализировав строение насекомых (лат. *Insecta*), а также имеющиеся конструкции подобных роботов-гексаподов для создания эскиза робота в ходе проведения работы, было решено опираться на существующий аналог, т.к. он во многом подходил для базовой конструкции, согласно с требованиями, которые были получены при изучении строения насекомых. Каждая нога робота будет иметь по 3 степени свободы. Чтобы обеспечить эту степень подвижности надо устанавливать по одному сервоприводу на каждую степень подвижности. Была рассмотрена возможность оснастить робота ногами, в которых будет по 4 степени свободы и 4 сервопривода, чтобы добавить плавность хода роботу и увеличить гибкость ног при движении. Однако, такой вариант был отклонен в связи увеличением стоимости робота и повышением количества узлов и приводов в роботе, что в свою очередь вызовет уменьшение надежности всей конструкции в целом.

Ноги робота будут крепиться к массивному телу робота, которое будет сделано из двух металлических пластин, жестко соединенных между собой при помощи металлических стоек (грудь без подвижных частей). Такая простая форма груди робота позволяет упростить крепление ног к телу робота, снизить время на ремонт робота при неполадках, а также удешевить его изготовление.

Сперва, началась работа по определению расположения всех электрических компонентов в роботе. Размеры всех компонентов и их технические характеристики были известны. Это значительно упростило работу. В результате работы был создан первоначальный эскиз робота, на который было решено ориентироваться в дальнейшем.

Комплектующие и электрические компоненты робота: сервопривод (SER0019) 18 шт, контроллер сервоприводов (RB-Lyn-850), головной контроллер управления роботом (RB-Lyn-363), аппаратура дистанционного управления (RB-Lyn-899), аккумулятор для питания логической части устройства (GENS ACE 800MAH 2S), аккумулятор для питания силовой части устройства (GENS ACE 3300MAH 2S) по 1 шт.



1 - ходильная нога робота-гексапода с тремя степенями свободы; 2 - грудь робота-гексапода; 3- аккумуляторные батареи робота; 4 - силовая и управляющая электроника; 5, 6, 7 – сервоприводы.

Рисунок 2 – Первоначальный эскиз робота

Основные результаты проекта связаны с мехатроникой и робототехникой. На первом этапе проведен анализ уже имеющихся разработок и создан эскиз робота. На втором – разработана математическая модель, а также трехмерная модель робота-гексапода. На третьем этапе закуплено необходимое навесное оборудование и создано необходимое программное обеспечение. После всех необходимых расчетов изготовлен реальный прототип робота. Стоимость реализованного прототипа составила 450 BYN. На заключительном этапе будут проведены испытания робота-гексапода.

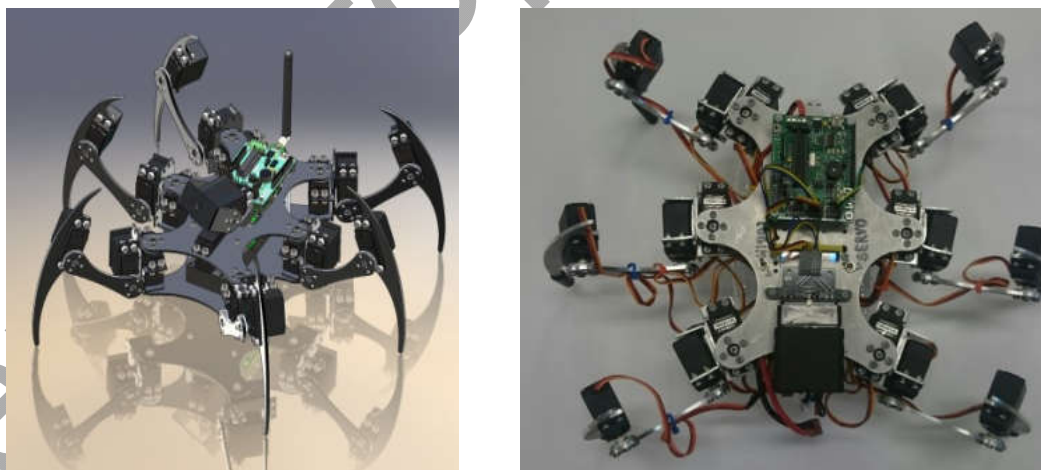


Рисунок 3 – 3D модель робота и сконструированный робот

Научная и практическая значимость заключается в создании лабораторного комплекса, при помощи которого можно будет проводить лабораторные занятия. Все это в совокупности позволит модернизировать учебный процесс, внедрить в процесс образования новые технологии, дать необходимые знания и навыки будущим специалистам по программированию, конструированию и моделированию роботов и устройств.