

## Механика и механизм цепляющего движения

Сычева Ярослава Евгеньевна

5 класс, МБОУ Гимназия № 5 городского округа Королёв Московской области

Научный руководитель д.т.н. В.В.Лебедев

*Новая задача появилась из бионики после наблюдения за пауком. Движение паука привлекло внимание, потому что насекомое без труда передвигалось по шероховатым поверхностям, по стене и потолку. Паук легко двигается по камням. При этом размеры препятствия для него не важны. Способ передвижения сразу же отличает паука от человека и животных. Например, человек не может перешагнуть через высокий камень, а паук движется по нему как по обычной поверхности. После наблюдения за насекомым появилось много вопросов. Нужно ли копировать в роботах и шагающих машинах движение ног паука? Одинаково или нет ходят человек и паук? Чем нога паука отличается от ноги человека? Почему у паука 8 ног, а у человека две? Почему на ноге паука нет стопы? Оказалось, что ответы на многие вопросы даёт траектория движения опоры. Эту траекторию можно нарисовать схематично, если по кадрам посмотреть видеозапись движения паука. Полученный результат был применён при создании модели новой машины. Движущийся механизм и машина доказали правильность рассуждений о сравнительном анализе движения животных и насекомых, который можно применить в перспективной технике.*

Видеоролик о работе: <https://youtu.be/krjHD1kEgCA>

Цель работы – создать машину, способную передвигаться по каменистым поверхностям. Решение задачи началось с наблюдения за движением паука [1]. После наблюдения за пауком начался анализ литературы по шагающим машинам. Для изучения различных видов движения были изготовлены три механизма.

Первый механизм – механизм П.Л.Чебышева.

Второй механизм – механизм Тео Янсена.

Третий механизм – механизм Кланна.

Первый механизм - это классический лямбдаобразный механизма русского инженера и учёного Пафнутия Львовича Чебышева [2]. Этот механизм П.Л.Чебышев применил для создания «Стопоходящей машины» [3]. Для изучения шагающей траектории был создан макет этого механизма. Шагающая траектория в механизме П.Л.Чебышева обладает свойствами, которые наблюдаются при движении человека или животных. В шагающей траектории четыре участка. Особенность механизма П.Л.Чебышева в том, что русский инженер перенёс свойства природы на механизм, повторил в технике то, что природа создавала миллионами лет в процессе эволюции жизни на Земле.

Вторым аналогом стали механизмы Тео Янсена. Художник из Нидерландов Тео Янсен преследовал рекламную цель. Он изготовил механизмы-монстры, которые шагают под действием ветра, как парусники. Тео Янсен на компьютере подбирал размеры рычагов, чтобы получить нужную шагающую траекторию. Траекторий получилось много, но все они далеки от механизма Пафнутия Львовича Чебышева. У животных таких траекторий нет. Такие траектории характерны для класса насекомых. Получилось приближение природных траекторий опор насекомых, потому что цель работы художника – реклама. Для изучения траектории опоры машины Тео Янсена был создан макет механизма.

Третий аналог похож на механизмы Тео Янсена, но создан инженером Кланном. Кланн получил патент на изобретение и разрешил свободно пользоваться его идеей всем желающим. Описание механизма Кланна, и других механизмов тоже содержится в работе Дайниса Дзенушко [7]. В этой работе приведена характеристика нескольких шагающих механизмов, но не раскрывается суть и особенности траекторий опорных точек, не упоминается биологическое назначение опорных траекторий.

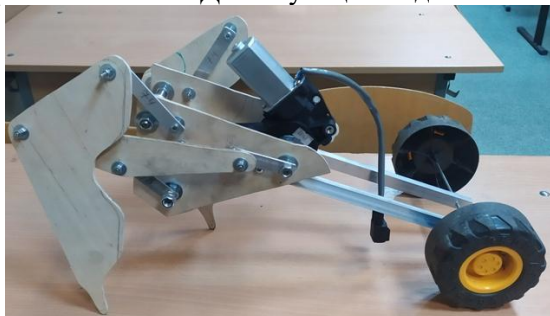
Для дальнейшего изучения и применения был выбран механизм Кланна. В магазинах продают бегающие игрушки, похожие на пауков и крабов. Опорная траектория далека от шагающей траектории механизма Пафнутия Львовича Чебышева. Но в этой траектории есть замечательный участок, который надо подробно исследовать. На рис.1 этот участок показан слева, он соответствует зацеплению опоры за выступы на поверхности. На этом участке опоры, в том числе нога паука, движется сначала слева направо, зацепляется за выступ, но потом, перед поднятием, должна выйти из зацепления с неровностью, поэтому движется обратно, вперёд. Для изучения механизма Кланна была создана сначала одиночная действующая модель, учитывая опыт изготовления других машин [4,5]. Технология изготовления модели прежняя, но

фанера толщиной 4 мм была заменена на пластик-пенопластовые пластины, применяемые для облицовки оконных проёмов. Такие пластины очень легко пилятся лобзиком и обрабатываются напильником или наждачной бумагой. Модель одиночного механизма нужна для изучения движения рычагов. Когда создаётся сложная машина, даже с двумя такими механизмами, рычаги могут мешать друг другу. На одиночной модели можно заранее изучить и задать необходимые отступы, зазоры и повороты. На этой же модели можно примерить электродвигатель и привод, выбрать наиболее рациональный вариант, а потом просто перенести конструкцию на создаваемую машину. После изготовления машины одиночная модель остаётся в качестве учебного демонстрационного прибора, необходимого и очень удобного для перспективных конструкций.



**Рис. 1.** Механизм Кланна, траектория опорной точки и модель устройства

После изготовления первого механизма Кланна были изготовлены ещё два механизма. Первый макет служил образцом, поэтому технология сборки была полностью с него копирована. Прочности фанеры вполне достаточно для выбранного электродвигателя от стеклоподъёмника автомобиля «ВАЗ» мощностью 30 Вт и напряжением питания 12 В от стандартного аккумулятора. В цепляющей машине сначала было решено применить два механизма Кланна. Сначала цель работы была поставлена упрощённая – только доказать главную особенность такого движения в виде зацепления. На двух опорах машина стоять не сможет, поэтому понадобится дополнительное устройство, никак не связанное с цепляющим движением. Отдельно пришлось продумать способ закрепления общего вала кривошипов двух механизмов в червячном редукторе привода электродвигателя. Вал был сильно зажат между гайками, стягивающими червячное колесо. Действующая модель показана на рис.2.



**Рис. 2.** Демонстрационная модель машины с цепляющими механизмами

Цепляющее движение принципиально отличается от шагающего движения по следующим причинам.

1. При шагающем движении силой тяги является сила трения покоя, а при цепляющем – сила зацепления, то есть сила реакции опоры.
2. При шагающем движении на опору можно установить стопу, при цепляющем – только небольшой кулачок.
3. При шагающем движении опора может быть большой площади для уменьшения давления на поверхность, при цепляющем – возможна только точечная опора, поэтому давление на поверхность большое, на мягких поверхностях опора провалится, как механизмы Тео Янсена на песке.
4. При шагающем движении тело движется почти прямолинейно, при цепляющем прыгает вверх-вниз.
5. При шагающем движении тело движется почти равномерно, при цепляющем часто дёргается назад-вперёд.

6. Шагающее движение возможно только по ровной поверхности, цепляющее – по любой с выступами, например, по камням.

7. В шагающем движении нет понятия «отцепление», в цепляющем – часто надо для этого отойти назад, порой на полшага, а потом продолжать идти.

8. В природе шагающее движение наблюдается у массивных видов: человек, животные, динозавры, рептилии, а цепляющее – у лёгких насекомых, например, у пауков, с которых началась исследовательская работа.

9. Шагающее движение требует большой и прочной опоры для тяжёлого тела, цепляющее – тончайшей ноги паука.

10. Шагающее движение сильно ограничено по наклонным плоскостям конусом трения, в цепляющем движении трение практически не существенно.

Обсуждать шагающее и цепляющее движение можно долго. Но какой бы вопрос не обсуждали, различия принципиальные. Например, почему насекомые лёгкие, а коровы тяжёлые? Потому что лёгкому пауку достаточно зацепиться за выступ и подтянуться, а корове надо не поскользнуться. В цепляющем движении нет понятия стопы, там только опора-игла.

Главный вывод – принципиальные различия между шагающей и цепляющей траекториями, как и различия между животными и насекомыми. Этот вывод поясняется схемой траекторий цепляющего и шагающего движений на рис.3.

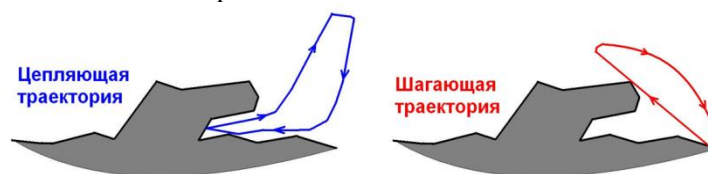


Рис. 3. Схемы цепляющего и шагающего движений

На неровной поверхности шагающее движение приведёт либо к перелому стопы или опоры, либо к опрокидыванию тела или машины. Может получиться так, что шагающая опора зацепится за выступ камня или другого препятствия. Когда ей надо будет подниматься, она упрётся в этот выступ, механизм сразу же заклинит. Зато цепляющее движение очень приспособлено к неровностям. Роботы для каменистых поверхностей делают с острыми цепляющими опорами, но управление ими очень сложное. Природа определила вид движения в зависимости от массы организма. Это свойство надо использовать в технике. Созданный действующий макет машины-паука доказывает возможность такого движения и правильность рассуждений.

### Литература

1. Spider movement kaning. 12.07.2013 [Электронный ресурс] (видеоролик 1:50). URL: <https://youtu.be/6EPOSMcCa0w> (дата обращения 11.01.2022).
2. О преобразовании вращательного движения в движение по некоторым линиям при помощи сочленённых систем / По кн.: Полное собрание сочинений П. Л. Чебышева. Том IV. Теория механизмов. – М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1948. С. 161 – 166.
3. Артоболевский И.И., Левитский Н.И. Механизмы П.Л. Чебышёва / Научное наследие П.Л. Чебышёва. – Вып. II. – Теория механизмов. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1945. – С. 52 – 56.
4. Иванчик Н.И. Энергосберегающие механические приводы / Материалы Десятого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых учёных "Наука и инновации в технических университетах". Секция "Энергоресурсосбережение и экология". – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 190 с. – С. 78 – 79.
5. Драцкая А.И. Способ уменьшения ударов в шагающем механизме П.Л.Чебышева. – Международный конкурс научно-исследовательских и творческих работ учащихся "Старт в науке 13. Летняя площадка 2021". 28.09.2021 Российская Академия Естествознания (РАЕ). [Электронный ресурс]. URL: <https://files.school-science.ru/pdf/13/60cc512269e86.pdf> (дата обращения 11.01.2022).
6. Тренд ветер. Ветряное искусство и рукоделие. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.1000ideas.ru/article/biznes/khobbi-biznes-tvorchestvo-i-rukodelie/wind/> (дата обращения 11.01.2021).
7. Дзенишко Дайнис. Изучение "Шагающих" механизмов. [Электронный ресурс]. URL: <http://tm.spbstu.ru/> (дата обращения 11.01.2022).