

## Шагающая машина с новой синхронизацией движения опор

Васильева Анастасия Андреевна

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

Научный руководитель В.Б. Дроботов, ФГБОУ НИУ «Московский авиационный институт»

*У механизма П.Л.Чебышева и у всех шагающих машин есть общий недостаток – верхнее расположение рабочей точки. Однако шагающая траектория опоры должна быть ниже корпуса транспортного средства. Для выполнения этого требования разными авторами предлагается множество технических решений. В этой работе изучается вариант новой комбинации двух лямбдаобразных механизмов, дополненных параллелограммом из двух шатунов, основным и пассивным. Принципиальным отличием нового механизма стало движение по шагающей траектории всего шатуна-отрезка, а не единичной точки, как в классическом механизме. Звено этого шатуна можно продолжить вниз, то есть ниже корпуса транспортного средства. Все точки шатуна, в том числе опорные, движутся по шагающей траектории без проскальзывания. При создании модели шагающей машины была предложена новая схема электропривода с высокоскоростным электродвигателем, цепной передачей, планетарным редуктором и коническими зубчатыми колёсами. В процессе испытаний появилось предложение о плавной регулировке скорости движения, а также принципиально новая схема механической развязки лямбдаобразных устройств и замены её электрическими приводами с программным управлением.*

Проекты шагающих машин известны с древних времён. В препринте сотрудника ИПМ им. М.В. Келдыша В.Е. Павловского приведён подробный исторический анализ развития шагающего транспорта [1]. Идея создания шагающих машин всё чаще рассматривается инженерами и учёными в связи с потребностями общества. В шагоходах есть одно главное преимущество, которого нет ни в каком другом виде транспорта – отсутствие касательных напряжений при движении по опорной поверхности. Все другие традиционные движители буквально срезают верхний слой почвы: колёса, гусеницы, шнеки. К такому повреждению почвы общество относилось терпимо, пока происходило освоение южных и средних географических широт. Но как только речь пошла о постепенном перемещении производства на север, сразу же стало понятно, что традиционные виды транспорта не только перестают работать, но и губят природу. Например, колея от гусениц вездехода в тундре не зарастает десятилетиями, мох ягель как основная растительность, перестаёт существовать в следах колёс не менее чем на полвека, постепенно исчезает пища для оленей, и так далее. При использовании в тундре традиционного транспорта нарушается биологическая цепочка взаимосвязи флоры и фауны. Перемещение общества на север для разработки месторождений полезных ископаемых не будет критичным для природы с позиции транспорта, если применить шагающие машины.

Необходимость освоения северных областей закреплена в Стратегии научно-технологического развития России. Направление научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы соответствует приоритетам, основным задачам, большим вызовам, неразрешённым проблемам и ожидаемым результатам Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.

Для будущей работы сразу была определена традиционная схема нормального расположения лямбдаобразных механизмов, без их переворота [2], но в вдвоенной комбинации [3]. Базовую схему, или платформу, как принято говорить в автомобильной промышленности, предлагается не изменять по сравнению с кулачковым шагоходом, выбранным в качестве прототипа [4]. Эта схема содержит силовую раму самой простой прямоугольной конструкции и восемь шагающих лямбдаобразных механизмов П.Л. Чебышева. Но такая платформа требует принципиальной доработки размещённых на ней устройств.

1) Необходимо доработать силовую часть платформы, потому что силовой привод, то есть электродвигатель и редуктор, предполагается применить другой. Впервые в истории школьного кружка «Юный физик – умелые руки» предложено отказаться от стандартного электродвигателя механизма стеклоподъёмника автомобиля «ВАЗ», и вместо этого перейти к синхронному электродвигателю постоянного тока напряжением 12 В серии 775, реальные характеристики которого соответствуют цели работы [5]. В частности, его можно форсировать по мощности от 2 Вт до 140 Вт, а обороты увеличить от 3500 в минуту до 21000! Однако, нужен редуктор.

2) Форсирование электродвигателя требует установить редуктор. Это будет планетарная или комбинированная зубчатая передача, потому что червяк и червячное колесо, а также волновой редуктор обладают очень большим трением.

3) Восемь шагающих лямбдаобразных механизмов П.Л. Чебышева можно разместить на платформе разными способами. Надо выбрать рациональный.

4) Наконец, самое главное – правильно синхронизировать работу восьми лямбдаобразных шагающих механизмов П.Л. Чебышева.

Получается, что даже известная платформа с известным набором механизмов приводят к принципиально новому результату и новой шагающей машине, если правильно составить рабочую схему устройства.

Цель работы заключалась в смещении шагающей рабочей траектории вниз, то есть ниже корпуса машины. Просто шарнирно прикрепить опору в рабочей точке шатуна нельзя, потому что появятся две степени свободы. Второму лямбдаобразному механизму П.Л. Чебышева тоже добавить нельзя, опять появляется вторая степень свободы. Но если к паре лямбдаобразных механизмов добавить синхрошатун, то остаётся единственная степень свободы, например, угол поворота ведущего кривошипа. Особенность этой работы заключается в возвращении к отброшенной идее горизонтального расположения двух лямбдаобразных механизмов с синхронизирующим шатуном [3]. В этой схеме предыдущие исследователи не заметили важного свойства – шагающей траектории отрезка-шатунa, а не точки. Новая схема механизма и собранный действующий макет с изображением рабочей траектории показаны на рисунке 1.

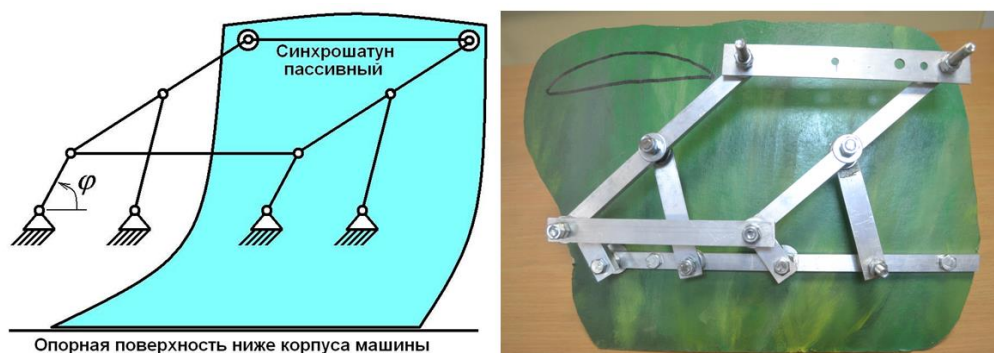


Рис. 1. Новая схема механизма и собранный действующий макет

Следовательно, эту схему можно рассматривать в качестве прототипа для предстоящей работы, но разместить механизмы предлагается на отработанной прямоугольной платформе, снабдив её новым высокооборотным электродвигателем и новым экономичным редуктором.

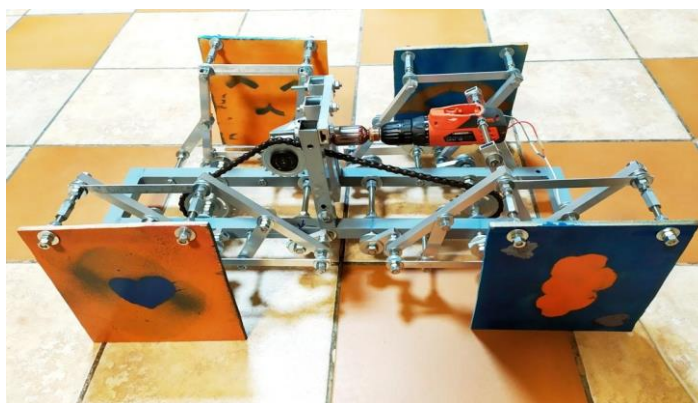
Основу новой кинематической схемы механизма составляет дополнительный пассивный синхрошатун. Все точки этого шатуна двигаются по рабочей шагающей траектории. В лямбдаобразном механизме П.Л. Чебышева по рабочей шагающей траектории двигается только одна точка шатуна. В этом заключается принципиальное отличие предлагаемого нового технического решения от известного механизма.

Сначала был собран механизм по старой схеме с одним синхрошатуном на кривошипах. Сразу же стало понятно, что механизм не работает. Теоретически всё получалось хорошо, но на практике даже небольшая ошибка в разметке рычагов приводила к мёртвой точке. Теоретически должны были получиться две трапеции и параллелограмм. Но из-за погрешностей в разметке получались три трапеции с мёртвой зоной для движения. Именно по этой причине предыдущие исследователи не стали разрабатывать далее такой механизм.

Но оказалось, что погрешность в изготовлении рычагов можно компенсировать дополнительным элементом, причём пассивным. Нужно установить ещё один такой же синхрошатун на верхние шарниры шатунов, то есть на рабочие точки шагающего механизма. Два шатуна и два синхрошатунa образовали параллелограмм, в котором ошибка смещения рычагов не может накапливаться в удалённых рабочих точках – этого не позволяет пассивный синхрошатун. Обычно пассивные рычаги применяют для усиления конструкции, а в новой схеме предложено использовать пассивный рычаг для уменьшения ошибки отклонения рычагов. На нижнем синхрошатуне угловая ошибка, то есть различие в углах поворота кривошипов, может быть маленькая, но вверху в рабочих точках она возрастает пропорционально удалённости. В результате, рабочие шатуны поворачиваются на разные углы

и входят в мёртвую зону. Значит, надо не дать верхним точкам в паре механизмов отклониться слишком много от заданной шагающей траектории. Для этого установлен пассивный синхростатун [5].

После предложенной доработки сначала был собран отдельный макет нового механизма. Новый механизм был испытан, ведущий кривошип вращается без заеданий, мёртвых зон нет, вращение передаётся второму кривошипу. Повышенные усилия наблюдаются при некоторых углах поворота ведущего кривошипа, уменьшить их можно более точной разметкой рычагов при изготовлении. В условиях школьного кружка вполне можно получить точность разметки 0,1 мм, пользуясь штангенциркулем. Практика показала, что точности обычной ученической линейки (класс точности 4) не достаточно, как и класса точности 2 слесарной линейки. Но точности штангенциркуля 0,1 мм вполне достаточно даже с нарастающей в процессе изготовления технологической погрешностью. На рис.1 показан общий вид шагающей машины с новой синхронизацией движения опор. Испытания модели новой шагающей машины позволили сформулировать ближайшие цели исследования, главная из которых заключается в разработке принципиально новой системы управления новым транспортным средством с возможностью поворота шагающей машины во время движения в перспективе.



**Рис. 2.** Общий вид шагающей машины с новой синхронизацией движения опор

#### *Выводы.*

1. Основу нового технического решения и новой шагающей машины составляет пара лямбдаобразных механизмов, синхронизированная параллелограммом горизонтальных шатунов, в том числе пассивным.
2. Новый механизм позволил сместить шагающую траекторию ниже корпуса машины, не изменяя сути шагающего движения, то есть без отсутствия касательных напряжений на грунт.
3. Создан, проверен, испытан, изучается действующий макет новой шагающей машины.
4. Сформулированы ближайшие задачи исследования новой шагающей машины: создание электронной схемы управления и электромеханической синхронизации с целью осуществления поворота конструкции во время движения.

#### **Литература**

1. Павловский В.Е. О разработках шагающих машин // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2013. № 101. 32 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013-101> (дата обращения 11.01.2022).
2. Артоболевский И.И., Левитский Н.И. Механизмы П.Л.Чебышева / Научное наследие П.Л. Чебышева. Вып. 2. Теория механизмов. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1945. – С.52-54.
3. Папиашвили Э.Д., Скворцова А.А. Шагоходы для тундры, Арктики и для быта. 12.09.2014. – Электронный ресурс (видеоролик, 11:44). [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/7ojY7M-ONOM> (дата обращения 11.01.2022).
4. Васильева А.А. Кулачковая опора для шагающего механизма П.Л. Чебышева. Научный руководитель Дроботов В.Б. / Гении Подмосковья: Сборник статей по материалам фестиваля науки 28 ноября 2020 г. - М.: Издательство "Научный консультант", 2020. - 334 с. - ISBN 978-5-907330-61-0. – УДК 62+316. - ББК 3+6/8 Г34. - Секция "Технические науки". С.19 – 27.
5. Васильева А.А., Драцкая А.И. Новый шагоход. 12.04.2021. – Электронный ресурс (видеоролик 5:01). [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/xuLo4lkvgRg> (дата обращения 11.01.2022).