

**РАЗРАБОТКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО  
КОМПЛЕКСА В КАЧЕСТВЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА ДЛЯ СТУДЕНТОВ  
И ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ  
МЕХАТРОНИКИ, РОБОТОТЕХНИКИ И БИОМЕХАНИКИ**

студ. **Массальский М.И.**, к.ф.-м.н. **Ширвель П.И.**, студ. **Михальков С.Л.**  
*Белорусский национальный технический университет, Минск*

В настоящее время робототехника является перспективным направлением в связи с развитием техники и информационных технологий, а также снижением их стоимости. Следует подчеркнуть, что определенный рост сейчас наблюдается в сфере образовательной робототехники. В связи с этим, разработка высокотехнологичного робота в качестве лабораторного комплекса для студентов и преподавателей с целью свободных исследований в области машиностроения, робототехники, мехатроники и биомеханики является весьма актуальной задачей, которая, при ее успешном решении и своевременном внедрении в учебный процесс, позволит вывести техническое образование на качественно новый уровень. Робототехника и мехатроника – это перспективные современные направления по подготовке технических кадров в Беларуси. Такие специалисты, при должном качестве образования и, разумеется, отношении к делу, смогут создавать принципиально новые продукты, а также предлагать инновационные и креативные решения для отечественного машиностроения, приборостроения, военной сферы и других быстроразвивающихся отраслей промышленности.

С развитием научно-технического прогресса, внедрением новых технологий в различных областях производства, в том числе вредного и опасного, возникает необходимость в мобильных устройствах специального назначения, способных работать, например, в зоне высокой радиоактивности (при обслуживании ядерных реакторов), при тушении лесных пожаров или в зонах стихийных бедствий. Наиболее полно этим требованиям, скорее всего, будут отвечать шагающие роботы. Всех существующих на сегодня роботов можно условно классифицировать по различным видам движения: колесные и гусеничные роботы, шагающие роботы, летающие роботы, ползающие роботы, роботы, перемещающиеся по вертикальным поверхностям, плавающие роботы [1]. Подчеркнем, что одним из самых распространенных и универсальных является робот с шагающим видом движения [1-5]. В соответствии с композиционной концепцией построения шагающих роботов [1] низший уровень управления локомоционным 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 локомоционный процесс – результатом совместного действия этих автоматов. Каждый автомат решает свою собственную задачу и таким путем вносит свой вклад в формирование локомоционного процесса. Технику ходьбы шагающих роботов можно разделить по количеству точек опор на две, четыре и шесть [6]. Условием устойчивого равновесия [7] 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 сделанных замечаний и поставленных в проекте задач разрабатывался реальный прототип шагающего робота. Проектирование узлов началось с разработки простейших эскизов. Эскизы включали в себя две части. Первая часть – это общий

внешний вид робота с габаритными размерами. Вторая часть-это кинематическая схема всех узлов робота с необходимыми размерами.

Отметим, что для создания эскиза сначала необходимо было рассмотреть строение реального насекомого, чтобы в последующем частично повторить его в гексапode. Эскиз робота должен представлять собой простейшее графическое представление будущего прототипа. Здесь было принципиально важно определить, как робот будет передвигаться, а также какую форму туловища он будет иметь. Как известно, у туловища насекомого есть голова, грудь и брюшко, однако для данного проекта нас интересовало именно строение груди, т.к. к этой части крепятся ходильные ноги. Для этого были рассмотрены несколько вариантов груди и ходильных ног насекомого. Проанализировав строение насекомого, были выделены основные варианты [8]. Первый представляет собой наличие груди, которая имела бы три подвижные секции по аналогии с настоящим насекомым (рис. 1). Строение груди насекомого разделяется (см. рис.): 1) переднегрудь, к которой снизу причленена передняя пара ног; 2) среднегрудь, к которой снизу причленена средняя пара ног; 3) заднегрудь, к которой снизу причленена задняя пара ног.

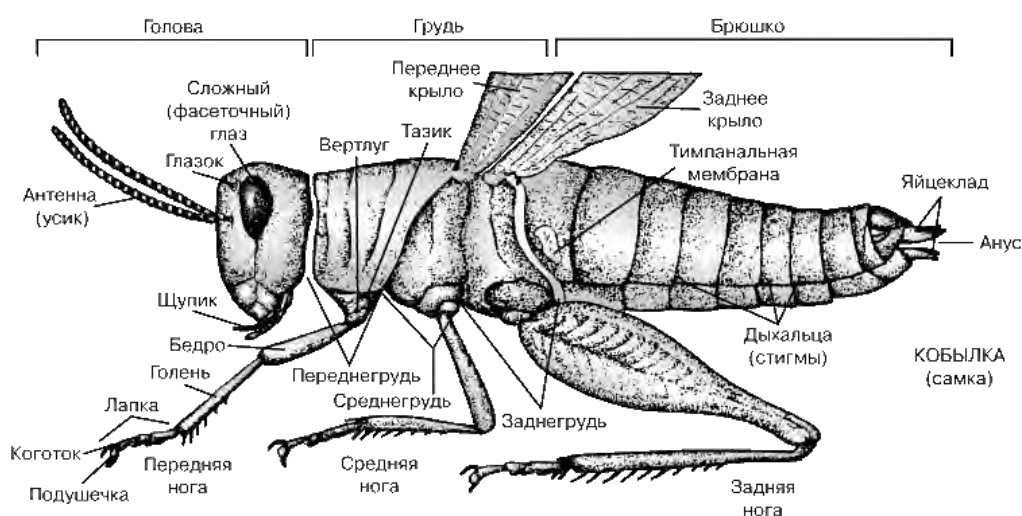


Рис. 1. Внешнее строение насекомого

Плюсами реализации данного типа груди в роботе-гексапode: а) благодаря подвижным звеньям, можно увеличить гибкость самого робота, тем самым расширяется спектр его возможностей; б) подвижные звенья могут позволить роботу маневрировать быстрее и передвигаться по труднопроходимой местности; в) грудь данного типа аналогична по строению с грудью реального насекомого. В тоже время, минусы реализации данного вида строения груди в роботе-гексапode: а) увеличение подвижных звеньев ведет к снижению надежности и увеличению вероятности поломки; б) каждое звено усложняет конструкцию всего робота и делает его более тяжелым. Ниже представлена схема, показывающая принцип построения груди подобного типа (рис.2).

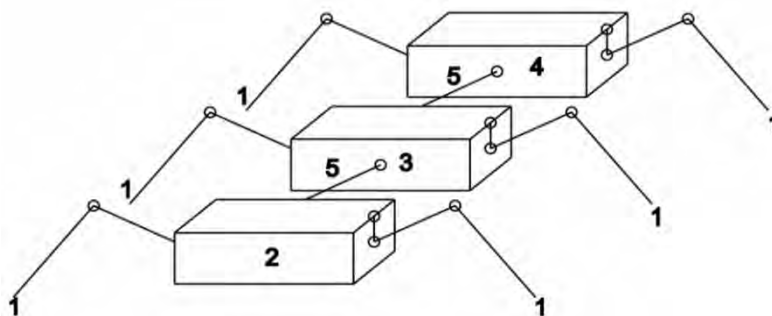


Рис. 2. Строение груди, разделенной на 3 части

Цифрами (1-5) на рис. 2 обозначены следующие узлы робота: 1) ходильная нога робота-гексапода с тремя степенями свободы; 2) переднегрудь; 3) среднегрудь; 4) заднегрудь; 5) область крепления элементов груди на подвижной опоре.

В связи с тем, что конструкция получилась бы довольно громоздкой и сложной, было решено отказаться от этого варианта строения груди и перейти ко второму, более простому варианту – грудь без подвижных частей. Грудь без подвижных частей является самым простым вариантом (не имеет соединений между переднегрудью, среднегрудью и заднегрудью). Эти части жестко соединены между собой. Плюсы такого типа груди следующие: а) простота и элегантность конструкции; б) увеличение надежности, путем снижения количества сложных узлов в роботе. Ниже представлен рисунок 3, который показывает строение груди подобного типа.

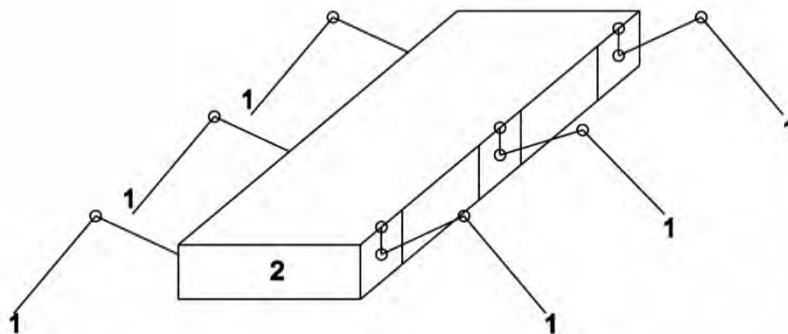


Рис. 3. Строение груди без подвижных частей

Цифрами (1-2) на рис. 3 обозначены следующие узлы робота: 1) ходильная нога робота-гексапода с тремя степенями свободы; 2) грудь робота-гексапода.

После того, как было определено строение груди робота, необходимо перейти к рассмотрению конструктивного строения конечностей робота-гексапода. Для этого рассмотрим строение конечностей. Для того, чтобы робот мог передвигаться, необходимы ноги, которые будут иметь некоторую степень подвижности. У насекомых существует большое разнообразие видов ног (рис. 4), но нас интересовали именно прыгательные-ходильные ноги, которые бы позволили роботу передвигаться.

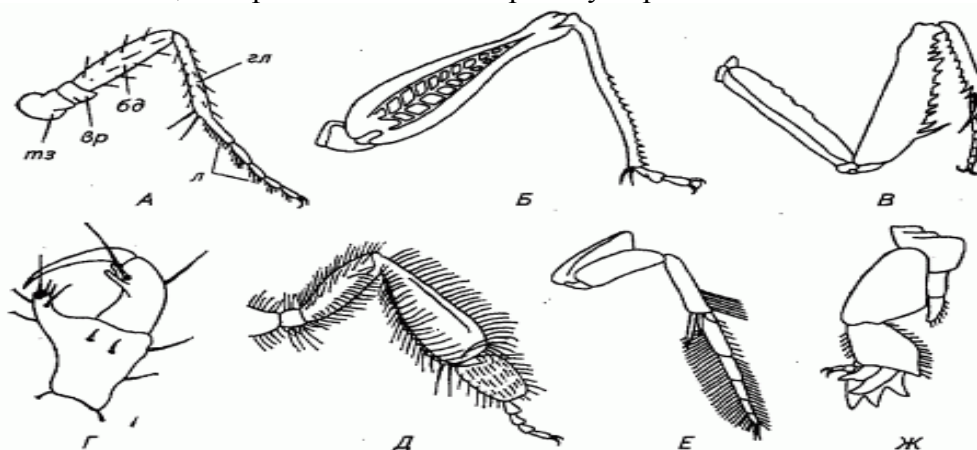


Рис. 4. Различные типы ног насекомых (по данным разных авторов)

А – ходильная нога; тз – тазик; вр – вертлуг; бд – бедро; гл – голень; л – лапка; Б, В, Г, Д, Е, Ж – прыгательная-ходильная, хватательная, прицепная, собирательная, плавательная, копательная нога

Изучив строение ходильной ноги насекомого, было решено, что при конструировании механической ноги робота-гексапода необходимо обеспечить в ноге три степени свободы. Строение ноги робота гексапода на основе имеющихся данных было решено реализовать с использованием следующих частей ноги: тастика, бедра и голени. Такая структура позволяет практически точно повторить строение ходильной ноги на-

стоящего насекомого и позволяет имитировать различные виды походок, которые используются насекомыми при передвижении. Однако, для самого полного повторения строения ходильной ноги насекомого необходимо добавить еще одну степень свободы. Это дополнительный сустав между лапкой и голенью ходильной ноги. Заметим, что без этого сустава насекомое не теряет подвижности и может также передвигаться, поэтому для упрощения конструирования механической ноги робота, было принято решение убрать этот сустав. В результате количество ног в роботе-гексапode было определено по аналогии с насекомым – 3 пары ног. Стоит подчеркнуть, что 3 пары ног насекомых имеют принципиальные отличия: каждая пара ног предназначена для выполнения различных операций. Но нашей задачей было не повторить строение насекомого в механическом исполнении, а лишь взять лучшие решения природы. Таким образом, в данном проекте все пары ног будут идентичны между собой.

На рис.5 представлено строение рассматриваемой ходильной ноги насекомого.

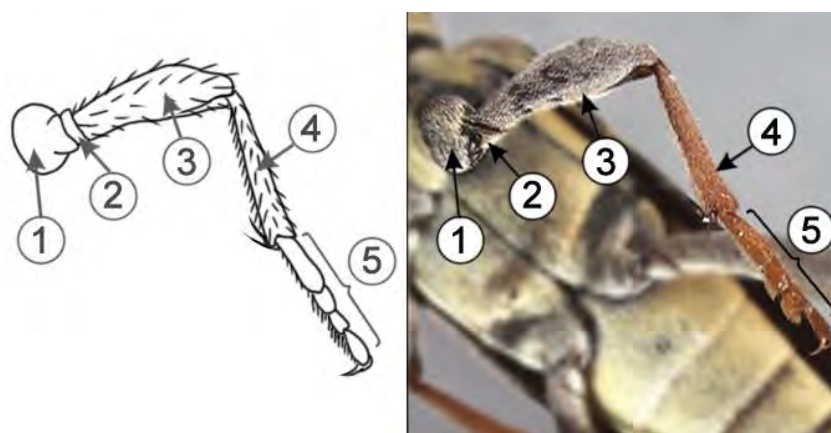


Рис. 5. Строение ходильной ноги насекомого:

1 – Тазик (часть ноги, которая крепится к груди); 2 – Вертлуг; 3 – Бедро; 4 – Голень; 5 – Лапка

Исходя из проведенного анализа, в дальнейшем был разработан шагающий агрегат на конечностях и определен алгоритм [9,10] его движения, чтобы в любой момент времени корпус сохранял 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 [9-11]. На рис. 6 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 позиции 2), 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 позиции 3 показано, что три остальные ноги (светлые кружки) могут двигаться вперед. На позиции 4 показан перенос центра тяжести на других три опоры (темные кружки) и движение вперед свободных ног (белые кружки).

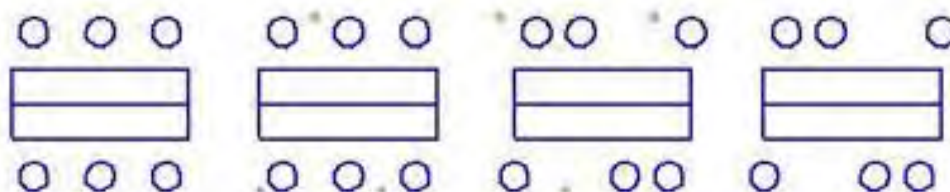


Рис. 6. Передвижение шестиногого шагающего робота: 1 – исходное положение; 2 – перенос центра тяжести; 3 – перенос свободных лап; 4 – перенос центра тяжести

Проанализировав строение насекомых, 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. Проектируемый робот будет обладать 3 парами ходильных ног. 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 работе, 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. Далее началась работа по определению расположения всех электрических компонентов в работе. Размеры всех компонентов и их технические характеристики были известны. В результате работы был создан первоначальный эскиз робота, на который было решено ориентироваться в дальнейшем.

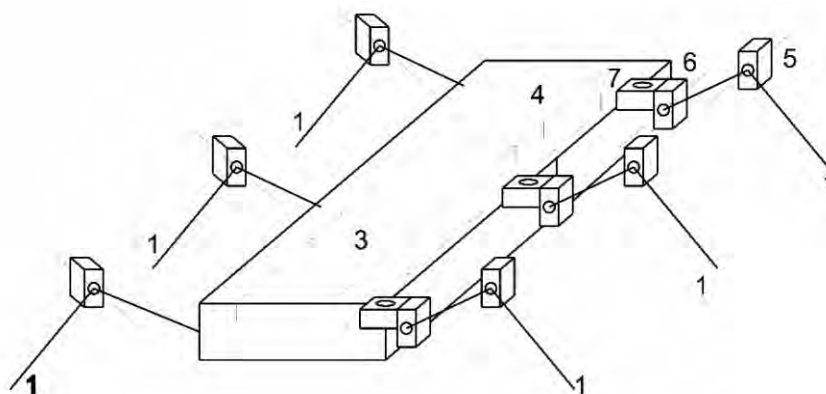


Рис. 7. Спроектированный рабочий вариант эскиза конструируемого робота

Цифрами (1-7) на рисунке 7 обозначены следующие элементы на эскизе робота-гексапода: 1) Ходильная нога робота-гексапода с тремя степенями свободы. 2) Грудь робота-гексапода. 3) Аккумуляторные батареи робота. 4) Силовая и управляющая электроника. 5) Сервопривод 1. 6) Сервопривод 2. 7) Сервопривод 3.

Для того, чтобы разработка проекта робота-гексапода имела экономическую целесообразность необходимо было изучить предложения конкурентов и оценить все их преимущества и недостатки, чтобы синтезировать из моделей конкурентов наиболее оптимальный вариант модели и комплектации миниатюрного робота-гексапода. В ходе изучения рынка выяснилось, что наибольшим преимуществом на рынке миниатюрных роботов-гексаподов имеют роботы, для которых компанией-производителем создана необходимая инфраструктура и свое сообщество пользователей (предоставляется информационная поддержка по программированию, форумы пользователей, квалифицированная техническая поддержка, 3Д-модели деталей, открытое программное обеспечение, математические модели и т.д). Поэтому для рассмотрения аналогов мы будем равняться на самые передовые продукты с качественной экосистемой вокруг продукта. Не стоит забывать, что существует и огромное множество просто уникальных для мира образцов роботов-гексаподов, которые были созданы в единичном экземпляре энтузиастами из мира робототехники. Во многом они превосходят коммерческие образцы ро-

ботов-гексаподов, которые представлены на рынке. Однако, нас интересуют именно коммерческие образцы миниатюрных робото-гексаподов. Существует и большое количество роботов-гексаподов игрушек. Они похожи на настоящих роботов-гексаподов по форме и типу движения, но выполнены они из очень дешевых материалов. Нашей же задачей было найти аналоги, которые похожи между собой по своим целям применения – использование в ВУЗах в качестве дополнения к учебному процессу. Для этого мы проанализировали 3 наиболее популярных аналога, которые используются в учебных учреждениях США, Канады и Европейского союза. *Робот-гексапод PhantomX AX MK-III* от компании Interbotix Labs, Иллинойс, США (средняя стоимость 4500 BYN), *Робот-гексапод Phoenix* от компании Lynxmotion Inc, Канада (2500 BYN), *Робот-гексапод T-Hex* от компании Lynxmotion Inc, Канада (средняя стоимость 3000 BYN).

**Разработка кинематических схем ходильных ног робота-гексапода.** Для создания 3Д-модели миниатюрного робота гексапода требовалось определить точные размеры всей системы в целом. Кинематическая схема подобного плана обусловлена строением ходильной ноги настоящего насекомого (описано выше).

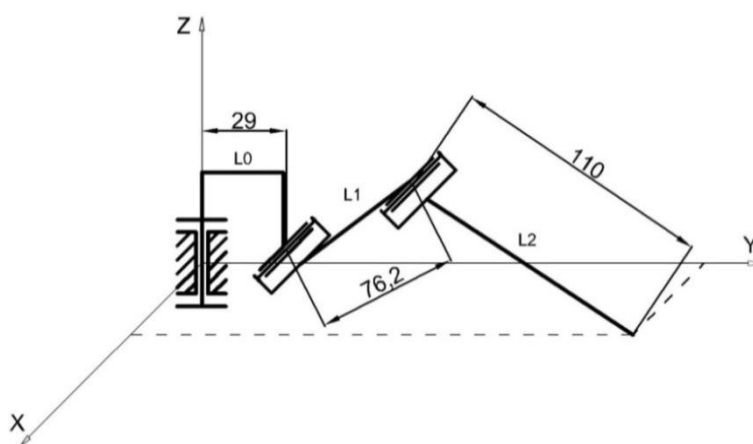


Рис. 8. Кинематическая схема механизма “Левая ходильная нога робота гексапода”

На кинематической схеме “Левая ходильная нога робота-гексапода” имеется три вращательные пары. Длины звеньев:  $L_0=29\text{мм}$ ,  $L_1=76,2\text{мм}$ ,  $L_2=110\text{мм}$ . Правая ходильная нога, является зеркальным отражением левой ходильной ноги робота. Каждая вращательная пара заменяет собой один сервопривод. После того как были созданы кинематические схемы ног робота, была разработана общая кинематическая схема всего механизма робота-гексапода (рис. 9).

После получения кинематических схем главных механизмов робота и самого робота, началась задача по определению компонентов, которые будут составлять тот или иной механизм. Для начала был взят механизм “Левая ходильная нога робота”. Для реализации этого механизма необходимо было использовать определенные детали, проектирование которых началось согласно с кинематической схемой робота и размерами сервоприводов, которые должны были быть установлены в ходильной ноге. Размеры сервоприводов и их технические характеристики были известны. Сперва началась работа по определению расположения сервоприводов в ноге робота-гексапода и создание в ноге суставов на базе сервоприводов. В результате были определены размеры и форма основных деталей, которые входят в механизм Левая/Правая ходильная нога робота-гексапода. Для простоты проектирования и изготовления решено было сделать детали «зеркальными», чтобы они подходили для правой и левой ноги робота. Механизм “Левая/Правая ходильная нога робота-гексапода” подразделяется на следующие узлы: Тазик ноги, Бедро ноги, Голень ноги. Названия взяты по аналогии с названиями для строения ноги насекомого. Таким образом, агрегат «Левая/Правая» ходильная нога робота-гексапода включает в себя: а) Узел Тазик б) Узел Бедро в) Узел Голень

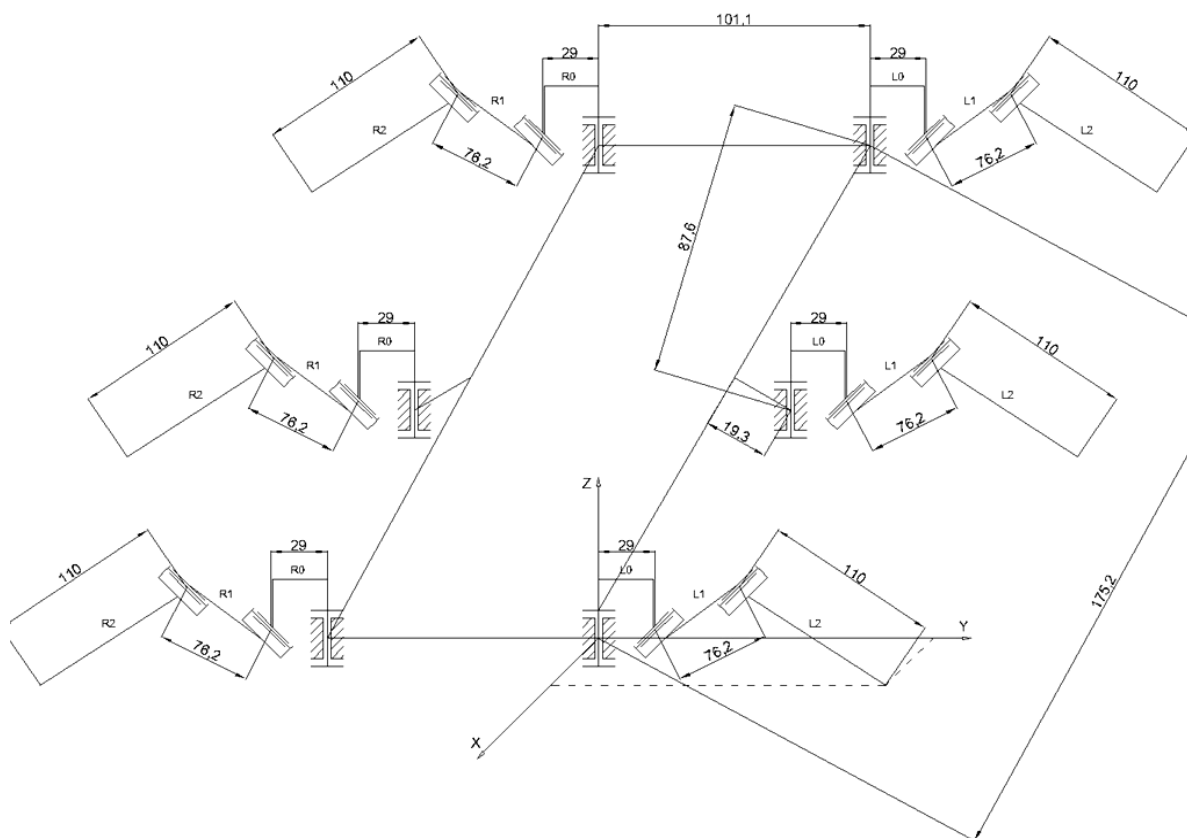


Рис. 9. Общая кинематическая схема механизма “Робот-гексапод”

**Создание 3Д-моделей деталей робота.** После детализовки робота и анализа конструкции необходимо было приступить к созданию 3Д-модели робота и проведению виртуальных испытаний. Началась работа по созданию 3Д-моделей необходимых элементов конструкций. Все 3Д-модели создавались в программе Dassault Systems SolidWorks 2012. Отметим, что дальнейшее изготовление реального прототипа робота-гексапода, потребовало полную конкретизацию всех компонентов, которые будут использоваться в роботе гексапode, расчет некоторых деталей на прочность, а также сборку всех компонентов в единой целое, запуск самого робота и испытания модели. Для того, чтобы во время эксплуатации не возникало необратимых деформаций, необходимо было правильно определить тип материала для изготовления деталей. С этой целью проводились расчеты и моделирование поведения различных типов материала (алюминий, медь, пластик) при приложении к различным точкам деталей разного рода эксплуатационных нагрузок, включая и предельные (рис.9-11).

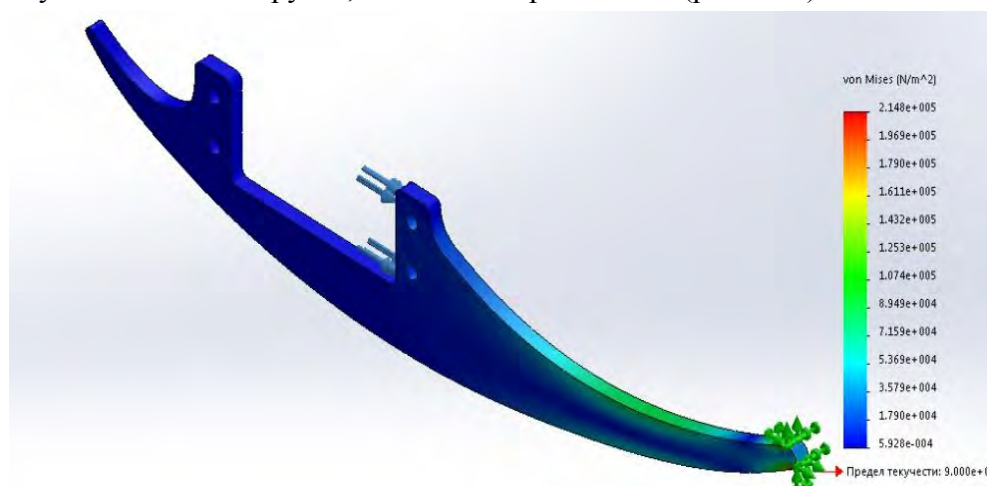


Рис. 10. Распределение интенсивности напряжений по голени, выполненной из алюминия

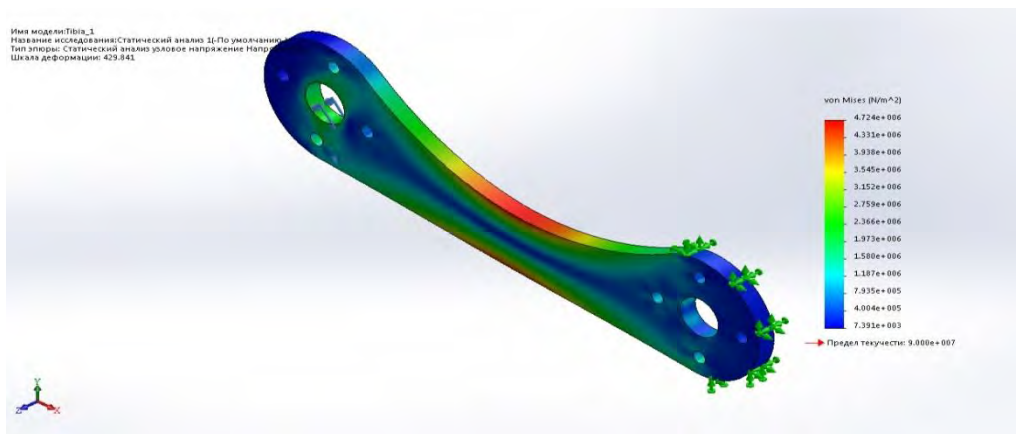


Рис. 11. Распределение напряжений по бедру робота из алюминия

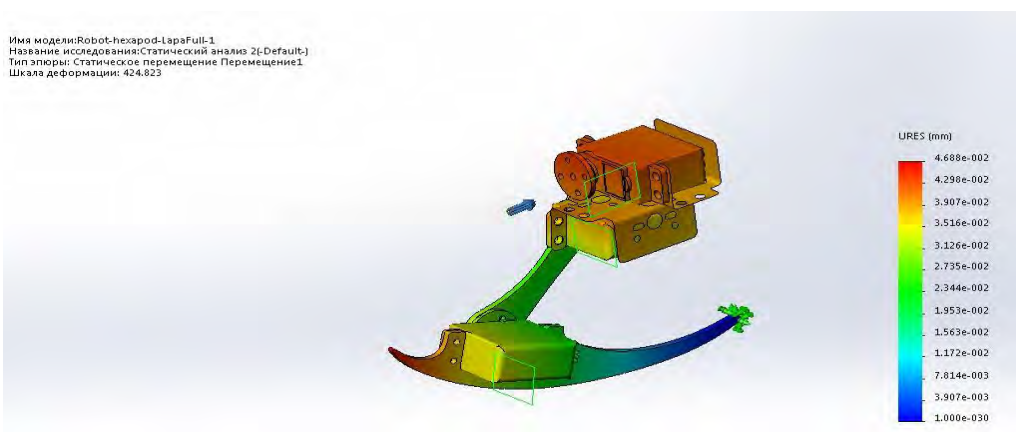


Рис. 12. Результирующие перемещения сборки ноги робота с крепёжным элементом

**Изготовление реального прототипа.** Для реального прототипа робота-гексапода было необходимо изготовить следующие детали (табл. 1).

Таблица 1 – Детали для изготовления робота-гексапода

№	Наименование детали	Количество, штук
1	Алюминиевый кронштейн для стандартного сервопривода	12
2	Бедро	6
3	Голень	6
4	Нижняя пластина	1
5	Верхняя пластина	1
6	Соединительные стойки	4

Детали под номерами 2, 3, 4, 5 необходимо было изготовить из листового алюминия толщиной 3мм на фрезерном станке. Деталь под номером 1 необходимо было изготовить из листового алюминия толщиной 2мм на фрезерном станке, а потом путем гибки придать заготовке нужную форму. Деталь под номером 6 необходимо было изготовить из цилиндрической заготовки диаметром 10мм на токарном станке. Внешний вид деталей робота-гексапода после изготовления представлен на фотографиях ниже.



Рис. 13. Изготовленная деталь 1 Алюминиевый кронштейн для стандартного сервопривода





Рис. 14. Изготовленная деталь Деталь 2 Бедро



Рис. 15. Изготовленная деталь Деталь 3 Голень

После изготовления всех необходимых деталей началась сборка робота-гексапода. На рисунке ниже показана сборка робота-гексапода с установленной электроникой.

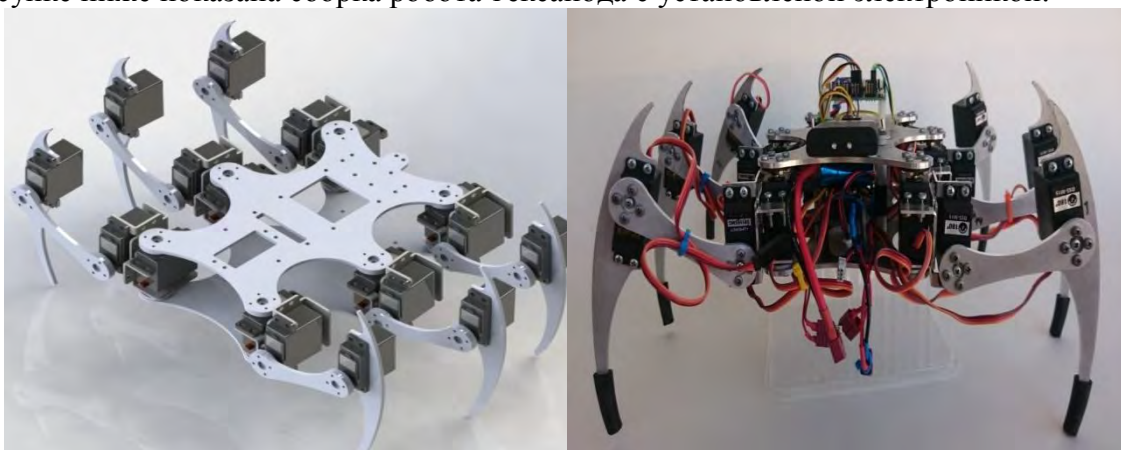


Рис. 16. 3D модель робота и сконструированный реальный прототип гексапода

После сборки происходила настройка робота-гексапода и синхронизация положения всех 18 сервоприводов. 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. Стоимость реализованного прототипа составила 450 BYN. На заключительном этапе проведены натурные испытания. В данный момент прорабатывается возможность снабдить робота датчиками и сенсорами для возможности самостоятельного передвижения без участия оператора [12,13].

**Разработка необходимого программного обеспечения (ПО).** Для передвижения робота было необходимо решать задачи кинематики для ходильных ног: определять углы поворота сервопривода, в зависимости от того, в какие точки должна быть поставлена стопа ходильной ноги. В проекте использовалось ПО для робота с открытым исходным кодом, который было разработано сообществом разработчиков роботов-гексаподов. «Исходники» программы были скачаны с электронного репозитория программ GitHub (<https://github.com/KurtE/Phoenix-Code>). Программа написана в специализированной среде разработки Arduino IDE. и реализовывала следующие возможности: дистанционное управление роботом и двухсторонняя передача данных; обеспечение передвижения робота вперед, назад, вправо, влево, вверх, вниз; изменение типов походок гексапода; имитирование различных видов поз по аналогии с насекомыми: атакующая поза, защитная поза; индивидуальное управление одной из шести ног [15,16].

\* Работа выполнялась в рамках Гранта Министерства образования Республики Беларусь для выполнения научно-исследовательских работ студентов (№ госрегистрации: 20164041 от 28.10.2016).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышев, В.В.. Методы расчета и проектирования шагающих движителей циклового типа мобильных робототехнических систем: диссертация ... д.т.н.: 05.02.05 / Чернышев Вадим Викторович; [Место защиты: С.-Петерб. политехн. ун-т].- Волгоград, 2008.- 357с.
2. Концепция проектирования, динамика и управление движением шагающих машин. Ч.2. Динамика движения шагающих машин серии «Восьминог» / Брискин Е.С., Чернышев В.В. и др. // Мехатроника, автоматизация, управление. 2005. №6. С.19-26.
3. Охоцимский Д.Е., Голубев Ю.Ф., Алексеева Л.А. Управление динамической моделью шагающего аппарата. // Препринты ИПМ АН СССР, 1974, № 2. 56с.
4. Chávez-Clemente, D. Gait Optimization for Multi-legged Walking Robots, with Application to a Lunar Hexapod. Ph.D. Thesis, Stanford University, California, CA, USA, 2011.
5. Carbone, G.; Ceccarelli, M. Legged robotic systems. In Cutting Edge Robotics; Kordic, V., Lazinica, A., Merdan, M., Eds.; InTech: Vienna, Austria, 2005; pp. 553–576.
6. Медведь В.В., Платонов А.К. Система для сравнения кинематических и динамических характеристик двух конструкций ноги шестиногого шагающего робота. // Препринты ИПМ им.М.В.Келдыша РАН, 1995, № 12.
7. Курсовая устойчивость шагающей машины «Восьминог»/ Брискин Е.С., Шурыгин В.А., Жога В.В., Чернышев В.В. и др. // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2006. №1–3, Т.4. С.56–58.
8. Самсонов В.А., Жихарев Д.Н., Лавровский Э.К., Павловский В.Е. Экспериментальное исследование перемещений насекомых по поверхности. // В сб. Бионика-1973, Тр. IV Всес. конф. по бионике, т. VI. М.: АН СССР, 1973, 35с.
9. Охоцимский Д.Е. Алгоритмы управления шагающим аппаратом, способным преодолевать препятствия //Известия АН СССР, Техническая кибернетика, 1973, №5, с.3-10.
- 10.Брискин, Е.С., Динамика шагающих машин с движителями на базе цикловых механизмов при ослабленной гравитации/ БрискинЕ.С., ЧернышевВ.В.// Проблемы машиностроения и надежности машин. РАН. 2006. №1. С.15-20.
- 11.Павловский В.Е., Панченко А.В. Модели и алгоритм управления движением малого шестиногого робота. // Мехатроника. Автоматизация. Управление. №11, 2012 г. с.23-28.
- 12.Массальский, М. И. Принцип формирования командного сигнала в схемах радиоуправляемых моделей /М.И. Массальский//Новые направления развития приборостроения: материалы 7-й Международной студенческой научно-технической конференции, 23-25 апреля 2014 г. / редкол. О. К. Гусев [и др.]. – Минск, 2014. – С. 290-292.
- 13.Массальский, М.И. Система поддержки принятия решений по принципу работы нейронных сетей / М. И. Массальский [и др.] // Форум проектов программ Союзного государства. IV форум вузов инженерно-технологического профиля: сборник материалов форума, 9-14 ноября 2015 года, [Минск] - Минск: БНТУ, 2015. – С. 46-47.
- 14.Учебное пособие: Введение в технологию Intel® Edison Книга новичка / Массальский М.И. Intel, Santa Clara, CA, USA, 2016 -140с.
- 15.Массальский, М.И. Создание многоцелевого образовательного робота для проведения исследований в области машиностроения, робототехники, мехатроники и биомеханики//М.И. Массальский, С.В. Михальков //Наука – образованию, производству, экономике: сб. материалов Четырнадцатой Междунар. научн.-техн. конф. (69-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ) в 4 т.– Минск: БНТУ, 2016. – Т. 3.– С. 427-428.
- 16.Михальков, С.Л. Конструирование многоцелевого образовательного робота для проведения исследований в области мехатроники, робототехники и биомеханики /С.Л. Михальков, М.И. Массальский, П.И. Ширвел // Новые технологии и материалы, автоматизация производства: материалы. Междунар. науч.-техн. конф., Брест, 2-3 ноября 2016 г. – Брест: БрГТУ, 2016. – С. 165-168.

E-mail: [maxxlife@mail.ru](mailto:maxxlife@mail.ru)  
[pavel.shirvel@bntu.by](mailto:pavel.shirvel@bntu.by)