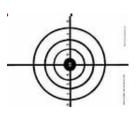
# Университетские субботы 11 апреля 2015 г.

#### **ШАГОХОД - МЕХАНИЗМ БУДУЩЕГО**

профессор кафедры «Прикладная механика и математика» Московского государственного строительного университета (НИУ) д.т.н., с.н.с. Лебедев Владимир Валентинович

В природе нет колеса, его придумал человек, создав себе проблемы!

Цель работы: предложить техническое решение движителя транспортного средства по малопрочным поверхностям.



#### Новизна:

- 1) модификация и упрощение стопоходящей машины П.Л.Чебышева;
- 2) новая классификация шагающих и цепляющих устройств с позиции физики шага;
- 3) обоснование значимости природной траектории стопы;
- 4) предложение шельфового шагохода как транспортного средства.



Актуальность: начало промышленного освоения тундры и Арктики, борьба за полезные ископаемые, истощение традиционных месторождений, начало шельфовых разработок.

#### Решаемые задачи:

изучение физической и механической сущности шага; уменьшение давления на малопрочный грунт; реализация природной траектории движения опоры; классификация шагающих и цепляющих механизмов; выбор рациональной механической схемы шагохода.

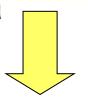




Практическая значимость: машины и механизмы для доступа в новые промышленные регионы.

# Анализ и проблемы северного транспорта Что сейчас есть?

Хорошо ли это?



На Севере нет дорог!

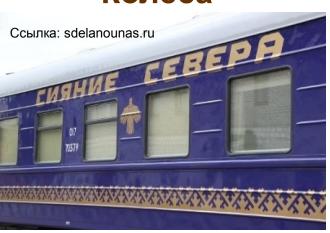
Не всё, что движется на юге, поедет на Севере!



Проблема передвижения в тундре



Колёса



Железные дороги





Гусеницы



**Авиация** 

# Северный водный транспорт ограничен и акваторией, и ледоколами, и опасностью



Проблемы с морскими платформами



Морская платформа «Кольская» затонула, потому что не было опоры

**Стоимость** \$498 млн.

Аренда \$250 тыс./сут.



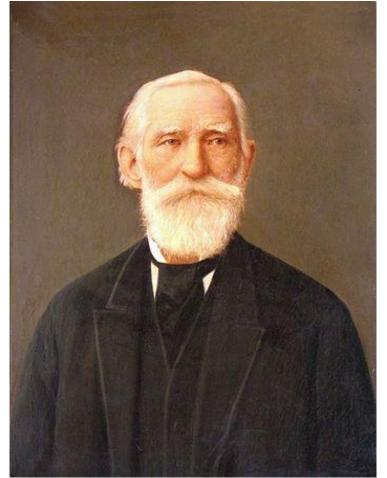
«Приразломная» стационарна



Плавучая «Eiric Raude» дорогая

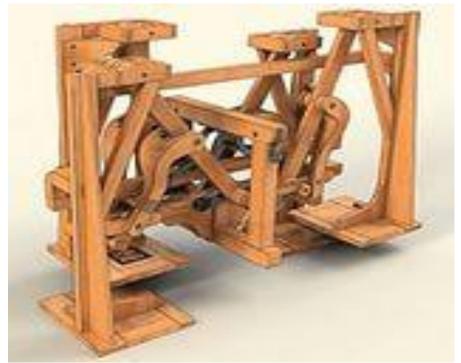
Предлагаем опору!

## Фундаментальная основа шагового способа движения



Пафнутий Львович Чебышев 1821-1894

Стопоходящая машина П.Л.Чебышева, Всемирная выставка, Париж, 1878 г.



Московский политехнический музей

# Основные положения теории П.Л.Чебышева и И.И.Артоболевского в области шаговых движителей



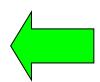


Иван Иванович Артоболевский 1905-1977



Музей истории СПбГУ

**Технические** предложения

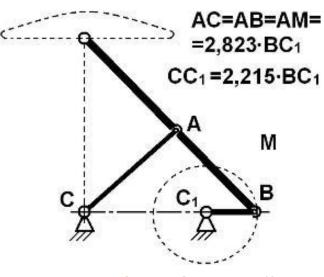


Проблема: преобразование вращательного движения в движение точки по прямой

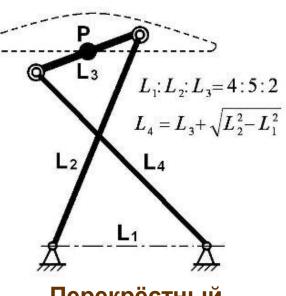
#### Механизмы



Задача: синтез механизмов



Лямбдаобразный



Перекрёстный











#### Практика









Технология

#### По пути П.Л.Чебышева

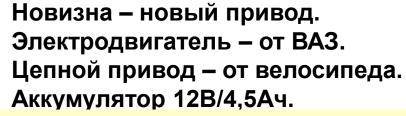
Задача 1.

Повторить лямбда-механизм по оригинальной книге. Задача 2.

Повторить шагостоповую машину П.Л.Чебышева как связку четырёх лямбда-механизмов.

Полное собрание сочинений П.Л.Чебышева. Том 4. Теория механизмов. – Москва-Ленинград: Издательство Академии наук СССР, 1948. – С.155-166.







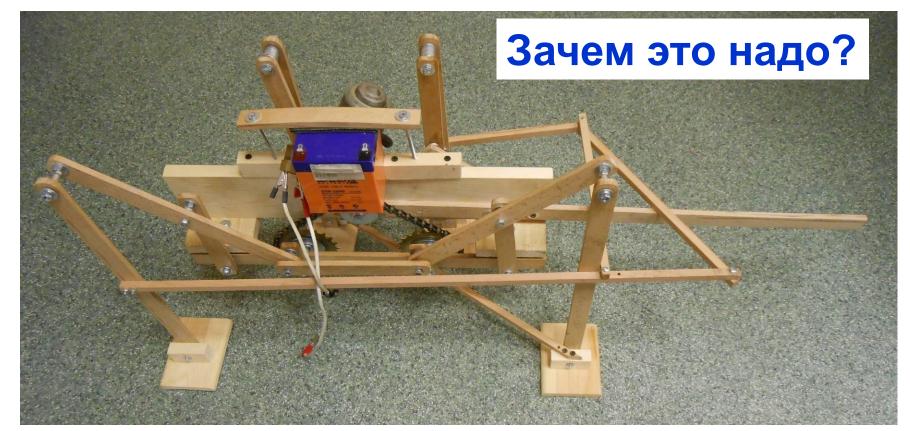


Техническая задача – устойчивость машины

#### Вот такая машина получилась!

Первый видеоролик (12 минут): <a href="http://youtu.be/7ojY7M-OH0M">http://youtu.be/7ojY7M-OH0M</a> Третий в Второй видеоролик (8 минут): <a href="http://youtu.be/2de2t\_IBtU">http://youtu.be/2de2t\_IBtU</a> Четвёрть

Третий видеоролик (12 минут): <a href="http://youtu.be/xfYWY-PLZJw">http://youtu.be/xfYWY-PLZJw</a>
Четвёртый видеоролик (12 минут): <a href="http://youtu.be/xodSDOjpdLM">http://youtu.be/xodSDOjpdLM</a>



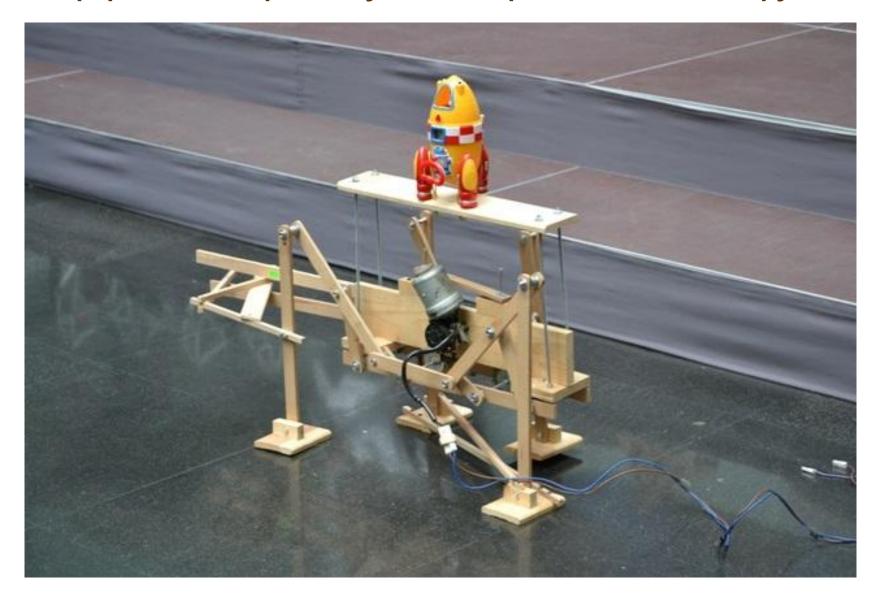








Платформа для стартовой установки ракеты на любых грунтах



Наш первый шагоход «Комар». Почему его так назвали?

## Один риторический вопрос



# Колёса сильно давят на землю (2-6 атм)

Первая техническая и экологическая задача – уменьшить давление на грунт до природного значения 0,5-0,2 атм

#### Почему миллионные стада оленей не вытаптывают ягель?

1) Безопасное давление на грунт и растения:

100 кг / 200 кв.см = 0,5 атм (реально до 0,2 атм).

2) Главное – природная траектория копыта, стопы, опоры.





Бесконечно увеличивать размеры колёс и гусениц нельзя

Не существует проблемы площади стопы шагохода

Увы, техника утяжеляется быстрее роста площади опор!

#### Реальна ли шагающая платформа?

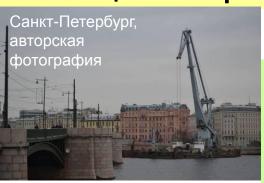
**Масса Исаакиевского собора m=300.000 тонн!** 

Допустимое сопротивление малопрочного грунта (глина, песок) P=1 атм.

Площадь S=1 кв.м может нести 10 тонн.

Для собора нужна площадь пары опор 30.000 кв.м.

Площадь одной опоры 15.000 кв.м – это квадрат 123х123 м. Примерно четыре шагающих гектара!



Плавучая платформа-кран

Масса стартового комплекса «Энергия-Буран» m=100.000 тонн – в три раза меньше Исаакия.

Площадь одной опоры – это квадрат (делим сторону на корень из трёх) 72х72 м. Вполне реально!



# Вполне реальна!



Вторая техническая и экологическая задача – обеспечить природную траекторию движения стопы без среза растений и их корней

В природе нет колеса, его придумал человек, создав себе проблемы

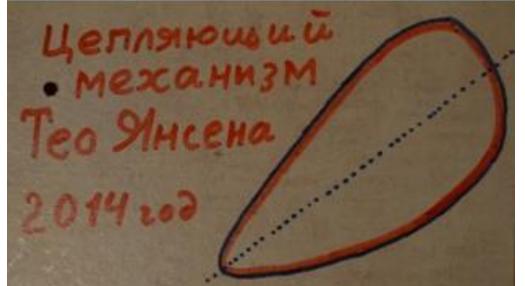


Стопа шагохода не должна быть ножом Безопасное давление опоры 0,5-0,2 атм

Растения сгибаются, а потом распрямляются Стопа шагохода не должна быть плугом

Стебли и корни не срезаются





# Теоретическое и практическое изучение природной траектории стопы механизма П.Л.Чебышева.

Программный модуль на языке программирования Паскаль-ABC.

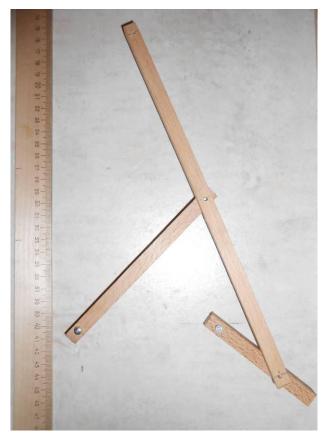
```
{http://primat.org/index/0-128}
const
  pi=3.14159265358979;
  rad=57.295779513082321;
var
  x,y,figr,firad,fi1gr,fi1rad,
  OM,alfagr,alfarad,
  OA,AB,BC,BM,AM,OC,AC,MC ...
```

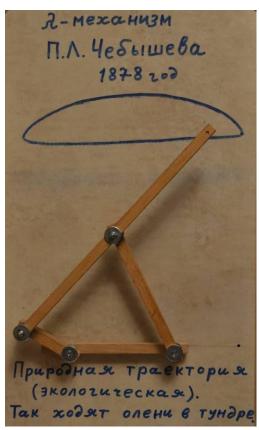
#### Сравнение двух траекторий.

След механизма П.Л.Чебышева – цветущая клумба.

След механизма Тео Янсена – рубленый салат из травы и корней.

# Изучаем возможность применения механизмов П.Л.Чебышева на Севере







Изготовили



Изучили



Применили

Буковые рейки 10х10 мм и 10х20 мм, винты и гайки M6.



#### Новизна машины – модификация механизма



Схема П.Л.Чебышева синхронизации в противофазе

Теоретическая основа – формула П.Л.Чебышева



#### 3m-2(n+v)=1

#### Исключили

Сохранили одну степень свободы

$$3(m-2)-2((n-1)+(v-2))=1$$

$$3(m-2)-2(n+v-3)=1$$

$$3m-6-2(n+v)+6=1$$

3m-2(n+v)=1



т - число звеньев;

n - число неподвижных шарниров;

v - число подвижных шарниров.

Убрали 2 рычага:

- 1) синхрошатун;
- 2) кривошип.

$$(-3x2=-6)$$

Убрали 3 шарнира:

- 1) на кривошипе;
- 2) на шатуне;
- 3) на шатуне.

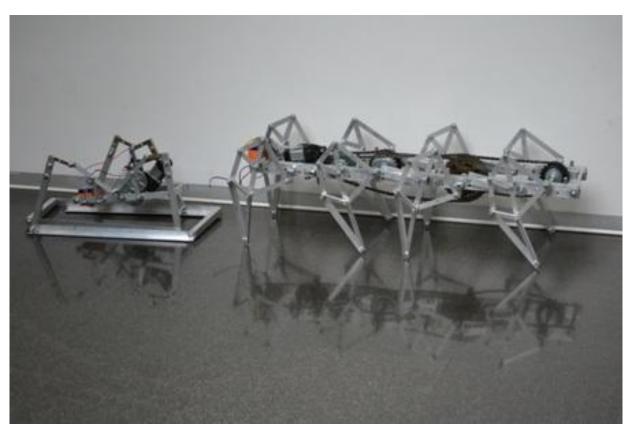
$$(+2x3=+6)$$



Подключили к автомобильному аккумулятору (12B) – работает! Следующая задача – пара трапеций двух пар диагональных стоп.

# Шагоходы «Лыжник» и «Таракан» В чём сходства и различия?





Включаем, смотрим, размышляем...

#### Зачем применять? Как применять?

# Возможные целевые применения шагоходов



Шагающие здания



Арктические и тундровые варианты



Шагающие буровые



**Шельфовые буровые** 



Сверхтяжёлая ракетаноситель «Ангара»



**Шагающие** коляски



Шагающие автомобили

Ссылка на фотографии: http://yandex.ru/images



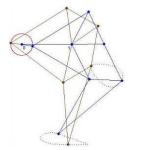
### Какие механизмы можно применять в платформе с позиции физики шага?

### Изучили 4 основы

Лошадь ходит, а паук цепляется

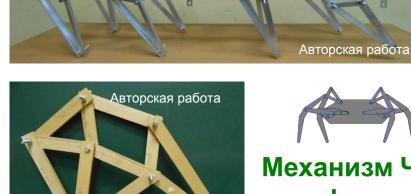


#### Механизмы Тео Янсена и Кланна не подойдут!



Экологическая критика механизмов.

- Не стопоходящие! Стопы нет. Стопу не установить в принципе. Площади опоры нет. Давление громадное.
- Опора на иглы или на шаровые кулачки с малой площадью продавит грунт.
- Нужно не менее шести ног-опор.
- Вращательное движение мясорубка для растений.
- Колеблющаяся, прыгающая основа вторая мясорубка.
- 6. Это цепляющиеся механизмы-пауки, а не шагающие.
- 7. Основное применение в цирке, в кинетической скульптуре.



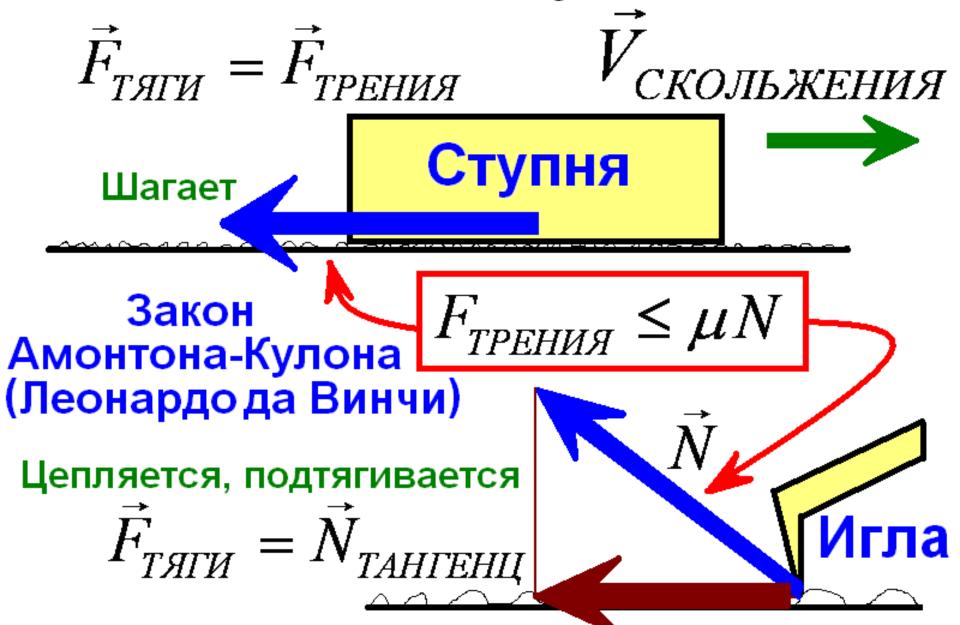


Механизм Чебышева идеален для подвижной платформы, поступательное движение, опора. Механизм Хойкена – это более грубое приближение механизма Чебышева.

#### Смотрим не на ножки, а на механизмы



# Два способа получения тяги



# Главный результат, выносимый на защиту

Классификация изученных механизмов

П.Л.Чебышев, Хойкен Шагающие



Сила трения покоя

0 градусов, вертикально

Практически прямая

Стопа, малое давление

Природа силы тяги

Угол падения опоры

Опорная траектория

Вид опоры

Сила реакции зацепления

Наклонно, режет почву

Дуга, далеко не прямая

Точка, большое давление

2 (4) Минимальное число опор 6 (8)

Почти поступательное

Вид движения

Колебательное

Промышленные платформы

Практическое применение

Реклама, цирк

# Оценка мощности двигателя шагающей платформы

$$P=$$
 Оценочные исходные данные  $\mupprox 0,1\ (nodowsa\ bomuhka\ 0,2\div 0,4)$   $=F_{TSII}V=$   $gpprox 10\ m/c^2$   $=F_{TPEHUS}V=$   $Ypprox 1m/c\ (3,6\ km/y)$  Результат вычислений  $Ppprox 5\cdot 10^7\ Bm=5\cdot 10^4\ kBmpprox 68000\ n.c.$   $=\mu NV=$  70000 Л.С. Удельная мощность 1,4 Л.С./Т  $=\mu mgV$  Отличное совпадение результатов!

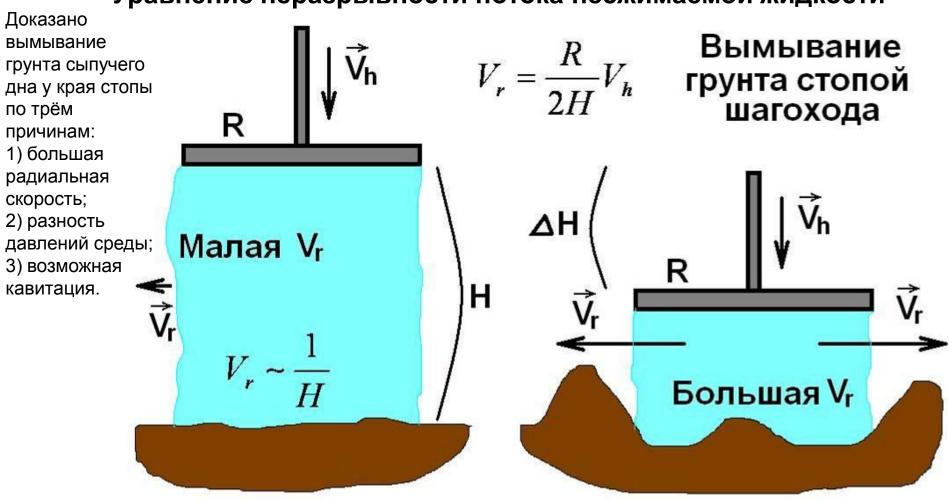
Справка. Мощность шести дизелей «*Wartsilla*» самой большой платформы «Eirik Raude» равна 6x10200=61200 л.с.

Новое направление – физика шага по сыпучим поверхностям под водой (экология шельфового шагохода)

$$2\pi RHV_r = \pi R^2 V_h$$

Физическая модель опускания стопы на сыпучее дно под водой

#### Уравнение неразрывности потока несжимаемой жидкости



#### Экспериментальное подтверждение вымывания грунта

Авторские фотографии

#### Ламинарное движение

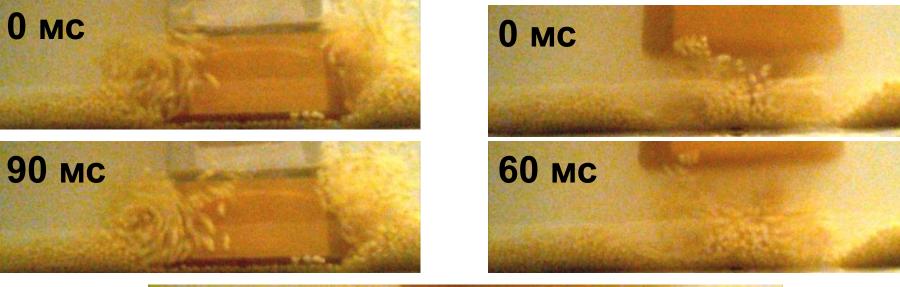
Движение стопы вниз Движение стопы вверх 0 MC 0 MC 410 MC 900 мс 950 MC 500 MC Результат Два бугорка 1040 MC

#### Экспериментальное подтверждение вымывания грунта

#### Турбулентное движение

Движение стопы вниз

Движение стопы вверх

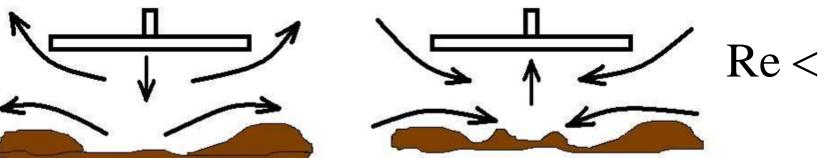




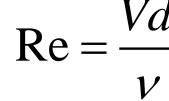
Площадь опоры уменьшается, стопы – возрастает!

### Обобщение. Различные режимы вымывания грунта.

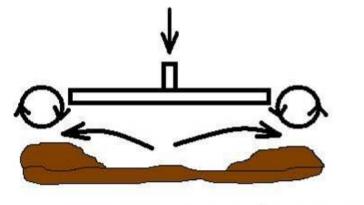
Маленькая скорость движения стопы

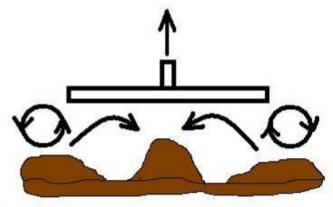


 $Re < Re_{KP}$ 









 $Re > Re_{KP}$ 

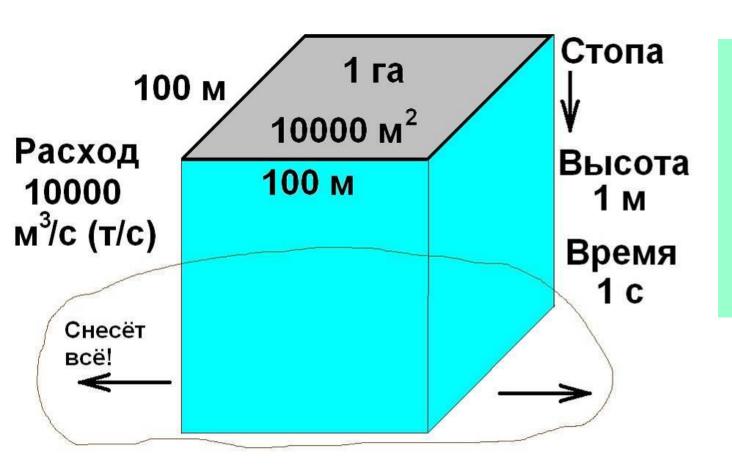
Схема турбулентного обтекания стопы

Большая скорость движения стопы

Авторский рисунок

### Надумана задача или нет?

Это шагоход – платформа для тяжёлого объекта 100-300 тыс. тонн. Характерная площадь одной стопы 1 га.



Справка 1 (учебник МЧС). Расход массы при сходе селей 10-2000 т/с.

След такого шагохода – голые камни

Справка 2. Саяно-Шушенская ГЭС работает с расходом 1000-1400 т/с, верхний предел 7500 т/с.

## Можно ли не вымывать грунт?



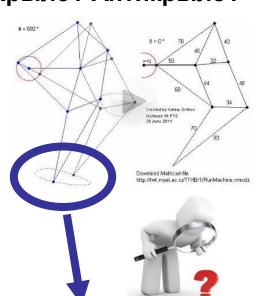
Антивымывающая конструкция стопы (гребень) – это множество лыж.

Ходим на лыжах по шельфу!

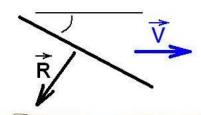
Смотрим не на лыжника, а на его лыжи! Прижатый одной лыжей снег, никогда не сдвинется от движения другой лыжи.

Переносим этот принцип на шагоход Прижатый грунт Верхняя стопа не вымывается шагохода опускается в гребень нижней стопы

#### А что будет под водой, на шельфе? Крыло? Антикрыло?



Отрицательный угол атаки lpha < 0

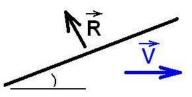


Стопа зарывается в грунт, шагоход спотыкается

Нормальный расчётный режим только в шагоходе П.Л.Чебышева и в патенте Института машиноведения

Положительный угол атаки





Стопа взлетает над грунтом, шагоход аквапланирует

Нулевой угол атаки

$$\alpha = 0$$

Другая задача гидродинамики - прочность конструкции Оценка гидродинамической силы

 $R = CS \frac{\rho V^2}{2} \approx 1.10000 \cdot \frac{1000 \cdot 1^2}{2} = 5.10^6 H \approx 500 m$ 

Масса комплекса «Энергия-Буран» была 2000 т.

Цирк! Лето 2014 г. ВВЦ-ВДНХ

Механизм Тео Янсена

#### Нерешённая задача для машины П.Л.Чебышева - поворот Новое физическое решение для машин Тео Янсена Способ поворота $\varphi_{\Pi PAB b I \check{M}} = \Delta \varphi + \omega t =$ машины Тео Янсена $=\Delta \varphi + 2\pi v t$ е Эмсено





вертолёта

Общий вал

Поворот одного механизма относительно другого

Б.Н.Юрьев

1889-1957

(MAM)

Асимметрия траекторий

### Выводы и рекомендации

- 1. Цель работы достигнута, предложено шагающее транспортное средство, способное передвигаться по шельфу, по малопрочным грунтам, по тонкому льду, по тундре.
- 2. Шагающая машина особенно актуальна на Севере, который начинает активно осваиваться для добычи полезных ископаемых, прежде всего, углеводородного топлива.
- 3. Шагающая машина П.Л.Чебышева актуальна в наше время, потому что это простой и надёжный механизм, позволяющий выполнять практически любые требования по давлению на грунт при сохранении естественной, природной траектории стопы-опоры.
- 4. Предложена модификация стопоходящей машины П.Л.Чебышева с меньшим количеством рычагов и шарниров (минус 4 рычага и минус 6 шарниров).
- 5. Разработана физическая классификация механизмов на шагающие и цепляющие по способу получения силы тяги, количеству и виду опор, давлению на грунт, назначению.
- 6. Обнаружено опасное явление вымывания грунта стопой шельфового шагохода и предложена конструкция антивымывающей стопы-опоры.
- 7. Предложен способ поворота цепляющих механизмов, но поворот шагохода П.Л.Чебышева остаётся нерешённой задачей.
- 8. Шагающие машины могут потеснить обычные автомобили из-за многих проблем с колёсами это многомиллиардный рынок для инновационных исследований и инвестиций.

# Новое научное направление – конверсия шагающих космических технологий

Безусловно-рефлекторный тренажёр ног для больных с нарушением опорно-двигательных функций

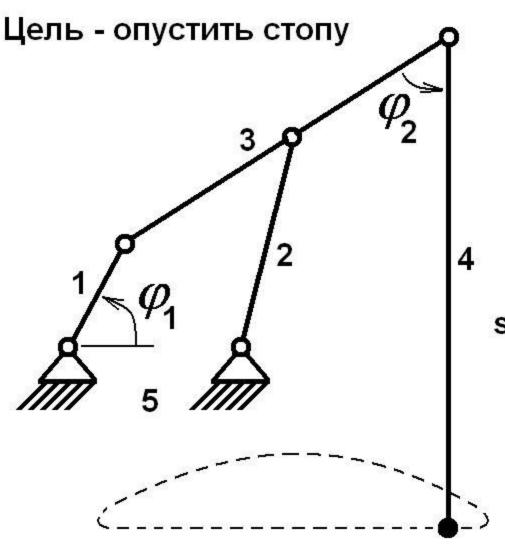
## Классический четырёхзвенник

Лямбдаобразный механизм П.Л.Чебышева



s = 3x3 - 2x(2+2) = 9-8 = 1

### Классическая стопа на механизме



Недостаток стопа должна быть внизу.

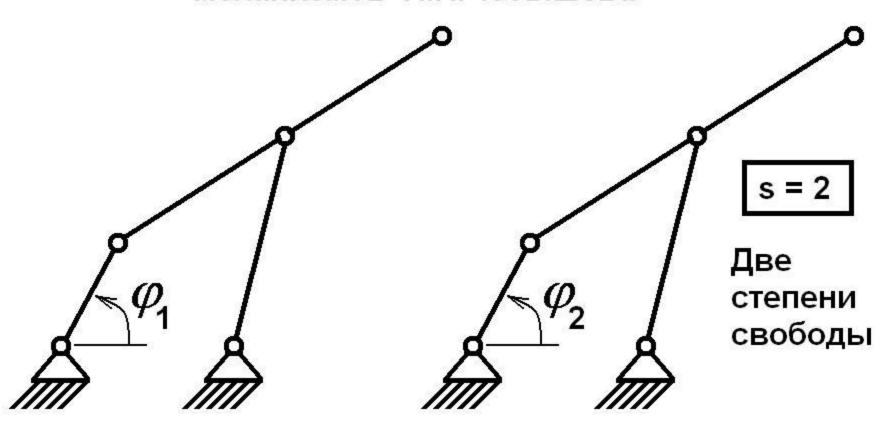
> П.Л.Чебышев добавляет шарнир и рычаг.

Две степени свободы

Ссылка: http://www.etudes.ru/ru/etudes/stopohod

## Классическая пара механизмов

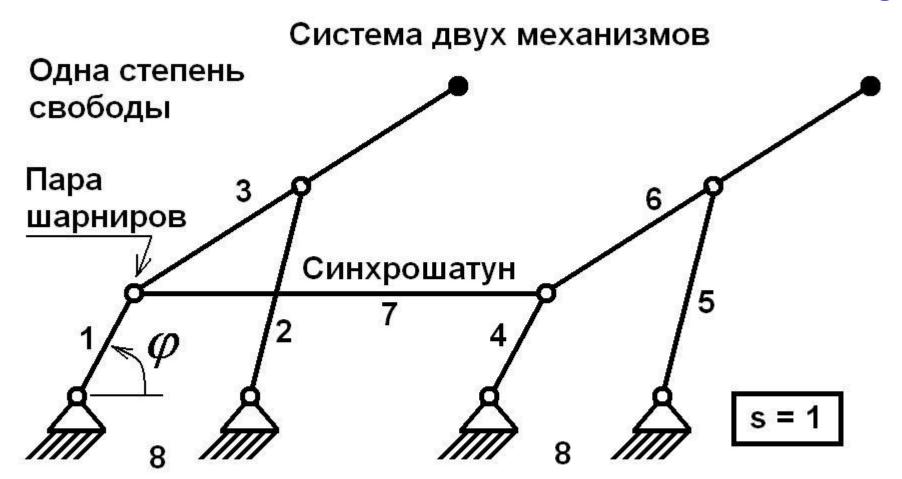
Система из двух лямбдаобразных механизмов П.Л.Чебышева



s = 3xm - 2x(n+v) = 3x6 - 2x(4+4) = 18-16 = 2

Ссылка: http://www.etudes.ru/ru/etudes/stopohod

## Синхронизация по П.Л.Чебышеву



$$s = 3xm - 2x(n+v) = 3x7 - 2x(4+6) = 21-20 = 1$$

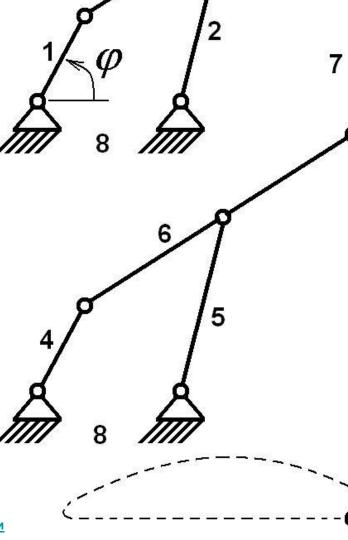
Осталась задача нижнего расположения стопы

Ссылка: http://www.etudes.ru/ru/etudes/stopohod

Новое техническое предложение синхронизации

Преимущество кинематической схемы — можно добавлять любое количество пассивных синхрошатунов, снижая нагрузку на детали.





Новое расположение лямбдаобразных механизмов П.Л.Чебышева в единой системе.

#### Цель:

- одна степень свободы;
- 2) стопа внизу.

- 1) Одна степень свободы.
- 2) Нижнее положение стопы.

Авторская работа

### Спасибо за внимание!