

ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»
Министерство образования Пензенской области
ГАОУ ДПО «Институт регионального развития Пензенской области»
Управление образования города Пензы
МБОУ «Лицей современных технологий управления № 2» г. Пензы
МБОУ финансово-экономический лицей №29 г. Пензы

V открытый региональный конкурс исследовательских и проектных работ школьников
«Высший пилотаж - Пенза» 2023

Направление работы: Техника и инженерные науки

От бионических моделей движения к роботизированным платформам

Автор: Горбачев Илья Александрович, 10 класс

Научный руководитель: Лемина Ирина Валентиновна

Место выполнения работы: г. Пенза

2023

Содержание

Введение.....	3
1. Биомеханика и робототехника	4
1.1. Механика движения в природе	4
1.2. Основные типы платформ в робототехнике	6
2. Сравнительный анализ шагающих платформ и разработка роботизированной платформы-антропода.....	7
2.1. Сравнительный анализ шагающих роботизированных платформ	7
2.2. Кинематика движения робота-антропода и создание управляемой модели.....	8
Заключение.....	10
Список использованных источников:	10
Приложение 1.....	12
Приложение 2.....	13
Приложение 3.....	14
Приложение 4.....	16

Введение

Многие животные отлично адаптированы к среде обитания. Изучение строения животных и бактерий становится той областью, в которой создатели роботов черпают новые идеи. Один из наиболее впечатляющих разделов робототехники — создание анималистических роботов и андроидов. Многие устройства, включая предназначенные для выполнения узкоспециализированных задач, сохраняют сходство с человеком и имеют антропоморфные черты.

Основное преимущество бионического подхода состоит в заимствовании у природы готовых к использованию схем и идей, хотя бионика имеет определенные ограничения.

Проблема: Назначение роботов — воспроизводить двигательные функции биологических систем, в особенности верхних и нижних конечностей человека, при выполнении тех или иных движений. Существуют два пути: либо такое устройство управляется человеком, копируя движения оператора, либо движения строятся с помощью специальных автоматов. Для этого роботизированная платформа должна быть способна воспроизводить целый обширный класс различных движений и иметь большое число степеней подвижности исполнительных органов. Эти две особенности вызывают на практике большинство связанных с ней научных проблем. Самая общая проблема — разработка методов анализа и синтеза исполнительных органов роботов.

Актуальность исследования: В современном мире используется большое количество различных роботизированных платформ в самых разных целях, однако большинство из них традиционно являются колёсными или гусеничными, что обусловлено простотой управления. Это значит, что все они имеют схожие недостатки. В тоже время, природа в ходе эволюции разработала совершенные системы передвижения, изучив которые возможно улучшить характеристики создаваемых платформ и выбрать наиболее эффективные модели для выполнения конкретных задач.

Цель работы: рассмотреть механизмы движения различных бионических моделей, выявить их ограничения и преимущества. Разработать роботизированную «платформу-конечность» антропода и рассчитать кинематику ее движения.

Задачи исследования:

1. Рассмотреть механизмы движения бионических моделей гексапода, квадропода и антропода.
2. Выявить их ограничения и преимущества для различных областей применения.
3. Определить самую эффективную модель для замены человека в экстремальных условиях.
4. Рассчитать кинематику движения роботизированной платформы антропода.
5. Построить роботизированную платформу-конечность антропода.

Объект исследования: движение конечностей живых организмов и их роботизированных аналогов.

Предмет исследования: кинематика движения двуногой роботизированной платформы.

Методы исследования: теоретические – анализ, сравнение, обобщение, моделирование; эмпирические: анализ литературы, наблюдение, тестирование образца.

Мы рассмотрим способы передвижения животных и их аналогов – роботизированных платформ, имитирующих природную механику движения, и исследуем кинематику движения двуногого шагающего робота.

Проект учебно-исследовательский, краткосрочный (октябрь – декабрь 2022). Программа реализации и смета расходов представлены в приложении 2.

1. Биомеханика и робототехника

1.1. Механика движения в природе

Биомеханика — раздел естественных наук, изучающий движения животных организмов. Она обслуживает такие области действия как бионика, инженерная и медицинская биомеханика.

Конечности млекопитающих формировались сходными образами, т. к. они имеют общих предков. Их строение напоминает пружину, несколько сочленений в суставах обеспечивают достаточную упругость конструкции необходимую для гашения ударного воздействия при движении.

Механика движения для антропода заключается в использовании стопы как рычага для первоначального толчка в голеностопном суставе, с последующим продолжением данного движения. Нога прямоходящего млекопитающего (см. рис. 1) имеет достаточную опору, благодаря выраженной стопе. Короткая стопа сокращает суммарную площадь опоры и делает тело менее устойчивым. Длинная стопа обеспечивает опору в статическом состоянии и хороший рычаг для придания первоначального импульса движения. При этом она ограничивает возможности маневра, и накладывает ограничения на стиль движения - это прыжки (кенгуру) (см. рис. 2 и 3).

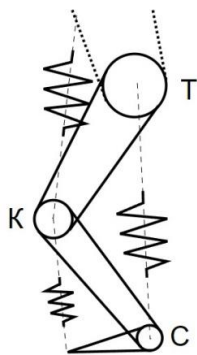


Рис. 1 Нога прямоходящего млекопитающего

Разнонаправленное распрямление суставов прямоходящего млекопитающего обеспечивает возможность удерживать центр тяжести над площадью опоры, но накладывает ограничение на скорость перемещения.

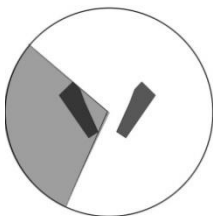


рис. 2 Мертвая зона для перемещения ноги с короткой стопой



Рис.3 Мертвая зона для перемещения ноги с длинной стопой

Алгоритм движения при ходьбе: перенос веса на опорную ногу → подъем переносимой ноги → перемещение ноги в направлении движения → постановка ноги на грунт → перенос массы на обе ноги → смена ролей ног и возврат к пункту 1.

У четырёхногих млекопитающих различное строение конечностей.

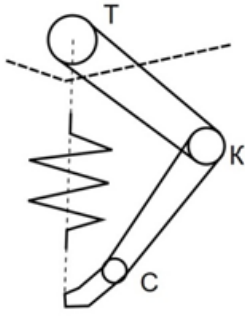


Рис.4 Передняя нога
четырёхногого
млекопитающего

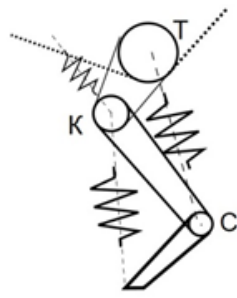


Рис.5 Задняя нога четырёхногого
млекопитающего



Рис.6 Мертвая зона шага
четырёхногого млекопитающего

Передняя нога (рис. 4) имеет малую площадь опоры. Одинаковое направление распрямления суставов передних ног позволяет развивать большие скорости. Задние ноги (рис.5) опираются на пальцы, и имеют более длинную стопу. Свобода перемещения ноги при единичном шаге меньше, а значит нужно больше шагов для разворота (см. рис.6).

Движение осуществляется попарным шагом диагонально расположенных конечностей: опорные конечности распрямляются, конечности подбираются под корпус и переносятся вперед → при прохождении точки равновесия передняя переносимая конечность немного ускоряется и она принимает на себя вес, после чего задняя переносимая конечность также касается поверхности → смена ролей пар конечностей → Переходим к пункту 1.

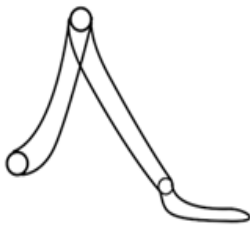


Рис. 7 Нога насекомого

Гексоподы - насекомые. Лапы расположены по три симметрично относительно строительной оси, в вертикальной плоскости. Строение лап отчасти напоминает строение ноги млекопитающего (рис. 7).

Выделяют несколько основных схем движения не связанных с полётом.



Рис. 8 Свобода перемещения
ног водомерки

1. Паукоподобное строение лап (водомерки) (рис. 8) предполагает распределение малого веса насекомого на большую площадь опоры за счет длины ног, многократно превышающей размеры тела насекомого. Это позволяет перемещаться по воде, используя силу поверхностного натяжения жидкости. Мускулатура слабая. В каждый момент времени перемещается одна лапа — остальные стоят на поверхности. Нагрузка распределяется равномерно на все лапы. Эти насекомые обладают большой скоростью и маневренностью, но только на абсолютно ровной поверхности.

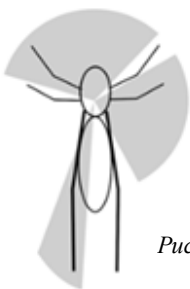


Рис.9 Свобода перемещения
ног кузнечика

2. Кузнечики (и иные прыгающие насекомые). Задние конечности имеют большие относительно туловища размеры и мощную мускулатуру, что позволяет совершать прыжок, превышающий собственные размеры. Для мягкого приземления используются крылья. Прыжковые лапы являются самым прочным элементом из конструкции, что обусловлено огромными



Рис. 10 Свобода перемещения ног жука

усилиями для прыжка. Разворот задних лап для них тяжелая задача.

3. Жуки и др. имеют равномерно развитые и достаточно подвижные ноги, которые крепятся к грудному отделу. Задние ноги чуть более развиты, для поддержания веса брюшка. При движении в каждый момент времени на поверхности стоит не менее 3-х ног. Как правило, за один раз перемещается 1 пара ног (рис. 10). Ноги свободно перемещаются как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости, позволяя преодолевать препятствия сопоставимые с собственным ростом. Легко меняет направление движения.

Таким образом, из анализа способов перемещения насекомых мы видим, что наиболее проходимой является жукоподобная конструкция. Кузнечнику требуется система приземления (крылья). А водомерка слишком хрупкая и не может работать на пересеченной местности.

1.2. Основные типы платформ в робототехнике

Природные схемы движения существовали на Земле задолго до появления человека и показали свою эффективность за миллионы лет эволюции.

Прикладная наука о применении в технических устройствах и системах принципов организации, свойств, функций и структур живой природы – это бионика. Одно из важнейших направлений в ней - поиск оптимальных схем движения[8].

Рассмотрим подробнее два наиболее распространенных вида роботов:

Первая группа - колесные и гусеничные роботы. Использование колеса позволяет достигать хороших скоростных показателей и легко менять траекторию движения на ровных поверхностях. Недосток - сложность преодоления препятствий с резким перепадом высоты, пробуксовка или провал колеса при перепаде высот. Гусеничные конструкции тяжелее меняют траекторию, но могут поворачиваться на месте и при небольшом перепаде высот не проваливаются. Если перепад высот резкий и высота преграды превышает треть диаметра колеса, то преодолеть преграду будет сложно[5].

Вторая группа - шагающие роботы. Конструкция и алгоритм ходьбы строится на основе материалов наблюдений за живым существом. Шагающий механизм оставляет при движении прерывный след. Основная его задача – передвижение по поверхностям со сложным рельефом, т.е он приспосабливается к изменениям внутренних и внешних условий[1].

Хотя колесные роботы в настоящее время преобладают, известно, что шагающие машины лучше приспособлены для преодоления препятствий и движения по неровному покрытию. Шагающий аппарат использует для опоры лишь некоторые точки на поверхности в отличие от колесных и гусеничных машин, имеющих непрерывную колею[6]. Кроме того, он существенно меньше повреждает почвенный покров, что может оказаться важным для некоторых районов. Однако преимущества шагающего аппарата определяют его высокую сложность, ведь он требует сложной компоновки, разработки высокоэффективных приводов, специальной организации стоп, рассеивающих энергию удара и т.д.

2. Сравнительный анализ шагающих платформ и разработка роботизированной платформы-антропода

2.1. Сравнительный анализ шагающих роботизированных платформ

Анализ по схеме движения

Наиболее устойчивыми по схеме движения будут платформы гексоподы, т.к. они обладают достаточным количеством точек опоры, без особого ущерба, как для скорости движения, так и для маневренности. Квадроподы также могут использовать схему с постоянным контактом 3-мя конечностями, но это сильно замедлит движение. Для них и антроподов, применяются схемы движения с динамической устойчивостью [9]. Для режима бега этих платформ всегда учитывают инерцию, где отсутствует необходимость бокового смещения центра тяжести при опоре на правую или левую ногу [3].

Анализ скорости

Скорость платформ-антроподов сильно ограничена алгоритмом обеспечения динамической устойчивости, т.к. потеря стабильности, может привести к падению платформы.

Платформы-гексаподы устойчивы, но их скорость ограничена небольшими шагами. Это обусловлено строением конструкции и плотным расположением конечностей относительно друг друга, что хорошо видно из анализа мертвых зон перемещения конечностей. Такая конструкция позволяет быстро менять направление движения, но снижает полезное действие разгибания конечности.

Самую большую скорость развивают квадроподы. Их строение позволяет наиболее устойчиво двигаться в выбранном направлении с большой скоростью, т.к. направление усилия разгибания конечности у них максимально приближенно к нормальному направлению движения.

Анализ маневренности

Антроподу для поворота требуется провести больше действий, связанных с обеспечением собственной устойчивости [10], чем квадроподу и гексоподу. Квадроподу для маневра необходимо совершить меньше действий. Лучшую маневренность показывают гексаподы, т.к. они могут свободно двигаться в любом направлении. Но в местах адаптированных людьми «под себя» выигрывают антроподы, при условии разработки адекватного алгоритма движения [2].

Анализ проходимости

Классические платформы имеют сравнительно небольшую проходимость и уступают по этому параметру всем природным платформам.

Антроподы могут преодолевать объекты, не превышающие по высоте их «коленный сустав».

Проходимость квадропода зависит от угла поворота всей конечности. Они могут подниматься на объекты, не превышающие по высоте их корпус.

Самую большую проходимость имеют гексаподы. При определённом виде конструкции они могут подниматься на объекты, превосходящие роботов по размеру.

Анализ допустимой пересечённости местности

Для антропода пересечённость местности должна быть минимальной. Препятствия не должны превышать по высоте его «колени», а по длине не больше его конечности. Квадроподы не требуют очень ровных поверхностей, однако в рельефе не должно быть барьеров выше корпуса платформы. Гексапод передвигается почти по любым поверхностям. При наличии гибкой конструкции робот преодолевать препятствия, превосходящие его корпус по длине и высоте.

Анализ стоимости изготовления

Самой дорогой в производстве платформой будет антропод, т.к. для её создания требуется больше всего моторов на одну конечность, а также система стабилизации состоящая из дополнительных приводов и гироскопических датчиков. Далее идет гексапод, его цена будет зависеть от количества сервоприводов в одной конечности. Самым дешёвым в производстве будет квадропад. Итоговые результаты анализа шагающих платформ представлены в таблицах (приложение 2).

Таким образом, проведя анализ, мы не можем выделить лучшую платформу, т.к. требуемые параметры платформ будут диктоваться целевой средой применения. В природных системах наиболее устойчивой является шестиногая модель, наиболее быстрой – четырехногая, а наиболее маневренной – двухногая модель. Антропод, имея ряд недостатков, является востребованным из-за схожести с человеком, что позволяет ему функционировать в среде, приспособленной для людей[4].

Сложность расчетов устойчивости робота при движении будет напрямую зависеть от числа конечностей. Интуитивно понятно, что большее число конечностей дает более устойчивую схему движения. Найдем закон, описывающий устойчивое положение робота, исходя из взаимного расположения конечностей и центра массы робота.

2.2. Кинематика движения робота-антропода и создание управляемой модели

Кинематика робота – это аналитическая функция времени, описывающая относительное движение робота в выбранной системе координат. Физическая модель робота преобразуется в математическую модель в заданной системе координат. Движение робота в пространстве – функция от времени. Она определяется относительным положением звеньев робота и углами между ними независимо от сил и моментов, возникающих в результате этих движений. Звенья робота – это непрерывная часть, расположенная между двумя суставами[7]. Для упрощения расчетов, все звенья робота, расположенные выше тазобедренных суставов будем считать единым звеном.

Для расчета алгоритма движения робота, мы связываем его тело с системой координат, как правило, с центром массы робота, либо с модулем гироскопов и акселерометров, а направление движения вперед, принимается за ось X.

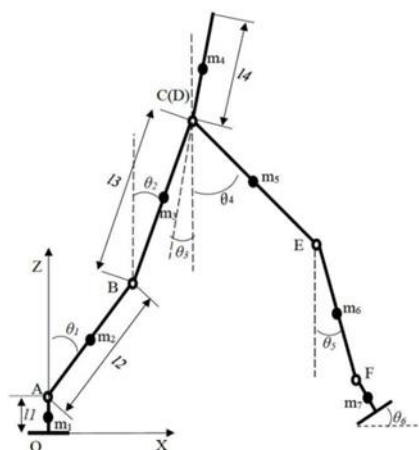


Рис. 11 Модель робота из 7 звеньев

Можно получить выражения для координат каждого звена, используя геометрические характеристики звеньев и обобщенную координату θ , т.е. угол между осью звена и вертикалью. Этот метод моделирования не только интуитивно понятен, но и значительно сокращает объем расчетов. В результате для планирования походки в этой модели, через обобщенные углы θ каждого сустава как функции времени t , можно получить углы поворота звеньев в каждом суставе. Для моделирования прямой кинематики двуногого робота упрощаем модель до семи звеньев. Движение рук мы не рассматриваем.

Введем глобальную систему координат OXYZ. Начало системы координат находится в центре опорных стоп робота в начале его движения, направление оси Z противоположно направлению силы тяжести, а ось X перпендикулярна оси Z, лежит в плоскости симметрии робота и направлена в сторону его движения вперед.

Значения координат каждого сустава в декартовой системе координат:

$$\begin{cases} X_F = X_l = 0 \\ Z_F = Z_l - l_1 \\ X_A = X_A + l_2 \sin \theta_1 \\ Z_b = Z_A + l_2 \cos \theta_1 \\ X_C = X_D = X_h = X_A + l_2 \sin \theta_1 + l_3 \sin \theta_2 \\ Z_C = Z_D = Z_h = Z_A + l_2 \cos \theta_1 + l_3 \cos \theta_2 \\ X_E = X_A + l_2 \sin \theta_1 + l_3 \sin \theta_2 + l_3 \sin \theta_4 \\ Z_e = Z_A + l_2 \cos \theta_1 + l_3 \cos \theta_2 - l_3 \cos \theta_4 \\ X_F = X_r = X_A + l_2 \sin \theta_1 + l_3 \sin \theta_2 + l_3 \sin \theta_4 + l_2 \sin \theta_5 \\ Z_f = Z_r = Z_A + l_2 \cos \theta_1 + l_3 \cos \theta_2 - l_3 \cos \theta_4 - l_2 \cos \theta_5 \end{cases}$$

Координаты центра масс каждого звена:

$$\begin{cases} x_{c1} = 0 \\ z_{c1} = l_1/2 \\ x_{c2} = d_1 \sin \theta_1 \\ z_{c2} = l_1 + d_1 \cos \theta_1 \\ x_{c3} = l_2 \sin \theta_1 + d_2 \sin \theta_2 \\ z_{c3} = l_1 + l_2 \cos \theta_1 + d_2 \cos \theta_2 \\ x_{c4} = l_2 \sin \theta_1 + l_3 \sin \theta_2 + d_3 \sin \theta_3 \\ z_{c4} = l_1 + l_2 \cos \theta_1 + l_3 \cos \theta_2 + d_3 \cos \theta_3 \\ x_{c5} = l_2 \sin \theta_1 + l_3 \sin \theta_2 + d_2 \sin \theta_4 \\ z_{c5} = l_1 + l_2 \cos \theta_1 + l_3 \cos \theta_2 - d_2 \cos \theta_4 \\ x_{c6} = l_2 \sin \theta_1 + l_3 \sin \theta_2 + l_3 \sin \theta_4 - d_1 \sin \theta_5 \\ z_{c6} = l_1 + l_2 \cos \theta_1 + l_3 \cos \theta_2 - l_3 \cos \theta_4 - d_1 \cos \theta_5 \\ x_{c7} = l_2 \sin \theta_1 + l_3 \sin \theta_2 + l_3 \sin \theta_4 - l_2 \sin \theta_5 - l_1 \sin \theta_6/2 \\ z_{c7} = l_1 + l_2 \cos \theta_1 + l_3 \cos \theta_2 - l_3 \cos \theta_4 - l_2 \cos \theta_5 - l_1 \cos \theta_6/2 \end{cases}$$

Координаты центра масс двуногого робота:

$$\begin{cases} c g_x = \frac{m_1 x_{c1} + m_2 x_{c2} + m_3 x_{c3} + m_4 x_{c4} + m_5 x_{c5} + m_6 x_{c6} + m_7 x_{c7}}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7} \\ c g_z = \frac{m_1 z_{c1} + m_2 z_{c2} + m_3 z_{c3} + m_4 z_{c4} + m_5 z_{c5} + m_6 z_{c6} + m_7 z_{c7}}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7} \end{cases}$$

где m_i масса каждого из звеньев, а x и z координаты его центра масс.

Цель решения задачи прямой кинематики состоит в описании положения тазобедренных и голеностопных суставов в системе координат через геометрические размеры звеньев l_i ($i=1,2,3,4$) и обобщенные координаты θ_i ($i=1,2,\dots,6$) каждого звена. Модель робота и расчеты приведены в приложении 4.

Таким образом, мы вывели базовые зависимости, отвечающие за устойчивость шагающих роботизированных платформ, и привели формулы, которые позволяют производить динамическое планирование перемещения робота с сохранением устойчивости, исходя из индивидуальных параметров платформы, таких как масса составных звеньев робота и длины этих звеньев.

Программу управления движением создали в приложении Arduino IDE (приложение 3), а конструирование ноги антропода мы проводили на платформе Arduino Uno (приложение 4).

Заключение

Мы рассмотрели три бионические модели движения, каждая из которых имеет свою специфику и оптимальный диапазон работ. Так, бионическая модель движения гексапод подходит для работы при сильном ветре, когда центр тяжести нельзя выносить высоко, хорошо перемещается при пересеченном рельефе и болотистой местности, а также по наклонной поверхности. Квадроподы быстро и устойчиво перемещаются на открытых пространствах. Антроподы могут имитировать движения человека и заменять его работу в экстремальных условиях в среде, адаптированной под человека. Однако у каждой исследуемой модели имеются свои ограничения.

В данной работе была разработана упрощенная многозвенная модель двуногого антропоморфного робота, предназначенная для решения задач прямой кинематики с использованием обобщенных координат. Мы вывели базовые зависимости, отвечающие за устойчивость шагающих роботизированных платформ. В приложении 4 приведены формулы, позволяющие производить динамическое планирование перемещения робота с сохранением устойчивости, исходя из индивидуальных параметров платформы, таких как масса составных звеньев робота и длины этих звеньев.

Далее, мы разработали роботизированную платформу на основе бионической конечности антропода. Подобные платформы можно использовать в различных направлениях – от создания сверхсильных и выносливых антропоидных роботов до разработки бионических имплантов (например, имплант - нога).

Двуногие шагающие роботизированные платформы могут применяться в различных ситуациях: использование в работах, применяемых для замены человека в труднодоступных местах и опасных условиях; в экзоскелетах, используемых для помощи людям, утратившим функции самостоятельной ходьбы; в экзоскелетах, используемых в экстремальных условиях для увеличения физических возможностей человека; в развлекательных аттракционах.

Для расширения сферы их применения, нужно добиться стабильной ходьбы по наклонным и подвижным поверхностям, поэтому совершенствование подобных платформ неизбежно для улучшения характеристик.

В дальнейшем мы продолжим исследования двуногих роботизированных платформ и изучим алгоритмы с заранее сконфигурированными параметрами и адаптивные алгоритмы.

Список использованных источников:

1. Афанасьев О.А., Гендель В.С., Зимин А.В. Шагающие машины Теория Механизмов и Машин. - 2005. - №1. - Том 3 – 263с.
2. Ван Ц., Деваев В. М. Метод управления ходьбой малого антропоморфного робота по подвижной поверхности. // «Вестник КНИТУ-КАИ». 2020г. - № 3.
3. Ковальчук А. К., Кулаков Д. Б., Семёнов С. Е. Управление движением двуногого шагающего робота по программной траектории //Машиностроение и компьютерные технологии. – 2011. – №. 5.
4. Лазарев М. С., Львов А. Ю., Фадеев А. Ю. Перспективы применения антропоморфных роботов в образовательном процессе//XVIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых исследователей образования. – 2019. – 465с.
5. Макаров И. М., Топчеев Ю. И. Робототехника: История и перспективы. — М.: Наука; Изд-во МАИ, 2003. — 349 с.

6. Охоцимский Д. Е., Платонов А. Н. Алгоритмы управления шагающим аппаратом, способным преодолевать препятствия //Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1973. – №. 5. – 184с.
7. Павлюк Н. А., Ронжин А. Л. Конструктивные решения нижних конечностей для антропоморфного робота Антарес //Экстремальная робототехника. – 2016. –Т. 1. – №. 1. – С. 422-427.
8. Спиркин, А. Н. Бионические методы управления роботизированным механизмом / А. Н. Спиркин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 4 (34). – С. 84–91.
9. Формальский А. М. и др. Управление двуногими роботами. – Российский фонд фундаментальных исследований, 1996. – №. 96-01-01443.
10. Формальский А. М. Перемещение антропоморфных механизмов. –Formalskii Alexander, 1982 - с.149.

Таблица 1

Программа реализации проекта

№ №	Наименование этапа	Сроки реализации
1 этап - подготовительный		
1.	Определение цели, задач проекта и реализации проекта	Октябрь 2022
2.	Изучение тематической литературы по механике движения в природе	Октябрь 2022
3.	Обзор существующих типов платформ в робототехнике	Октябрь 2022
4.	Разработка плана практической реализации проекта	Октябрь 2022
5.	Составление сметы расходов на реализацию проекта	Октябрь 2022
6.	Приобретение материалов для изготовления роботизированной конечности антропода	Октябрь 2022
2 этап - основной		
7.	Сравнительный анализ шагающих роботизированных платформ	Ноябрь 2022
8.	Расчет кинематики движения робота-антропода	Ноябрь 2022
9.	Создание роботизированной платформы конечности антропода и программу управления движением	Ноябрь 2022
3 этап - заключительный		
10.	Оформление презентации проекта	Декабрь 2022
11.	Представление опыта работы на НПК школьников на уровне образовательного учреждения.	Декабрь 2022

Таблица 2

Смета расходов

№№	Статья расходов	Количество	Цена (руб.)	Сумма (руб.)
1.	Макетная плата с проводами	1 комплект	159,79	159,79
2.	Джойстик двухосевой	2 шт.	49.48	98.96
3.	Скользкий потенциометр 10КОм	1 шт.	70.57	70.57
4.	Микроконтроллер Arduino Nano	1 шт.	327.30	327.30
5.	Сервопривод MG90s	5 шт.	166.28	831.4
	Итого			1532.99

Сравнительный анализ шагающих роботизированных платформ

Таблица 3

Сравнение шагающих робоплатформ между собой

	схема	скорость	маневренность	проходимость	Пересечённость местности	цена
Антропод	3	2	3	3	3	3
Квадропод	2	1	2	2	2	1
Гексопод	1	3	1	1	1	2

Таблица 4

Сравнение шагающих роботов с традиционными (колесными и гусеничными)

В сравнении с традиционными платформами	схема	скорость	маневренность	проходимость	Пересечённость местности	строение	цена
Антропод	-	-	+	+ -	+ -	-	-
Квадропод	+	+	+	+	+	+ -	+ -
Гексопод	+	-	+	+	+	-	+ -

Программа управления робоногой в приложении Arduino IDE

```

#include <Servo.h>

/** \сдфыы */
class Feet {
public:
    enum FeetPosition { LeftFeet, RightFeet };

    /** \brief Конструктор класса ноги
     * \param pos позиция ноги (правая/левая)
     * \param hip_step номер вывода ШИМ шага в бедре
     * \param hip_deviation номер вывода ШИМ бокового отклонения бедра
     * \param hip_turn номер вывода ШИМ поворота бедра (право-лево)
     * \param knee номер вывода ШИМ шага в колене
     * \param foot_step номер вывода ШИМ продольного отклонения стопы
     (носок-пятка)
     * \param foot_roll номер вывода ШИМ поперечного крена стопы */
    Feet(FeetPosition pos, int hip_step, int hip_deviation, int
hip_turn, int knee, int foot_step, int foot_roll);

    /** \brief Задать поворот бедра
     * \param degr поворот бедра (считается от нормального положения
наружу относительно корпуса) */
    void hip_turn(int degr);

    /** \brief Текущий разворот бедра */
    int hip_turn();

    /** \brief Задать отклонение бедра наружу / вовнутрь
     * \param degr угол отклонения бедра - положительный угол
соответствует отклонению наружу */
    void hip_deviation(int degr);

    /** \brief Текущий угол отклонения бедра */
    int hip_deviation();

    /** \brief Задать угол шага в бедре
     * \param degr угол шага в градусах - подъем бедра соответствует
положительному значению */
    void hip_step(int degr);

    /** \brief текущий угол подема бедра */
    int hip_step();

    /** \brief Задать угол шага в колене
     * \param degr угол шага в градусах - сгибание колена соответствует
положительному значению */
    void knee_step(int degr);

    /** \brief Текущий угол шага в колене */
    int knee_step();

    /** \brief Задать угол шага стопы
     * \param degr угол шага стопы в градусах, положительные значения
соответствуют вытянутому носку, отрицательные - носок задран вверх*/
    void foot_step(int degr);

    /** \brief Текущий угол шага стопы */
    int foot_step();

    /** \brief Задать угол крена стопы */
    void foot_roll(int degr);
    int foot_roll();

private:
    Servo servo_hip_step;
    Servo servo_hip_deviation;
    Servo servo_hip_turn;
    Servo servo_knee;
    Servo servo_foot_step;
    Servo servo_foot_roll;
    FeetPosition position;
};

class Control {
public:
    Control(int hip_step, int hip_deviation, int hip_turn, int knee,
int foot_step, int foot_roll);
    void setFeetPosition();
private:
    int m_hip_step;
    int m_hip_deviation;
    int m_hip_turn;
    int m_knee;
    int m_foot_step;
    int m_foot_roll;
};

Feet* left_feet = NULL;
Control* ctrl = NULL;

Feet::Feet(FeetPosition pos, int hip_step, int hip_deviation, int
hip_turn, int knee, int foot_step, int foot_roll) {
    position = pos;
    // Задаем соединения с сервоприводами ноги
    servo_hip_step.attach(hip_step, map(-30, -90, 90, 544, 2400),
map(120, -90, 90, 544, 2400));
    servo_hip_deviation.attach(hip_deviation, map(-30, -90, 90, 544,
2400), map(90, -90, 90, 544, 2400));
    servo_hip_turn.attach(hip_turn, map(-30, -90, 90, 544, 2400), map(90,
-90, 90, 544, 2400));
    servo_knee.attach(knee, 544, map(120, -90, 90, 544, 2400));
    servo_foot_step.attach(foot_step, map(-30, -90, 90, 544, 2400),
map(60, -90, 90, 544, 2400));
    servo_foot_roll.attach(foot_roll, map(-30, -90, 90, 544, 2400),
map(30, -90, 90, 544, 2400));
    // Выпрямляем ногу в нормальное состояние
    this->hip_turn(0);
    this->hip_deviation(0);
    this->hip_step(0);
    this->knee_step(0);
    this->foot_step(0);
    this->foot_roll(0);
}

void Feet::hip_turn(int degr) {
    servo_hip_turn.write(degr + 90);
}

int Feet::hip_turn() {
    return servo_hip_turn.read() - 90;
}

void Feet::hip_deviation(int degr) {
    servo_hip_deviation.write(degr + 90);
}

int Feet::hip_deviation() {
    return servo_hip_deviation.read() - 90;
}

void Feet::hip_step(int degr) {
    servo_hip_step.write(degr + 90);
}

int Feet::hip_step() {
    return servo_hip_step.read() - 90;
}

void Feet::knee_step(int degr) {
    servo_knee.write(degr);
}

int Feet::knee_step() {
    servo_knee.read();
}

void Feet::foot_step(int degr) {
    servo_foot_step.write(degr + 90);
}

```

```

int Feet::foot_step() {
    return servo_foot_step.read() - 90;
}

void Feet::foot_roll(int degr) {
    servo_foot_roll.write(degr + 84);
    Serial.print(" FootRoll:");
    Serial.print(degr + 84);
}

int Feet::foot_roll() {
    return servo_foot_roll.read() - 84;
}

Control::Control(int hip_step, int hip_deviation, int hip_turn, int
knee, int foot_step, int foot_roll) {
    m_hip_deviation = hip_deviation;
    m_hip_step = hip_step;
    m_hip_turn = hip_turn;
    m_knee = knee;
    m_foot_step = foot_step;
    m_foot_roll = foot_roll;
}

void Control::setFeetPosition() {
    left_feet->hip_deviation(map(analogRead(m_hip_deviation), 0, 1023,
-30, 90));
    left_feet->hip_turn(map(analogRead(m_hip_turn), 0, 1023, -30, 90));
    left_feet->hip_step(map(analogRead(m_hip_step), 0, 1023, -30, 120));
    left_feet->knee_step(map(analogRead(m_knee), 0, 1023, 0, 90));
    left_feet->foot_step(map(analogRead(m_foot_step), 0, 1023, -30, 90));
    left_feet->foot_roll(map(analogRead(m_foot_roll), 0, 1023, -30, 30));
}

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial);

    left_feet = new Feet(Feet::LeftFeet, 2, 3, 4, 5, 6, 7);

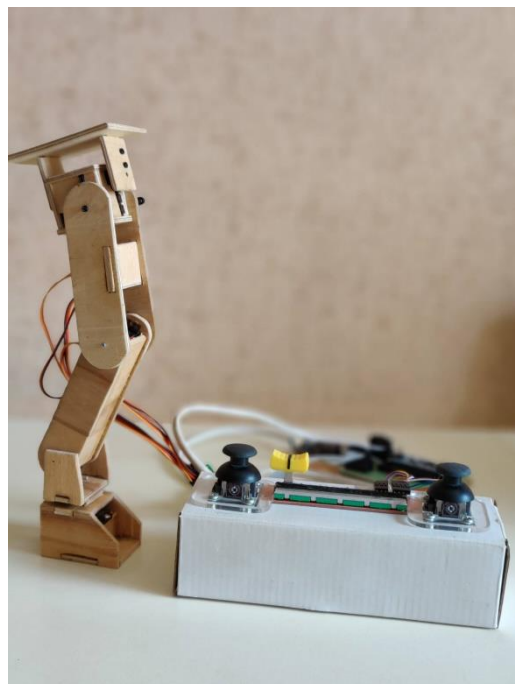
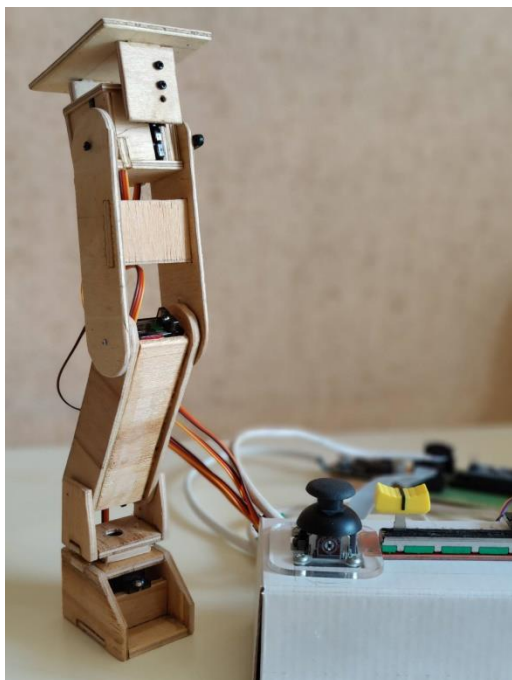
    //Control(int hip_step, int hip_deviation, int hip_turn, int knee,
int foot_step, int foot_roll);
    ctrl = new Control(A0, A1, A2, A3, A4, A5);

    // Даем время развернуться всем приводам
    delay(1000);
}

void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
    delay(150);
    ctrl->setFeetPosition();
    Serial.println();
}

```

Роботизированная конечность антропода



РЕЦЕНЗИЯ

На статью И.А. Горбачева

«От бионических моделей движения к роботизированным платформам»

Класс статьи: оригинальное научное исследование

Актуальность:

Настоящая работа посвящена актуальным вопросам исследования движения различных роботизированных платформ, используемых в самых разных целях. Большинство из них традиционно являются колёсными или гусеничными, что обусловлено простотой управления. Это значит, что все они имеют схожие недостатки. В тоже время, исследовав механику движения живых организмов, можно увидеть разработанные в ходе эволюции природой совершенные системы передвижения, изучив которые возможно улучшить характеристики создаваемых роботизированных платформ.

Оценка достоверности предоставленных результатов:

Автор выявляет основные возможности роботизированных платформ, подробно рассмотрена механика движения в природе различных групп живых организмов. Достоверность полученных результатов обусловлена творческим подходом автора, его основательной методологической базой, непротиворечивыми выводами по теме исследования.

Практическая значимость:

Результаты проведенного исследования могут быть использованы в дополнительном школьном курсе робототехники, при изучении соответствующих разделов физики и биологии, для более детального понимания механики передвижения животных и их аналогов – роботизированных платформ, имитирующих природную механику движения. Исследование кинематики движения двуногого шагающего робота – шаг к совершенствованию подобных моделей в роботостроении.

Формальная характеристика статьи:

Статья построена традиционно, включает актуальность с формулировкой цели исследования, раздел описания полученных результатов информативен, содержит ссылки на информацию в современной научной литературе. Стиль изложения последовательный, не требует правки, сокращения.

Общее заключение:

Статья актуальна, обладает научной и практической новизной, рекомендуется для печати.

Рецензент: научный руководитель Лёмина Ирина Валентиновна, учитель математики высшей категории

Дата 09.01.2023

Лёмина И.В. , ИВ