

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИКИ ПОЛЗАНИЯ ЗМЕЙ

*Ермакова З.С. - магистрант, Костанайский Государственный Университет имени А. Байтұрсынова, г. Костанай.*

*Иванова И.В. – кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры программного обеспечения, Костанайский Государственный Университет имени А.Байтұрсынова, г.Костанай.*

*В данной статье освещаются вопросы о механике скольжения, как о способе передвижения рептилий. Также приведены данные исследований, основанных на экспериментальных опытах ученых. Цель статьи, рассмотреть возможность применения скользкого способа передвижения змеи, и дальнейшего его использования в робототехнике. В статье рассмотрены работы, как ведущих ученых, так и молодых специалистов, которые специализируются в данной области. В течение многих лет, велись различные наблюдения, исследования, в результате которых, ученые, собрав всю информацию о механике ползания змей, смогли создать компьютерную модель змеи. По исследованию механики ползания змей можно выделить работы А.И. Добролюбова, Ф.Л. Черноусько, В.Ф.Журавлева. В дальнейшем сведения, полученные исследователями, можно использовать при разработке совершенно новых роботов, обладающих способностью скользкого передвижения. Змея, благодаря своей способности перемещаться по сыпучим грунтам и барханам, не соскальзывая и не увязая, станет незаменимым помощником в области планетарных исследований, а также появится возможность пользования в качестве вездехода-разведчика в пустынных условиях. Подобные механизмы принесут большую пользу человечеству в области медицины, аварийных ситуациях, промышленности, образовании, исследовании космических планет и так далее.*

*Ключевые слова: механика скольжения; способы передвижения змеи; робототехника; компьютерная модель змеи; создание роботов.*

## ЖЫЛАННЫҢ ЖЫЛЖУ МЕХАНИКАСЫН ЗЕРТТЕУ

*Ермакова З.С. -, А.Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университетінің магистранты, Қостанай қаласы.*

*Иванова И.В. – педагогикалық ғылымдарының кандидаты, бағдарламалық қымтамасыз ету кафедрасының аға оқытушысы, А. Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті, Қостанай қаласы.*

*Бұл мақалада бірігу механикасы жөніндегі сұрақтар айқындалады, рептилийлердің жылжу тәсілі жөнінде. Сонымен қатар зерттеу мәліметтері келтірілген, ғалымдардың экспериментальді тәжірибесіне негізделген. Мақала мақсаты, жыланның жылжымалы тәсілді қолдану мүмкіндігін қарастыру, және алдағы уақытта оны робототехникада қолдану. Мақалада, осы салада мамандандырылатын жетекші ғалымдардың, сонымен қатар жас мамандардың жұмыстары қарастырылған. Көптеген жылдар бойы, әр-түрлі бақылаулар, зерттеулер жүргізілді, ненің нәтижесінде, ғалымдар, жыландардың жылжу механикасы туралы барлық ақпаратты жинап, жыланның компьютерлік моделін құра алды. Жыланның жылжу механикасын зерттеу бойынша А.И. Добролюбовтың, Ф.Л. Черноуськоның, В.Ф.Журавлевтің жұмыстарын бөліп айтуға болады. Жылжымалы қозғала алатын мүлдем жаңа роботтарды құрастыру кезінде зерттеушілермен алынған мәліметтерді қолдануға болады. Жылан өзінің борпылдақ топырақ пен шағылда сырғанамай және қисынмен жылжи алу қабілеті арқасында планеталық зерттеулер саласында таптырмайтын көмекші болады, сонымен қатар шөлді жағдайда мүдірмейтін-барлаушы ретінде қолдану мүмкіндігі туады. Осы сияқты механизмдер адамзаттың медицина, апатты жағдай, өнеркәсіп, білім, ғарыштық ғаламшарларын зерттеу және тағы сол сияқты аясында үлкен пайда әкеледі.*

*Кілтті сөздер: жылжу механикасы; жыланның жылжу тәсілі; робототехника; жыланның компьютерлік моделі; роботтарды құрастыру.*

## MECHANICS OF CRAWLING SNAKES

Yermakova ZS - Undergraduate, Kostanay State University named A.Baitursynov, Kostanay.  
Ivanova IV - Ph.D., senior lecturer in software Kostanay State University A.Baitursynov, Kostanay.

This article highlights issues about the mechanics of sliding, as a way of movement of reptiles. Also data of studies based on experimental tests of scientists is presented. The purpose of the article is to analyze the possibility of the sliding way the snake moving and its further use in robotics. The article describes the work of leading scientists and young professionals who specialize in this area. Over the years, various observations were made, the study which results were collected helped to create a computer model of a snake. Among the study of the mechanics of sliding snakes we can pointed out the work of Dobrolyubov, Chernousko, Zhuravlev. In the future the information obtained by researchers can be used in the development of a completely new robots with the ability of the sliding movement. Snake due to its ability to move through loose soil and dunes without slipping will be indispensable in the field of planetary exploration, and will be able to use as a rover scout in desert conditions. Such arrangements will bring great benefit to humanity in the fields of medicine, emergency, industry, education, research, planets, space and so on.

Keywords: mechanic of sliding, the way the snake move, robotics, computer model of a snake, creating robots.

Исследованием механики скользкого движения ученые занимаются на протяжении более 50 лет. За этот период, ученым удалось достичь немалых результатов.

Хороших результатов удалось достичь американским исследователям, штат Мичиган. Первоначально исследователи изучили изменение свойств кожи змеи. Образцами их исследования стали змеи, длина которых составляет тридцать пять сантиметров. Для проведения эксперимента, ученым необходимо было усыпить их. Затем змею медленно передвигали по абсолютно разным поверхностям, для того, чтобы определить зависимость силы трения от угла наклона и состава поверхности. Результат эксперимента был таков, сила трения оказалась одинаковой при любом расположении змеи, учитывая гладкость поверхности. Однако, при шероховатой поверхности змея в боковую сторону движется в два раза медленнее, если сравнивать с направлением вперед. Также движение назад выполняется сложнее, примерно в полтора раза, по отношению с прямым направлением вперед. При наклоне поверхности, при котором угол наклона будет равен только семи градусам, змея преодолевает поверхность.

Далее ученые записали видео, в котором змея выполняет перемещение в различные стороны. Известно, что во время передвижения, по телу змеи проходит волна, от головы до хвоста. Досконально изучив записанное видео, ученые увидели, что в момент прохождения волны, некоторые части тела змеи приподнимаются, тем самым уменьшается сила трения там, где она не имеет особого значения, и наоборот, увеличивается в тех местах, где она необходима, то есть, там, где тело змеи может оттолкнуться.

Объединив информацию, полученную из экспериментального опыта, ученые попытались разработать компьютерную модель рептилии (рис.1)

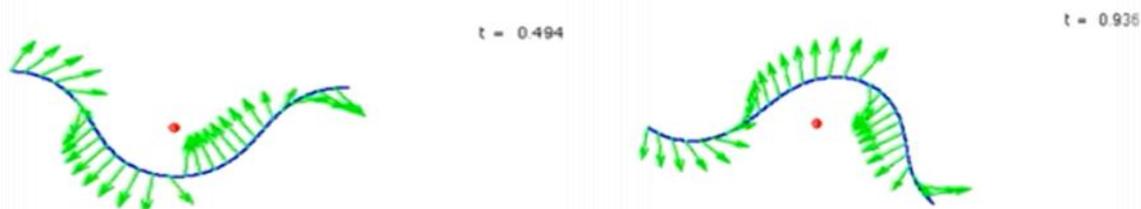


Рис.1 Компьютерная модель

Для детального изучения механики скольжения, необходимо упомянуть о том, какими способами передвигается змея.

- Движение гармошкой – это движение, при котором одна часть тела змеи одновременно складывается и выталкивается вперед, другая следом подтягивается (рис.2а)
- Извилистое движение – получило широкое применение при перемещении по жесткой и твердой поверхностям. Передвигаясь по таким поверхностям, тело змеи начинает изгибаться в

стороны, упираясь в различные предметы. Такое движение вызывает у тела змеи попеременное сокращение мышц на боках, при этом туловище змеи извивается и ползет. Для быстрого передвижения змеи, ее тело должно быть длиннее обычного. На данный момент число позвонков тела змеи приравнивается к 435 позвонкам (рис. 2б)

- Скручивание – в процессе скручивания голова змеи поворачивается вбок и вперед, затем подтягивается туловище. Такой способ движения, используют некоторые виды змей, которые живут в пустыне. Благодаря скручиванию, змеи быстро передвигаются по песочным местностям (рис.2с)

- Движение гусеницей – для передвижения таким способом змея использует крупные чешуйки, расположенных на брюхе. Одна за другой чешуйки погружаются в землю, затем мышцы сдвигают каждую чешуйку по направлению к хвосту, и последовательно друг за другом, чешуйки отталкиваются от земли. За счет этого змея и передвигается (рис.2д)

Новые результаты изучения вышеперечисленных способов передвижения, могут быть использованы при создании роботов нового поколения, которые будут использовать механику скользящего передвижения.

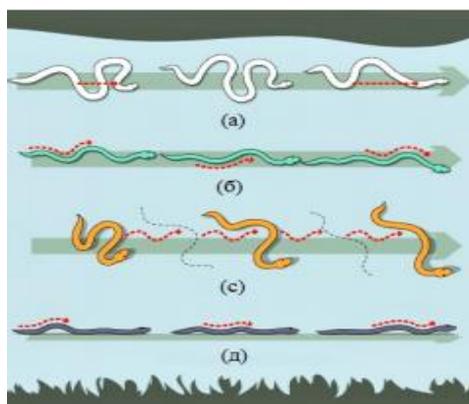


Рис.2 Способы передвижения змеи

Исследователи университета Карнеги – Меллона (штат Пенсильвания, США), основываясь на экспериментальном и теоретическом исследовании, изучили скольжение змеи на плоских поверхностях. В этом исследовании, наблюдая за кинематикой движения змеи и экспериментально измеряя коэффициенты трения из змеиной кожи, была разработана теоретическая модель скользящего передвижения. В результате наблюдения, было выяснено, что опорная точка отталкивания змеи зависит от трения анизотропии, также важную роль играет распределение веса в боковой поверхности.

Анизотропное трение является одним из важных пунктов в изучении скользящего движения, так как сила трения прямо пропорционально направлению скольжения. В работах многих ученых доказывается, что благодаря анизотропному трению, процесс скольжения имеет другое направление в отличие от направления действия сдвигающей силы. Анизотропным называется трение, которое зависит от направления скольжения. [4] Из-за неоднородности материалов различных поверхностей, которые были подвержены механической обработке и износу, возникает анизотропное трение. Благодаря использованию трения анизотропных сил и своей чешуи, змеи, контактируя с земной поверхностью, выполняют скользящее движение вперед. При скольжении вперед, сила трения минимальна, и, наоборот, при обратном скольжении сила трения резко увеличивается, и чешуйки тела начинают упираться в земную поверхность. Тело змеи включает в себя огромное количество сегментов. По всему телу змеи проходит волна сжатия, благодаря которой чешуйки могут не упираться в земную поверхность. Благодаря хорошему контакту тела змеи с земной поверхностью, сегменты тела змеи следуют поочередно друг за другом. В противном случае, сегменты отклоняются в разные стороны. Движение, при котором сегменты отклоняются в разные стороны называют движением «sidewinding motion». Таким образом, движение «sidewinding motion» возникает при плохом контакте с земной поверхностью.

Для уменьшения теплового контакта, змея частично приподнимает свое тело, и тем самым увеличивает давление на часть тела, которое отталкивается. Так, происходит симуляция деформации, сдвиг по фазе которой равен 90 градусов. Длина змеи равна длине волны, которая поделена на 1.4.

Таким образом, используя все данные, можно сформулировать формулу поступательного движения:

$$S = (X_p + 1 - X_p - 1) / (|X_p + 1 - (X_p - 1)|)$$

Хр – центровое положение сегмента.

В бионической механике змеевидный робот, это мобильный робот с высокой избыточностью. Он обладает способностью передвигаться в узком и маленьком пространстве. За счет деформации тела, змея извивается, такая деформация может быть вызвана движениями позвонков. Благодаря этому, конструкцию змеи можно рассматривать как простой шарнирный механизм. Таким образом, можно создать кинематическую модель.[1, с.80] На рис.3 представлена «Схема первичной шаровой модели робота» (рис.3)

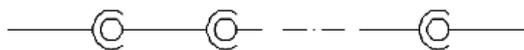


Рис.3 Схема первичной шаровой модели робота

Категории кинематических моделей:

- Модель с ортогональными осями вращения
- Модель с карданными осями вращения

Кинематическая модель с карданными осями вращения широко используется при решении задач по управлению движением робота. На рис.4 представлена модель с карданными осями вращения.

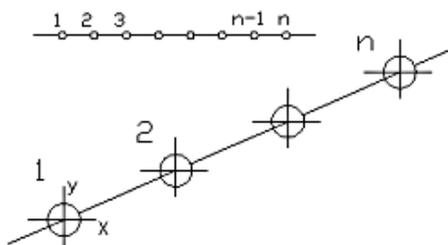


Рис.4 Кинематическая модель с карданными осями вращения

Количество звеньев, является самым главным аспектом при конструировании змеевидного робота. [2, с.345] Настоящая змея включает в себя около двухсот звеньев, а для разработки модульного робота желательно использовать от пяти до двадцати звеньев, так как чем больше звеньев, тем труднее им управлять.

Одним из основоположников исследования механического ползания является японский исследователь Шигео Хиросе. Профессор Хиросе создал свою компанию «HitBotCorp.», которая занималась продажей и разработкой роботов. Профессор Хиросе изучал способы передвижения змеи, и электрическую активность мышц, во время ее передвижения. Также провел глубокий анализ по изучению траектории, по которым передвигается змея. Проанализировав всю полученную информацию, получил математическую формулу, и назвал ее «серпентоида». Благодаря результатам, полученных формулой профессора Хиросе, движение змеевидных роботов можно сделать очень гибким и плавным, как у живых змей, не смотря на то, что их конструкция состоит из нескольких жестко связанных модулей. Несколько таких моделей змеевидного робота можно увидеть в лаборатории профессора Хиросе. На данный момент актуальной разработкой профессора Хиросе является робот ACM-R5H. Робот ACM-R5H – это робот амфибия, который обладает способностью передвигаться как на земной поверхности, так и в водном пространстве. [3, с.100] Вертикальные планки, которые расположены на боках змеевидного робота, помогают ему передвигаться под водой, они создают отталкивающее усилие. Благодаря пассивному колесу, которое расположено на каждой планке, змеевидный робот может легко перемещаться по гладкой поверхности. Робот управляется вручную по радиоканалу. Оптимальное время пользования данным змеевидным роботом составляет 1,5 часа.

Еще один известный змеевидный робот был разработан в Технионе, Хайфа, Израиль. Робот был создан в лаборатории Робототехники и Механики под руководством А. Вольфа. Робот был специально разработан для проникновения в узкие места. Однако возможности робота на данный момент ограничены. В настоящее время робот видит, слышит и чувствует запахи.

Змеевидный робот «Змеелок - 3» был создан в России под руководством А.А.Иванова. При его создании за основу взяли унифицированный мехатронный двухстепенный модуль – шарнир с пересекающимися взаимно перпендикулярными осями. [5, с.79] Для развития максимальной скорости движения робота, были использованы высокомоментные сервоприводы. Так, максимальная скорость движения змеевидного робота достигает 0,4 м/с. Змееподобный робот может передвигаться по

столбам и ступеням. Используя виртуальные колеса, робот может перемещаться, то есть используется принцип качения без проскальзывания. Оптимальное время пользования робота составляет 1 час.

Недостатком змеевидных роботов является высокое энергопотребление. И поэтому длительная работа на аккумуляторах невозможна.

В будущем такие змеевидные роботы получат широкое применение в будущем. Так как могут использоваться при ликвидации последствий землетрясений, аварий в шахтах, в боевых действиях, на космических кораблях, при исследовании других планет. В области хирургии змеевидный робот The Flex System уже успешно используется. Его применяют как систему для операций в труднодоступных местах. Робот – змея для технической диагностики и ремонта трубопроводов. Также змеевидный робот получил широкое применение в промышленности.

Таким образом, используя научные исследования, опираясь на ранее созданные модели змеевидных роботов, можно сконструировать нового змееподобного робота, усовершенствовав его конструкцию, технологию разработки, а также учесть их высокое энергопотребление и ликвидировать этот недостаток.

#### **Литература:**

1. Будько И.А., Задачи механики змееподобных роботов, журнал «Теория механизмов и машин», с.80-99
2. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. «Основы управления манипуляционными роботами» МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 345 с.
3. Князьков М.М. «Исследование управляемых движений миниатюрных многозвенных роботов для действий в ограниченных пространствах» 2007. 100 с.
4. Научный журнал Proceedings of the National Academy of Sciences.PNAS, статья «The mechanics of slithering locomotion»
5. Сахаров А.В. — 2014. — Том 6, № 2, с.79

#### **References:**

1. Bud'ko IA, problems of mechanics serpentine robots journal «Theory of mechanisms and machines», str.80-99
2. Zenkevich SL, Yushchenko AS «Basics of manipulation robots» MSTU. NE Bauman, 2004. 345 pp.
3. Knyazkov MM «The study controlled motions of multi-link miniature robots for operations in confined spaces», 2007, 100 p.
4. The scientific journal Proceedings of the National Academy of Sciences.PNAS, the article «The mechanics of slithering locomotion»
5. Sakharov AV - 2014 - Volume 6, number 2, p.79

#### **Сведения об авторах**

*Ермакова Зарина Саламатовна – магистрант, Костанайский государственный университет имени А. Байтұрсынова, г. Костанай, ул. Строительная 18, тел. 87089499339, e-mail: zarina\_show@mail.ru*

*Иванова И.В. - кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры программного обеспечения, Костанайский государственный университет имени А. Байтұрсынова, e-mail: val\_ir\_65@mail.ru*

*Ермакова З.С. - А. Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университетінің магистранты, Қостанай қ., Строительная к-сі 18, тел. 87089499339, e-mail: zarina\_show@mail.ru*

*Иванова И.В. – педагогикалық ғылымдарының кандидаты, бағдарламалық қымтамасыз ету кафедрасының аға оқытушысы, А. Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті, e-mail: val\_ir\_65@mail.ru*

*Yermakova Zarina Salamatovna - undergraduate, Kostanay State University A.Baitursynov, Kostanay str.Stroitelnaya 18, tel. 87089499339, Email: zarina\_show@mail.ru*

*Ivanova IV - PhD, senior lecturer in software Kostanay State University named A.Baitursynov, Kostanay, e-mail: val\_ir\_65@mail.ru*