

Конкурс: «Юные техники и изобретатели»

2015 год

**УНИВЕРСАЛЬНАЯ ШАГАЮЩАЯ ПЛАТФОРМА
ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ТУНДРЫ, АРКТИКИ И ШЕЛЬФОВЫХ ОБЛАСТЕЙ**

Авторы (личный вклад автора)

Папиашвили Эльвина Давидовна

(экологический аспект)

тел. 8-926-302-77-45; elvina@live.ru

Скворцова Анастасия Андреевна

(технико-экономический аспект)

8-925-407-91-04; saa2509@mail.ru

Научный руководитель

Лебедев Владимир Валентинович,

доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная механика и математика» Московского государственного строительного университета, руководитель кружка «Юный физик – умелые руки» в Гимназии №5 города Юбилейного Московской области

Lebedev_v_2010@mail.ru Моб. тел. 8-903-184-45-31 Личный сайт cfmo.ucoz.ru

2014-2015 учебный год

Оглавление

1.	Аннотация	3
2.	Введение	4
3.	Анализ литературы	4
4.	Экологический аспект применения транспорта в тундре	6
5.	Актуальность шельфовых разработок углеводородов	7
6.	Экологический аспект применения транспорта на шельфе	8
7.	Технический объект и технологический предмет исследования	9
8.	Экологический аспект траектории стопы шагающих механизмов	10
9.	Экологический аспект давления стопы шагающих механизмов	12
10.	Новое экологическое явление – вымывание грунта шельфа стопой шагохода	13
11.	Теоретическая оценка экологических последствий вымывания грунта стопой тяжёлого шагающего средства	15
12.	Экспериментальное исследование вымывания грунта стопой шельфового шагохода	16
13.	Техническое предложение конструкции антивывывающей стопы	17
14.	Модификация стопоходящей машины П.Л.Чебышева	18
15.	Выводы	20
	Список литературы	21
	Приложение 1. Программа и результаты расчёта прямолинейного участка природной траектории стопы в механизме П.Л.Чебышева	22
	Приложение 2. Кадры видеofilьма процесса вымывания грунта стопой шельфового шагохода	24

Аннотация

Цель работы – предложить безопасный экологичный движитель тяжёлого транспортного средства по малопрочным поверхностям: тундре, Арктике, шельфу, льду.

Для достижения этой цели были сформулированы две большие задачи.

Во-первых, изучить технический аспект шагающего механизма.

Во-вторых, изучить экологический аспект шагового способа передвижения по малопрочным грунтам с вопросами безопасности для людей.

Актуальность работы обоснована промышленным освоением северных районов с малопрочными грунтами. Это тундра, Арктика, шельфовые области.

В этих районах находятся большие залежи полезных ископаемых, прежде всего, углеводородного топлива.

Объект исследования – шагающие механизмы и шагающие машины различных известных типов, прежде всего, П.Л.Чебышева, Хойкена, Клана, Тео Янсена.

Предмет исследования – технические и экологические характеристики шагающих механизмов с вопросами безопасности в новых, отличных от традиционных, условиях северных районов и шельфовых областей.

Практическая значимость исследования подтверждена громадными инвестициями, которые различные компании готовы направить за Полярный круг ради получения прибыли от добычи полезных ископаемых, прежде всего углеводородов. Речь идёт не только о таких российских гигантах, как «Газпром», «Лукойл», «Роснефть», «Росшельф» и др., но и о заинтересованных зарубежных партнёрах Wintershall, Conoco, Norsk Hydro, TotalFinaElf, Fortum, Exxon/Mobil, SODECO, ONGC, RD/Shell, Mitsui, Mitsubishi, Texaco, BP, PGS, Hulliberton и др., которые готовы честно сотрудничать с Россией, не нанося ущерб окружающей среде и безопасности людей.

Новизна работы обусловлена как новым подходом к оценке шагового способа передвижения в северных районах, так и конкретными технико-

экологическими решениями для уменьшения неблагоприятного воздействия тяжёлой техники на окружающую среду.

1. Введение

Так ли хорошо колесо, как это кажется на самом деле? Этот вопрос не имеет конкретного ответа, потому что правильный ответ зависит от конкретных условий. Если мы собираемся участвовать в гонках на автомобилях типа «Формула-1», то, конечно, колесо будет единственным рациональным двигателем скоростного транспортного средства, способного обеспечить победу. Нельзя представить без колеса железнодорожный транспорт, автобусы, автомобили в городе. Именно в городе, потому что колесо – это не только техническое, но и социальное изобретение в конкретных исторических условиях, в конкретной географической среде, в средней полосе и в южных областях Земного шара.

А что будет, если переместиться на Север? Или в зимнюю тайгу? В глаза бросятся не колёса, а лыжи, сани, полозья. Колесо не сможет преодолеть снежные сугробы, оно завязнет в них или забуксует.

Проблематичность применения колеса проявляется в средних географических широтах зимой. Мы часто видим буксующие автомобили. Обильные снегопады воспринимаются как стихийные бедствия из-за многокилометровых пробок на автомагистралях, которые были специально построены для быстрого передвижения транспортных средств, но которые не предполагали покрытия их снегом. В городских условиях для удаления выпавшего снега с дорог власти вынуждены содержать многочисленную специальную снегоуборочную технику.

Приведённые примеры показывают, что колесо появилось в конкретных социальных, географических и технических условиях как рациональный двигатель транспортного средства. Но если эти условия слегка изменить, то будет ли колесо выполнять своё предназначение так же эффективно, как и

раньше? Для ответа на этот вопрос мы предлагаем мысленно перенестись за Полярный круг, в область снега и ледяных торосов. Сможет ли колесо преодолеть такие препятствия? А почему мы переносимся в северные районы мысленно? Люди уже начали широкое промышленное освоение северных районов по одной простой причине – залежи полезных ископаемых в средних широтах заканчиваются, а новые находятся в не удобных для людей областях. Не очень удобных потому, что традиционный колёсный транспорт там перестаёт работать, нужны новые эффективные средства передвижения. Сейчас новые транспортные средства для северных районов не определены окончательно, проблема передвижения на Севере не решена технически. Оказалось, что техническое решение непосредственно связано с охраной окружающей среды, с экологией.

В работе начато изучение шагающего транспорта не только с технической точки зрения, но и с экологической, а также с позиции безопасности.

2.

3. Анализ литературы

Перед началом изучения технико-экологического аспекта воздействия тяжёлых шагающих транспортных средств на окружающую среду был проведён анализ литературы в этой области с оценкой современных взглядов на решаемую проблему транспорта Севера.

В работах [1-3] приведены документальные доказательства, фотографии, репортажи очевидцев о пагубном, необратимом воздействии колёс и гусениц на растительность тундры.

Актуальность разработки северных месторождений подробно изложена в статье [4], где приводится перечень разведанных и разрабатываемых месторождений углеводородов.

В энциклопедическом словаре [5] содержится определение шельфа как продолжения континентальной части материка в акватории, приводятся характеристики шельфов.

В работах [6-8] актуальность исследований дополняется примерами дорогих технологических платформ для геологических разработок.

Книга [9] обосновывает необходимость системного, всестороннего подхода к изучению шагающих механизмов на Севере, в том числе экологического аспекта.

В работах [10-16] изучены исторические вопросы создания шагающих механизмов знаменитыми русскими учёными: Пафнутием Львовичем Чебышевым, Иваном Ивановичем Артоболевским и др. По источникам информации [17-20] анализируются зарубежные аналоги шагающих механизмов, созданные Хойкеном, Кланом и Тео Янсенем.

Старинные первоисточники [21, 22] конца XIX века закрепляют приоритет создания шагающих механизмов за русским учёным, механиком и инженером П.Л.Чебышевым.

Сайт [23] сотрудника Московского математического института им. В.А.Стеклова Николая Николаевича Андреева и созданной им команды – это

доступный, простой в понимании сайт с позиции электронно-образовательных ресурсов.

Планируемый Международный семинар (14th Working Meeting IFToMM Permanent Commission for the History of Mechanism and Machine Science, Workshop HMMS-2015, Saint-Petersburg, Russia, May 26-28, 2015) в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете (НИУ) доказывает увеличение интереса к теории механизмов и машин в современном обществе.

Работы [25-33, 38-39] связаны с собственными авторскими разработками и началом собственного индивидуального и командного исследования комплексных вопросов применения шагающих машин на практике в различных областях.

Работа [25] обосновывает возможность создания универсальной шагающей платформы многоцелевого назначения. Доклад [26] на конференции в Московском государственном строительном университете доказывает возможность создания передвижного шагающего фундамента для различных зданий и сооружений. Работа и статья [27], представленные в Московском авиационном институте, направлены на обоснование возможности применения передвижных платформ для сборки и транспортировки крупных узлов ракетно-космической техники. Доклад и статья [28, 29] в Московском физико-техническом институте (МФТИ) на Факультете авиационной и летательной техники (ФАЛТ) в городе Жуковском Московской области с представителями Центрального аэрогидродинамического института (ЦАГИ) им. Н.Е.Жуковского содержат обоснование нового, недавно открытого авторами явления вымывания илистого или сыпучего грунта шельфа стопой шагающего механизма. Статья [30], доложенная в Казанском (Приволжском) федеральном университете, посвящена геологическим применениям тяжёлых шагающих транспортных средств. Работа [31], опубликованная на сайте телекоммуникационной конференции Национального исследовательского ядерного университета (НИЯУ МИФИ) содержит открытую авторами

классификацию шагающих и цепляющих механизмов с особенностями их технической реализации и практического применения. Авторские видеоролики [32,33,38,39] позволяют визуально убедиться в возможности и целесообразности исследования шагающих транспортных средств. Статьи [34,35] посвящены обоснованию актуальности исследования характеристик грунтов и опорных поверхностей, по которым предполагается передвижение тяжёлого шагающего транспортного средства.

Работы [36,37] позволяют провести сравнительный анализ последствий явления вымывания илистого или сыпучего грунта шельфа стопой тяжёлого шагающего механизма с такими природными явлениями, как сход селей и лавин, а также с техногенным явлением сброса воды на Саяно-Шушенской ГЭС.

Изучение литературы продолжается в процессе работы над темой.

4. Экологический аспект применения транспорта в тундре

Северные районы начинают осваиваться всё больше и больше в промышленном направлении. Это связано с обнаруженными запасами полезных ископаемых за Полярным кругом, тогда как в средней полосе и на юге запасы углеводородного топлива заметно уменьшаются. Казалось бы, какая связь может быть между шагающими механизмами и экологией Севера? Напротив, в технической литературе звучит мнение, что точечные опоры шагающей машины не нанесут тундре вреда. Так ли это? Для ответа на многие вопросы применения шагающих машин надо изготовить несколько моделей, чтобы выяснить особенности шагового способа передвижения. Конечно, этот способ передвижения менее травматичный для хрупкой природы тундры, чем колёса или гусеницы. Но это далеко не всегда. Всё зависит от кинематической схемы шагающего движителя. Какой вариант механического средства выбрать для передвижения по тундре, Арктике, льдам, шельфу? Для ответа на этот вопрос надо обратиться к природе. Надо ответить на, казалось бы, простой вопрос: почему многотысячные стада оленей ходят, бегают по тундре, не

наноса вреда её хрупкой природе? Почему учетверённое количество ног оленей не травмирует мох ягель, которым питаются животные. Действительно, если бы олени вытаптывали мох, практически единственный источник их питания и жизнеобеспечения, то они не смогли бы существовать на Севере, лишились бы единственной пищи, вымерли бы. Но олени в тундре не вымирают. Более того, пройдя по тундре, они практически не оставляют за собой следов. За большими стадами оленей остаётся только съеденный ими мох, который скоро заново вырастает, чтобы стать пищей нового стада оленей. Итак, большие стада оленей, не травмируют растительность и почву тундры. А что будет, если по тундре проедет один единственный гусеничный вездеход? На рис.1 показаны следы от гусениц вездехода. Под заголовком этой фотографии значится: «Вездеход прошёл – теперь будут следы на много лет» [1]. И это от одного вездехода массой не более 5 тонн, приблизительно как от стада оленей в 100 голов. Если бы по этому месту проши 100 оленей, то через сутки не осталось бы даже следов их пребывания. Даже эта единственная фотография доказывает актуальность экологического аспекта применения транспортных средств в новых условиях: на Севере, в тундре, на шельфе, в Арктике. Но проблема в том, что через десятилетия колеи затянутся совершенно другими растениями. Экология тундры нарушена. Сначала надо изучить возможные последствия применения транспорта, и только потом разрабатывать средства передвижения, уточнять схемы, дорабатывать, изменять, подстраиваться для сохранения хрупкой природы.



Рис.1. Тундра. Вездеход прошёл – теперь будут следы на много лет.

Для решения проблемы транспорта в тундре надо вспомнить о шаговом способе передвижения. Такой способ особенно актуален для тяжёлых транспортных средств.

5. Актуальность шельфовых разработок углеводородов

В статье [4] приведён анализ разведанных геологических ресурсов углеводородов континентального шельфа России. Они составляют в сумме 98,7 млрд. тонн условного топлива – это более 90% от уже разрабатываемых месторождений. 70 % этих ресурсов расположены в пределах шельфовых зон Карского, Баренцева и Печорского морей.

В таблице 1 приведены объёмы разведанных шельфовых месторождений углеводородного топлива

Таблица 1. Структура ресурсов углеводородов континентального шельфа России

<i>Акватории (моря)</i>	<i>НСП УВ, млн т</i>	<i>Запасы, млн т</i>	<i>Ресурсы, млн т</i>	<i>Накопленная добыча, млн т</i>	<i>Число месторождений</i>
Баренцево	30314,20	4519,52	25794,68	–	11
Печорское					
Карское	41210,45	3731,81	37478,64	–	11
Лаптевых	3260,0	–	3260,0	–	–
Восточно- Сибирское	5583,0	–	5583,0	–	–
Чукотское	3335,0	–	3335,0	–	–
Берингово	1075,0	–	1075,0	–	–
Охотское	8735,20	1737,24	6977,96	20	8
Японское	485,60	4,55	481,05	–	1
Каспийское	3453,45	801,92	2651,53	–	7
Азовское	412,37	23,34	389,03	–	3
Черное	634,77	–	634,77	–	–
Балтийское	66,0	9,86	56,14	–	2
Тихий	113,0	0,75	112,25		–

океан					
Итого	98678,05	10828,27	87829,78	20,0	43

Шельфовые разработки уже ведутся [4]. Например, на шельфе Баренцева моря 11 месторождений, в том числе четыре нефтяных (Приразломное, Варандей-море, Медыньское-море, Долгинское), одно нефтегазоконденсатное (Северо-Гуляевское), три газоконденсатных (Штокмановское, Поморское, Ледовое), три газовых (Северо-Кильдинское, Мурманское, Лудловское) разрабатывают компании: «Газпром», «Росшельф», «Арктикморнефтегазразведка», Wintershall, Conoco, Norsk Hydro, TotalFinaElf, Fortum.

6. Экологический аспект применения транспорта на шельфе

Определение шельфа (англ. Shelf – материковая отмель) приведено в статье [5].

Шельф – это прибрежная материковая зона с глубинами 100-200 м.

Однако на восточном побережье России, в Охотском море, шельфовые глубины достигают 1500-2000 м. Ширина шельфовой области может достигать 1500 км, как в Северном Ледовитом океане. Общая площадь шельфов около 32 млн. км².

На большой шельфовой площади России расположены богатые месторождения полезных ископаемых, прежде всего, углеводородов. Эти залежи приводят к актуальной проблеме шельфового транспорта. Президент Российской Федерации В.В.Путин в интервью [6] итальянской прессе Epi отметил: *"Запасы этих месторождений оцениваются в 36 млрд. баррелей, почти в три раза больше, чем запасы гигантского месторождения Кашаган. Потребуются 10 лет и почти 100 миллиардов долларов, чтобы начать добычу углеводородного сырья. Речь идет о "дорогих" зонах. Мы говорим о широкомасштабном и долгосрочном проекте, который позволит Epi сделать качественный скачок в России. Арктика, покрытое льдом море, - настоящее*

эльдорадо для нефтяных компаний с потенциальными запасами в десятки миллиардов баррелей".

Одновременно с инвестициями появилась проблема освоения этих инвестиций. На чём передвигаться по шельфовым областям?

Морские платформы для добычи углеводородов бывают двух типов: плавучие и стационарные. Например, самой большой в мире плавучей нефтедобывающей платформой является самоходная нефтедобывающая платформа «Eirik Raude», которая названа в честь короля викингов Эрика Рыжего [7]. В России подобные платформы изготавливает фирма «Коралл» в Севастополе. Недостаток плавучих платформ – ограниченная грузоподъёмность.

Второй тип – стационарные платформы. Эти платформы надо доставлять на место добычи углеводородов. Передвижение больших конструкций – это очень сложный технологический процесс. Например, платформа «Кольская» перевернулась и затонула 18 декабря 2011 года при буксировке с Камчатки на Сахалин, погибли 53 человека.

Закономерен вопрос, нельзя ли перемещать большие конструкции, в том числе нефтедобывающие платформы, другим способом, шагая по дну шельфа? На мелководье вполне реально создать шагающие конструкции. Опоры шагающих платформ упираются в дно шельфа, работают на сжатие, поэтому могут быть выполнены из железобетона. Устойчивость таких опор очень хорошая, в том числе во время штормовой погоды. Но исследование шагового способа передвижения больших конструкций по илистому или сыпучему дну водоёма привело к открытию нового опасного для окружающей среды явления – **вымывания грунта стопой шагающего механизма**. Это явление настолько существенное, что потребовалось отдельное исследование возможности применения тяжёлого шагохода на шельфе. Это явление тоже составляет **предмет изучения**.

7. Технический объект и технологический предмет исследования

Для изучения экологического аспекта воздействия шагохода на природу необходимо было не только изучить литературу, но и собрать действующие модели механизмов и машин. Основная начальная задача в техническом плане – повторить модель стопоходящей машины П.Л.Чебышева с некоторыми упрощениями и доработками. На рис.2 показан общий вид авторских стопоходящих машин, изготовленных по схеме. П.Л.Чебышева [11].



Рис.2. Общий вид авторских моделей шагоходов с кинематикой П.Л.Чебышева [11]

8. Экологический аспект траектории стопы шагающих механизмов

Объект исследования - шагающий механизм (двигатель) тяжёлого транспортного средства.

Предмет исследования – технические характеристики шагающего механизма (двигателя) тяжёлого транспортного средства.

Уточнение предмета исследования - технические характеристики шагающего механизма (двигателя) тяжёлого транспортного средства, влияющие на природное равновесие окружающей среды, то есть имеющие наибольшую взаимосвязь с экологией.

В этой работе шагающий механизм (двигатель) тяжёлого транспортного средства (объект исследования) изучается на предмет характеристик, влияющих на окружающую среду (предмет исследования).

Исходные данные для экологического исследования – это конкретные технические и технологические характеристики изучаемых конструкций различных шагающих механизмов.

- 1) Перекрёстный механизм П.Л.Чебышева [10-16].
- 2) Лямбдаобразный механизм П.Л.Чебышева [10-16].
- 3) Лямбдаобразный механизм Хойкена [17].
- 4) Механизм Клана [18].
- 5) Механизмы Тео Янсена [19-20].

Перекрёстный и лямбдаобразный механизмы П.Л.Чебышёва обеспечивают траекторию движения стопы шагающей машины, очень близкую к природной траектории движения стопы человека или копыта животного. На рис.3 показаны схемы этих механизмов.

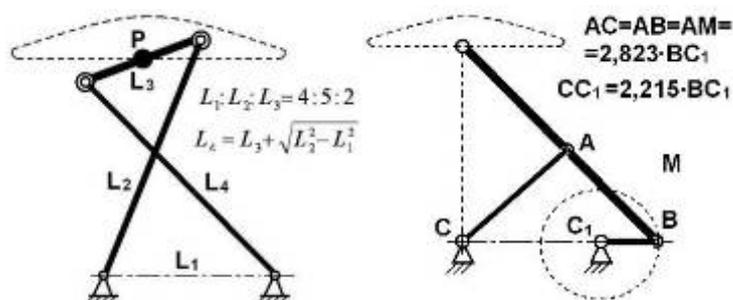


Рис.3. Схемы перекрёстного и лямбдаобразного механизмов П.Л.Чебышёва

В настоящее время оригинальный экспонат стопоходящей машины П.Л.Чебышева хранится в Московском Политехническом музее, доступен для всеобщего ознакомления [11]. У кого нет возможности посетить музей, можно подробно ознакомиться с принципом действия этой машины на сайте Николая Николаевича Андреева и его команды из Московского математического института им. В.А.Стеклова. Мы познакомились с Николаем Николаевичем и он разрешил нам использовать материалы для проведения исследований со ссылкой на сайты «Механизмы П.Л.Чебышева» [10] и «Математические этюды» [23].

Механизм Хойкена очень похож на лямбдаобразный механизм П.Л.Чебышева. Нам удалось найти небольшие отличия только в длине звеньев. В механизме Хойкена приняты более «округлённые» значения по сравнению с механизмом П.Л.Чебышева. Происхождение названия механизма Хойкена – это отдельная тема для исторического исследования. Работа заявлена [24] на 14th

Working Meeting IFToMM Permanent Commission for the History of Mechanism and Machine Science, Workshop HMMS-2015, Saint-Petersburg, Russia, May 26-28, 2015 в Международную федерацию по теории механизмов и машин (IFToMM) в Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого и Московский государственный технический университет им. Баумана. Однако уже сейчас ясно, что приоритет в открытии лямбдаобразного механизма принадлежит русскому учёному, механику и инженеру П.Л.Чебышёву (1878 год, Всемирная выставка в Париже).

Экологический аспект механизмов П.Л.Чебышева и Хойкена следует из природной траектории движения стопы. У этой траектории **пять особенностей**, которые делают механизмы практически незаменимыми для шагающих машин с экологической точки зрения.

Во-первых, траектория стопы механизмов П.Л.Чебышева и Хойкена симметричная. Это означает, что шагающая машина с такими механизмами может одинаково перемещаться как вперёд, так и назад. У всех других изученных механизмов траектория стопы не симметричная, назад механизмы ходят совершенно не так, как вперёд.

Во-вторых, механизмы П.Л.Чебышева обеспечивают равномерное поступательное практически прямолинейное движение платформы, на которой они установлены.

В-третьих, механизмы П.Л.Чебышева и Хойкена обеспечивают замедление движения стопы перед установкой на поверхность. Растения не травмируются при ходьбе.

В-четвёртых, механизмы П.Л.Чебышева обеспечивают вертикальное движение стопы в момент установки её на опорную поверхность, на землю. Это означает, что почва, грунт, растения приминаются стопой таких механизмов, но ни в коем случае не срезаются.

В-пятых, отрыв стопы механизмов П.Л.Чебышева и Хойкена происходит тоже плавно, как и установка. При подъёме стопы растения, почва, грунт тоже не травмируются.

В отличие от механизма П.Л.Чебышева, механизмы Тео Янсена [19,20] не обеспечивают природную траекторию движения ноги человека или животного. На рис.4 приведена схема механизма Тео Янсена с собранной для дальнейшего исследования моделью и с а траекторией движения опорной точки, которую нельзя даже назвать стопой. Модель механизма Тео Янсена была изготовлена из деревянных буковых реек сечением 10x20 мм, снабжена электродвигателем от принтера с рабочим напряжением 12В и ремённым понижающим приводом.

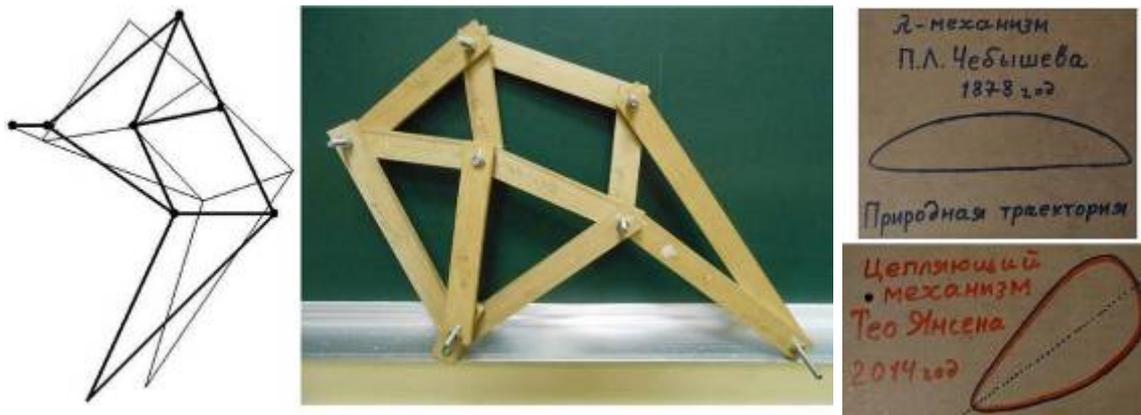


Рис.4. Схема и действующая модель механизма Тео Янсена

Траектория движения опорной точки (но ни в коем случае не стопы!) механизма Тео Янсена обладает очень негативными для экологии свойствами.

Во-первых, эта траектория не симметричная, в отличие от механизма П.Л.Чебышева. Это означает, что движение шагающей машины будет различным вперёд и назад.

Во-вторых, на этой траектории нет прямолинейного участка движения. Это означает, что после касания с землёй механизм будет подпрыгивать, создавая дополнительную неинерциальную нагрузку по вертикали, травмируя растения и почву.

В-третьих, воздействие на растения и почву будет зависеть от направления движения.

В-четвёртых, отрыв опоры от земли происходит тоже не вертикально, а под углом, что очередной раз срезает растения и почву.

Следовательно, с траекторной точки зрения механизм П.Л.Чебышева близок к природному, минимально травмирует растения и верхний слой почвы,

тогда как механизм Тео Янсена оказывает пагубное влияние на растительность, срезая растения и корни.

9. Экологический аспект давления стопы шагающих механизмов

Шагающий механизм может быть основой, подвижным фундаментом для зданий и сооружений различного назначения. Если этот механизм рассматривать как фундамент для зданий, то надо определить площадь стоп, потому что различные грунты выдерживают различную нагрузку. Методика расчёта опорной площади приведена в статье [34]. Актуальность строительства на Севере сомнений не вызывает. Например, России за Полярным кругом возрождает, практически заново строит военную базу [35]. При таком строительстве надо учитывать свойства грунтов, прежде всего, сопротивление грунта сжатию от опоры. Расчетное сопротивление грунта – это максимально допустимое давление фундамента на грунт. Конкретные значения расчетного сопротивления для различных грунтов взяты из статьи [34] и приведены в табл.2.

Таблица 2. Значения расчетных сопротивлений грунтов

Виды грунтов		Расчетное сопротивление грунтов (кг/см ²)	
		Плотные	Средней плотности
Пески	Гравелистые и крупные независимо от их влажности	4,5	3,5
	Средней крупности независимо от их влажности	3,5	2,5
	Мелкие	3,0	2,0

	маловлажные		
	Мелкие очень влажные и насыщенные водой	2,0	2,5
Глины	Твердые	6,0	3,0
	Пластичные	3,0	1,0
	Крупнообломочные, щебень, галька, гравий	6,0	5,0

Закономерен вопрос, как давление стопы влияет на экологию, на природное равновесие? Простейшая задача – движение по снегу. Оно очень похоже на движение по мягкому тундровому мху ягелю. Как не провалиться в снегу? Как не продавить мох? Для этого достаточно оценить давление стопы человека или копыта животного на грунт. Природа распорядилась так, чтобы люди и животные имели возможность передвигаться по различным грунтам, даже по снегу и по глине. Характерная масса человека 100 кг при общей площади ступни 2 дм², а двух ступней 4 дм². Следовательно, давление ступней на грунт будет в пределах 0,5-0,25 атм. Эти значения характерны и для животных, в том числе для оленей, которые при передвижении не травмируют растительность.

Шагающий механизм способен практически неограниченно уменьшать давление конструкции на грунт, сохраняя растения невредимыми. Под стопой шагохода растения слегка примнутся, но потом распрямятся и будут продолжать расти. Среза растений не происходит.

10. Новое экологическое явление – вымывание грунта шельфа стопой шагохода

Для освоения шельфовых месторождений вполне реально создать шагающие буровые вышки. Такие буровые могут шагать по шельфу, по дну морей с небольшими глубинами. Конечно, для больших глубин, в сотни метров и километры, шагающий механизм не реален. Но он вполне возможен в

прибрежной области на мелководье с глубинами единицы-десятки метров. При анализе шагового способа передвижения по илистому или сыпучему дну было обнаружено явление вымывания грунта из-под стопы движителя [28, 29]. Это явление непосредственно связано с экологией шельфа и акватории, с влиянием шагающего механизма на окружающую среду. Суть явления заключается в вытеснении воды из-под стопы при опускании стопы на дно. При опускании стопы вода вытесняется радиально во все стороны от вертикали. Получено выражение для радиальной скорости вытесняемой воды. Радиальная скорость обратно пропорциональна высоте столба воды под стопой. В процессе приближения стопы шагохода к сыпучему дну радиальная скорость воды неограниченно возрастает. Если дно илистое или сыпучее, то частицы грунта подхватываются потоком вытесняемой воды и относятся в сторону. Под стопой образуется углубление. Площадь опоры уменьшается, давление на грунт увеличивается, стопа проваливается в это углубление.

Выражение для радиальной скорости вытесняемой воды получается из гипотезы несжимаемой жидкости и из уравнения неразрывности потока жидкости в вертикальном и радиальном направлениях: $2\pi R H V_r = \pi R^2 V_h$. Получаем формулу для радиальной скорости вытесняемого стопой потока воды

$$V_r = \frac{R}{2H} V_h.$$

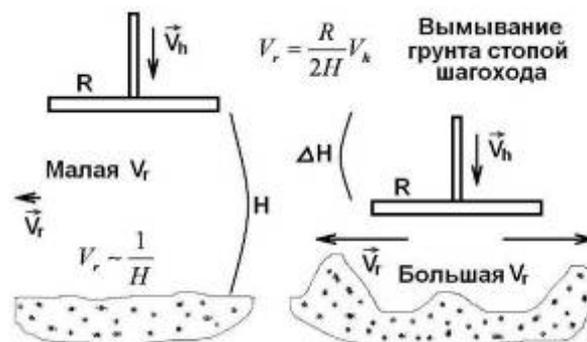


Рис.5. Физическое явление вымывания грунта стопой шагохода

При больших высотах радиальная скорость маленькая, энергии потока воды не хватает для подхвата частиц грунта. Но при малых высотах радиальная скорость становится большой, частицы грунта подхватываются потоком воды и

относятся в сторону от стопы. Под стопой образуется углубление, в которое проваливается опора. Результаты предварительных исследований докладывались на 57-й научной конференции в Московском физико-техническом институте (МФТИ) на Факультете аэромеханики и летательной техники (ФАЛТ) в городе Жуковском Московской области [28, 29]. На этой конференции присутствовали представители Центрального аэрогидродинамического института (ЦАГИ) им. Н.Е.Жуковского. При обсуждении полученных результатов было отмечено, что плоская тяжёлая пластина при падении в жидкости всегда касается дна с нулевой скоростью. Это результат возникновения сингулярностей, то есть бесконечных значений, характеристик потока. В частности, скорость вымывающей жидкости, действительно, получается бесконечной с теоретической точки зрения. На практике такие задачи решают экспериментально, например, в гидробассейнах.

Обнаруженное физическое явление вымывания грунта позволяет сформировать уточнённые требования к площади опор шагающего механизма, предложить конструкцию для ослабления этого явления, а также создать стопу, безразличную к вымыванию грунта, гребёнчатой или сетчатой формы. Обнаруженное новое явление имеет не только технический аспект обеспечения устойчивого, надёжного движения шагохода по дну акватории, но и экологический. Актуальной является задача оценки интенсивности вымывания грунта. Может оказаться так, что после передвижения тяжёлого шагающего средства по шельфу на дне останутся безжизненные камни, а подводная растительность будет полностью уничтожена.

11. Теоретическая оценка экологических последствий вымывания грунта стопой тяжёлого шагающего средства

Для выполнения теоретического исследования возможных последствий передвижения тяжёлого шагохода по дну акватории, по шельфу была предположена большая масса конструкции, сравнимая с массой Исаакиевского

собора в Санкт-Петербурге. Получены результаты расчёта технических характеристик по следующим исходным данным.

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!

Как эти технические характеристики могут повлиять на экологию акватории шельфа?

На рис.6 показана схема вытеснения воды стопой шагохода с полученными техническими характеристиками, то есть с характерной площадью опоры 1 гектар.

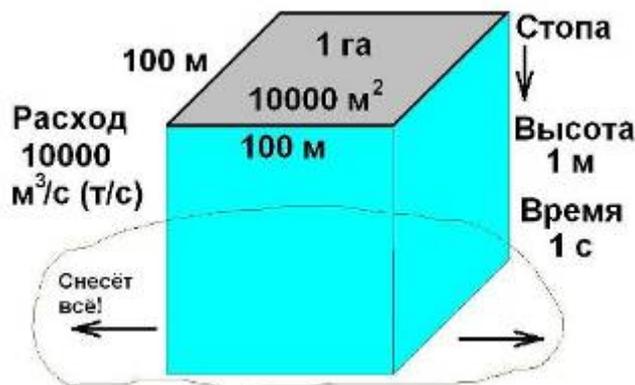


Рис.6 Схема вытеснения воды стопой шагохода

Пусть стопа шагающего механизма находится на высоте 1 метр от илистого или сыпучего дна шельфа и опускается на него за 1 секунду, то есть со средней скоростью 1 м/с. Между стопой и дном находится объём воды 10000 кубометров с массой 10000 тонн. Эта вода будет вытеснена стопой шагохода за одну секунду. Радиальный, направленный горизонтально в разные стороны, средний расход вымывающей грунт воды при опускании стопы будет равен 10000 т/с.

Приведём два сравнения полученного значения с известными характеристиками.

Справка 1 (учебник Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС) для высших учебных заведений [36]). Расход массы при сходе природных селей равен 10-2000 т/с, то есть в 5-1000 раз меньше.

Справка 2 (характеристики Саяно-Шушенской ГЭС [37]). Рабочий гарантированный расход воды составляет 1800 т/с. Аварийные сбросы – до 7500 т/с.

Вывод по разделу.

Если сравнить расход вымывающей воды стопой тяжёлого шагохода с природными селями и с мощной Саяно-Шушенской ГЭС, то не остаётся никаких сомнений в актуальности экологических последствий применения такой, казалось бы, «безобидной» для природы техники. Можно с уверенностью утверждать, что после потока воды с расходом 10000 т/с на дне водоёма, на поверхности шельфа не останется ничего живого. Останутся только голые камни на долгое время, потому что ил будет принесён на пустынный след только через несколько лет за счёт естественных процессов. Передвижение тяжёлого шагохода по илистому или песчаному дну очень напоминает передвижение колёсных и гусеничных тягачей по тундре. В обоих случаях образуются следы передвижения, которые затягиваются годами, а после восстановления на них появляются совершенно другие растения.

12. Экспериментальное исследование вымывания грунта стопой шельфового шагохода

Для экспериментального подтверждения существования явления вымывания грунта стопой шагающего механизма была собрана установка из ёмкости с водой, модели стопы и видеокамеры. В прозрачную ёмкость с водой была помещена модель илистого или сыпучего грунта – пшённая крупа. Частицы пшённой крупы имеют сферическую форму, очень хорошо моделируют песчаный сыпучий грунт. Модель стопы шагохода опускалась на

дно ёмкости с водой и моделью сыпучего грунта или поднималась вверх с различными скоростями. Процесс опускания или поднимания модели стопы фиксировался видеокамерой. Полученные видеокadres позволяют не только увидеть картину вымывания грунта, но и посмотреть динамику процесса во времени, так как частота кадровой развёртки видеокамеры известна, составляет 24 кадра в секунду. Программное обеспечение компьютера позволяет просматривать полученный видеофильм со шкалой времени с точностью до 1 миллисекунды, что вполне достаточно для фиксации основных явлений.

В Приложении размещены две серии фотографий полученного видеофильма о вымывании сыпучего грунта моделью стопы шагохода.

На рис.7 показано обобщение двух режимов обтекания стопы шагающего механизма вымывающей грунт водой – ламинарного и турбулентного.



Рис.7. Обобщённые схемы двух режимов вымывания сыпучего грунта.

Процесс вымывания грунта стопой тяжёлого шагающего механизма позволяет утверждать о двух причинах дополнительного, более сильного проваливания стопы в илистый или сыпучий грунт. Во-первых, из-за эрозии грунта мощным вымывающим потоком воды. Во-вторых, из-за уменьшения площади опоры стопы, отклонения от плоской формы с образованием бугорков, которые потом раздавливаются стопой. Эти причины приводят к сильному воздействию транспортного средства на дно акватории и шельфа, последствия которого могут оказаться непредсказуемыми в экологическом, природном отношении.

С технической точки зрения важна сила, действующая на стопу со стороны воды. Для тяжёлого шагохода она может достигать 500 тс. Для

справки: масса ракетно-космического комплекса «Энергия-Буран» была равна 2000 т.

13. Техническое предложение конструкции антивывмывающей стопы

В этой работе было показано, как технические характеристики шагающего механизма влияют на окружающую среду. Технические характеристики шагохода были исследованы с экологической точки зрения. Наличие богатых природных ресурсов не остановит их добычу даже с нарушением экологических требований. Однако вполне реально снизить неблагоприятное влияние применения шагающих механизмов на стадии их проектирования. Одно из таких предложений уже реализовано в изготовленной действующей металлической модели шагающей машины. Это антивывмывающая грунт конструкция стопы.

Суть технического предложения заключается в установке одной опоры рядом с другой. Это можно сделать, например, в виде гребёнчатой конструкции опор, когда одна гребёнка входит в другую. Одна гребёнка прижимает илистый или сыпучий грунт к дну шельфа, закрывает его своей поверхностью. Другая гребёнка создаёт сильный вымывающий грунт поток воды. Однако этот поток проносится над поверхностью первой гребёнки, которая закрывает и защищает грунт от вымывания. Конечно, какая-то часть грунта всё равно будет вымываться, но интенсивность этого неблагоприятного процесса будет уменьшена во много-много раз. Возможный гребёнчатый вариант конструкции такой антивывмывающей грунт стопы шагохода показан на рис.8.

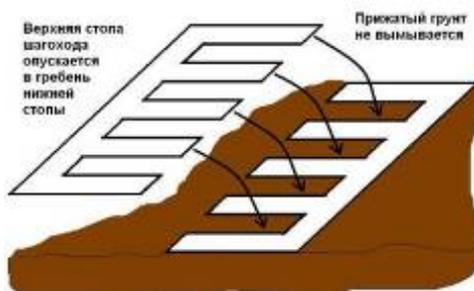


Рис.8. Возможный гребёнчатый вариант конструкции антивывмывающей стопы

На металлической модели шагохода был изготовлен вариант двух стоп-лыж, который успешно был испытан на снегу. Этот вариант появился в результате наблюдения за лыжниками, которые ходят по снегу и не проваливаются в него.

14. Модификация стопоходящей машины П.Л.Чебышева

Изучение шагового механизма П.Л.Чебышева позволило провести модификацию и создать макет несколько изменённой стопоходящей машины. Нельзя ли модифицировать стопоходящую машину П.Л.Чебышева? Для ответа на этот вопрос был проведён анализ конструкции стопоходящей машины. В традиционном оригинальном исполнении конструкция состоит из четырёх лямбдаобразных механизмов. Синхронизация работы четырёх лямбдаобразных механизмов выполнена так, что любые два смежных механизма работают в противофазе, а диагональные пары – в синфазе. Противофаза левой и правой пар лямбдаобразных механизмов обеспечена разворотом механизмов на 180^0 друг относительно друга при синфазном вращении ведущих кривошипов. Ведущие кривошипы в правой и в левой парах лямбдаобразных механизмов соединены синхронизирующими шатунами. Сразу появился вопрос о необходимости этих шатунов. Единственное их назначение – это увеличение продольной базы стопоходящей машины. Синхронизирующие шатуны вполне можно исключить из конструкции. Рассмотрим более подробно пару лямбдаобразных механизмов, безразлично, правую или левую. Применим к рычажному шарнирному механизму с одной степенью свободы формулу Чебышева [4]. Схемы исходного и модифицированного механизмов показаны на рис.9.

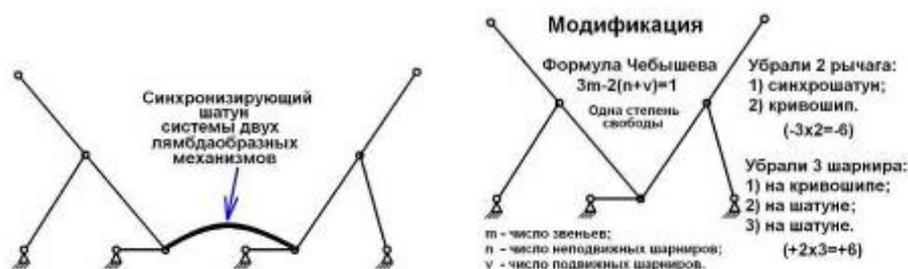


Рис.9. Исходный и модифицированный механизмы П.Л.Чебышева

Математически такая возможность исключения синхрошатуна обоснована структурной формулой П.Л.Чебышева для рычажных механизмов с вращательными кинематическими парами и одной степенью свободы [4]: $3m - 2(n + v) = 1$, где

m - количество рычагов в шарнирном механизме;

n - количество неподвижных шарнирных соединений;

v - количество подвижных шарнирных соединений.

Если применить формулу Чебышева к одному лямбдаобразному механизму, то надо предположить количество рычагов $m = 3$, количество неподвижных шарниров $n = 2$, количество подвижных шарниров $v = 2$. Удобнее определять общее количество шарниров $n + v = 4$. В одном лямбдаобразном механизме получается одна степень свободы:

$$3m - 2(n + v) = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 9 - 8 = 1.$$

Если применить формулу Чебышева к системе двух лямбдаобразных механизмов как к единой системе, то количество рычагов и шарниров возрастает не в два раза, а больше. Такая система из двух лямбдаобразных механизмов установлена на правой и на левой парах стоп в шагающей машине П.Л.Чебышева. В системе из двух лямбдаобразных механизмов, во-первых, добавляется синхронизирующий шатун, который связывает ведущие кривошипные – получается $M = 2m + 1 = 2 \cdot 3 + 1 = 7$ рычагов. Во-вторых, добавляются два подвижных шарнира $2v + 2 = 6$, при этом общее количество шарниров становится равным $N + V = 2(n + v) + 2 = 2 \cdot 4 + 2 = 10$. Применяем формулу Чебышева к системе двух лямбдаобразных механизмов, связанных синхронизирующим шатуном, как к единой системе, чтобы определить количество степеней свободы рычажной системы:

$$3M - 2(N + V) = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 = 1.$$

Следовательно, в системе двух лямбдаобразных механизмов, связанных синхронизирующим шатуном, сохраняется одна степень свободы. Технически эта степень свободы реализована углом поворота и вращением ведущего

кривошипа, к которому прикладывается крутящий момент от редуктора и электродвигателя.

Авторская доработка-модификация шагохода.

Если убрать шатун в одной паре лямбдаобразных механизмов, левой или правой, то можно убрать один из ведущих кривошипов. Число подвижных звеньев уменьшается на 2 – это минус шесть в левой части формулы П.Л.Чебышева. Но одновременно исключаются три шарнира – это плюс шесть в левой части формулы П.Л.Чебышева. Левая часть формулы не изменяется. Система лямбдаобразных механизмов будет работоспособна. На один ведущий кривошип крепится сразу два лямбдаобразных механизма.

Макет модифицированного шагохода создан, испытан, действует. Изготовлен металлический макет модифицированной стопоходящей машины.

15. Выводы

1. Цель работы достигнута. Предложен движитель тяжёлого транспортного средства по малопрочным поверхностям: тундре, Арктике, шельфу, льду. Это шагающий механизм с природной траекторией движения опорной стопы.

2. В процессе исследования изучался не только технический аспект применения шагающих машин в северных районах и на шельфах, но и связанный с ними экологический аспект. Показано, что снижение неблагоприятного воздействия транспортных средств на окружающую природу северных районов и шельфов требует принципиально новых технических решений, например, шагающих движителей.

3. Доказана актуальность проводимых исследований ввиду постепенного и всё более интенсивного продвижения промышленности на Север, к богатым, нетронутым пока ресурсам, прежде всего, углеводородному топливу.

4. Экономические показатели предполагаемых инвестиций и предполагаемой прибыли требуют ускорения технических разработок в области

северных и шельфовых транспортных средств, в том числе шагающих. Платформы окупаются за 6 лет.

5. С экологической точки зрения изучены шагающие и цепляющие механизмы, сформулировано понятие природной траектории движения стопы человека или животного.

6. Предпочтительной для технической реализации с экологической точки зрения является траектория стопы в механизмах П.Л.Чебышева.

7. С позиции экологии не целесообразно применять в шагающих механизмах системы Тео Янсена, которые срезают стебли и корни растений.

8. Практическая значимость работы обоснована принципиально новой, экологически изученной техникой до начала её широкого применения в промышленности.

9. Новизна работы предполагает патентование разрабатываемых технических решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электронный ресурс: [Ледяная страна, Гринпис и тролли](#). Вездеход прошёл - теперь будут следына много лет. - [subscribe.ru](#) - *SaIL* OR 23.10.2013

Фотография с сайта: <http://yandex.ru/images/>

2. Электронный ресурс: Здесь в тундре проехал вездеход лет 10 назад.- [yacht-master.ru](#) // [Фоторепортажи](#). Разместил [yachtcaptain](#)

3. Электронный ресурс: [m.gazeta.ru](#) Газета.Ru - [ФОТОРОПЕРОТАЖ](#)

Следы вездехода в тундре со свежей травяной растительностью.

4. Обзор российских шельфовых месторождений // Биофайл. Научно-информационный журнал / Электронный ресурс: <http://biofile.ru/geo/15422.html>

5. Энциклопедический словарь / Электронный ресурс: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/es/64984/>

6. Eni и "Роснефть": за нефтью в Арктику // Энергобеларусь. Электронный ресурс (дата обращения 06.09.2014, 10:33): http://energobelarus.by/news/V_mire/eni_i_quot_rosneft_quot_za_neftyu_v_arktiku/

7. Самая большая в мире самоходная нефтедобывающая платформа «Eirik Raude» / Корабельный портал <http://korabley.net> // Электронный ресурс: http://korabley.net/news/samaya_bolshaya_v_mire_samohodnaya_neftedobivayschay_a_platforma_eiric_raude/2009-04-20-219
8. Главные события дня. Платформа "Кольская" перевернулась // rusnovosti.ru [Все рубрики Русская служба новостей](http://rusnovosti.ru)
9. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Глав. ред. физ.-мат. литературы изд-ва «Наука», 1968. - 356 с.
10. Электронный ресурс «Механизмы П.Л.Чебышёва» (дата обращения 06.09.2014, 20:09): <http://tcheb.ru/>
11. Экспонат Московского Политехнического музея. – Отел Автоматики. – Экспонат ПМ №19472. – Стопоходящая машина П.Л.Чебышёва.
12. О преобразовании вращательного движения в движение по некоторым линиям при помощи сочленённых систем / Полное собрание сочинений П.Л.Чебышёва. – Том IV. – Теория механизмов. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – С.161-166.
13. 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.52-54.
14. Артоболевский И.И. Теория механизмов. – М.: Наука, 1965. – 776 с. – С.2627.
15. Электронный ресурс (дата обращения 06.09.2014, 19:27): ru.wikipedia.org/wiki/Чебышёв,_Пафнутий_Львович
16. Собрание сочинений П.Л.Чебышёва / Под ред. А.А.Маркова и Н.Я.Сониной. – Том II. – СПб. – 1907. – Стр.726-732.
17. Электронный ресурс (дата обращения 06.09.2014, 19:27): ru.wikipedia.org/wiki/Механизм_Хойкена
18. Электронный ресурс «Механизм Кланна» (дата обращения 06.09.2014, 20:33): https://ru.wikipedia.org/wiki/Механизм_Кланна

19. Механизмы Тео Янсена / Электронный ресурс (дата обращения 01.01.2015, 12:21): http://www.mekanizmalar.com/theo_jansen.html
20. Механизмы Тео Янсена / Электронный ресурс (дата обращения 01.01.2015, 12:39): <http://interesko.info/kineticheskaya-skulptura-teo-yansena/>
21. Bulletin de la societe mathematique de France. – Т.ХII. – 1884. – P.179-187.
22. Школа математики чистой и прикладной. - №1. – 1885. – СПб.
23. Электронный ресурс «Математические этюды» (дата обращения 06.09.2014, 20:09): <http://www.etudes.ru/ru/etudes/stopohod/>
24. 14th Working Meeting IFToMM Permanent Commission for the History of Mechanism and Machine Science, Workshop HMMS-2015, Saint-Petersburg, Russia, May 26-28, 2015 (работа заявлена).
25. Скворцова А.А., Папиашвили Э.Д. Универсальная передвижная шаговая платформа для освоения тундры и Арктики // Материалы 8-го Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых учёных «Наука и инновации в технических университетах». – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 170 с. – ББК 30.1 Н34 - С.6-8.
26. Папиашвили Э.Д., Скворцова А.А. Шагоход как подвижный фундамент в тундре и в Арктике // Международная конференция «Интеграция, партнёрство и инновации в строительной науке и образовании». – М.: МГСУ-МИСИ, 12-13 ноября 2014 г.
27. Папиашвили Э.Д., Скворцова А.А. Шагающая платформа для стартовых комплексов // Сборник аннотаций. Конкурс научно-технических работ и проектов. Всероссийский форум «Молодёжь и будущее авиации и космонавтики – 2014», Московский авиационный институт (НИУ), Aerospace Science Week, 17-21 ноября 2014 г. – С.179-184. - ISBN 978-5-206-00928-6. - УДК 629.7. - ББК 94.3 39.52 39.62. – Эл. ресурс <http://files.mai.ru/site/conf/mforum/docs/sbornik2014.pdf>
28. Скворцова А.А., Папиашвили Э.Д. Гидродинамика шельфового шагохода // Труды 57-й научной конференции МФТИ: Всероссийской научной

конференции с международным участием «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в области физики». – Аэромеханика и летательная техника. – М: МФТИ 24-29 ноября 2014 г. – С.65-67. – ISBN 978-5-7417-0526-1. – УДК 51:53:629.7. – ББК 22.253+39.52 Т78.

29. Скворцова А.А., Папиашвили Э.Д. Гидродинамика шельфового шагохода // Программа 57-й научной конференции МФТИ: Всероссийской научной конференции с международным участием «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в области физики». – Аэромеханика и летательная техника. – М: МФТИ 24-29 ноября 2014 г. – С.54. – ISBN 978-5-7417-0550-6. – УДК 53(06). – ББК 20 П78.

30. Папиашвили Э.Д., Скворцова А.А. Универсальная шагающая платформа для геологоразведки и нефтедобычи // Сборник тезисов Всероссийской школы-конференции студентов, аспирантов и молодых учёных "Материалы и технологии XXI века" 11-12 декабря 2014 г. / Отв. ред. А.В.Герасимов. [Электронный ресурс] - Казань.: Изд-во КФУ, 2014. – 1 электрон. опт. диск(CD-ROM); 12 см. - Систем. требования: ПК с процессором 486+; Windows 95; дисковод CD-ROM; Adobe Acrobat Reader. - С.132. - http://media.wix.com/ugd/14a693_bb35b54325b240739e9c2499bc6d6859.pdf

31. Скворцова А.А., Папиашвили Э.Д. Физика шагающих и цепляющих механизмов // 18-я Международная телекоммуникационная конференция молодых учёных и студентов «Молодёжь и наука». – М.: НИЯУ МИФИ, октябрь 2014 – февраль 2015. – Эл. ресурс <http://mn.mephi.ru/articles/1189>

32. Папиашвили Э.Д., Скворцова А.А. Эл. ресурс «Шагоход для тундры, Арктики и для быта». – <http://youtu.be/7ojY7M-ON0M>

33. Папиашвили Э.Д., Скворцова А.А. Электронный ресурс «Шаговые двигатели, или чего не было у Пафнутия Львовича Чебышева». – Конкурс «Новые проекты из старых журналов». – Программа Intel Education Galaxy. – Заявка №23 (статус заявки: на рассмотрении). - http://youtu.be/2de2t_IBtU

34. Электронный ресурс: «Конструкции и материалы» (дата обращения 10.09.204, 10:37): <http://acadomia.ru/faq/376/478/>

35. На расположенных в Арктике Новосибирских островах Вооруженные силы Российской Федерации создают постоянную базу для Северного флота // Интерфакс. Электронный ресурс (дата обращения 06.09.2014, 10:37): <http://news.mail.ru/politics/19438335/?frommail=1>

36. Электронный ресурс: «Оценка последствий схода селей и лавин» / Академия ГПС МЧС России. - <http://www.agps-mipb.ru/index.php/2011-01-08-07-37-51/391-3-3-ocenka-posledstvij-sxoda-selej-i-lavin.html>

37. В.И. Бабкин: Анализ нынешнего состояния Саяно-Шушенского гидрологического узла // Электронный ресурс: <http://poisk.livejournal.com/145986.html>

38. Папиашвили Э.Д., Скворцова А.А. «Универсальная шагающая платформа для освоения тундры, Арктики и шельфовых областей. Экологический аспект». Электронный ресурс: Видеоролик (12 минут). Дата размещения 10.01.2015. - <http://youtu.be/xodSDOjpdLM>

39. Скворцова А.А., Папиашвили Э.Д. «Универсальная шагающая платформа для освоения тундры, Арктики и шельфовых областей. Технико-экономический аспект». Электронный ресурс: Видеоролик (12 минут). Дата размещения 10.01.2015. - <http://youtu.be/xfYWY-PLZJw>

Приложение 1.

Программа и результаты расчёта прямолинейного участка природной траектории стопы в механизме 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,filgr,filrad,

OM,alfagr,alfarad,

```

OA,AB,BC,BM,AM,OC,AC,MC,
ACOrad,ACOgr,OACgr,OACrad,BACrad,BACgr,OAMgr,OAMrad,
AOMrad,AOMgr
:real;
i :integer;
BEGIN
OA:=1;
AB:=2.5;
BC:=2.5;
BM:=2.5;
OC:=2;
AM:=AB+BM;
fi1rad:=arccos((OC*OC+(OA+AB)*(OA+AB)-BC*BC)/2/OC/(OA+AB));
fi1gr:=fi1rad*rad;
for i:=45 to 180 do
begin{cicl}
figr:=i;
firad:=figr/rad;
if figr=fi1gr then
begin{2}
alfagr:=fi1gr; alfarad:=alfagr/rad;
OM:=OA+AM;
end{2};
if (figr>fi1gr) and (figr<180) then
begin{3}
AC:=sqrt(OA*OA+OC*OC-2*OA*OC*cos(firad));
ACOrad:=arccos((AC*AC+OC*OC-OA*OA)/2/AC/OC);
ACOgr:=ACOrad*rad;
OACgr:=180-figr-ACOgr;
BACrad:=arccos((AC*AC+AB*AB-BC*BC)/2/AC/AB);

```

```

BACgr:=BACrad*rad;
OAMgr:=OACgr+BACgr; OAMrad:=OAMgr/rad;
OM:=sqrt(OA*OA+AM*AM-2*OA*AM*cos(OAMrad));
AOMrad:=arccos((OA*OA+OM*OM-AM*AM)/2/OA/OM);
AOMgr:=AOMrad*rad;
alfagr:=figr-AOMgr; alfarad:=alfagr/rad;
end{3};
if figr=180 then
begin{4}
OAMrad:=arccos((AB*AB+AC*AC-BC*BC)/2/AB/AC);
OM:=sqrt(OA*OA+AM*AM-2*OA*AM*cos(OAMrad));
MC:=sqrt(AM*AM+AC*AC-2*AM*AC*cos(OAMrad));
alfarad:=arccos((OM*OM+OC*OC-MC*MC)/2/OM/OC);
alfagr:=alfarad*rad;
end{4};
x:=OM*cos(alfarad);
y:=OM*sin(alfarad);
writeln(figr,' ',alfagr,' ',x,' ',y);
end{cicl};
END.

```

Графическое представление результатов расчёта прямолинейного участка природной траектории стопы в механизме П.Л.Чебышева

Угол поворота
кривошипа

45°

180°

отклонения от
прямой

< 1 мм

на 20 см

Приложение 2.

Кадры видеofilьма процесса вымывания грунта стопой шельфового шагохода

Возможны два случая движения стопы шагохода в воде около сыпучего или илистого дна. Сначала рассмотрим ламинарное движение воды при обтекании ступни шагохода. Такое движение опытным путём моделировалось в прозрачной ёмкости с водой и сыпучим дном. На серии фотографий первая буква обозначает режим обтекания (Л – ламинарный). Такой режим будет, если стопа медленно опускается на дно. Следующая пара цифр означает секунды видеосъёмки, а последняя пара цифр – сотые доли секунды. Под каждой фотографией приводится пояснение.



Л-25-75

Стопа опускается, но ещё далека от сыпучего дна.



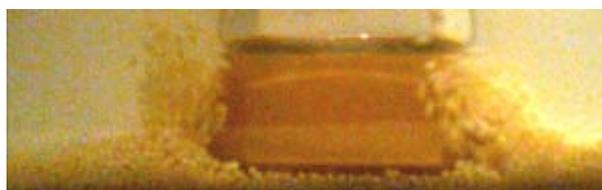
Л-25-87

Начинается движение сыпучего дна от вытеснения воды стопой.



Л-25-96

Явно видно вымывание сыпучего грунта стопой.



Л-26-05

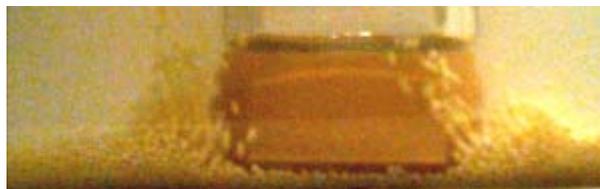
Особенно сильно вымывание происходит в момент постановки стопы на грунт.

Ламинарный режим переходит в турбулентный из-за большой радиальной скорости потока.



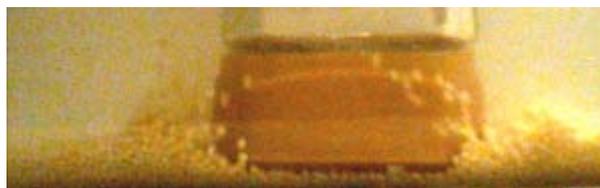
Л-26-14

Сильное вымывание сыпучего грунта.



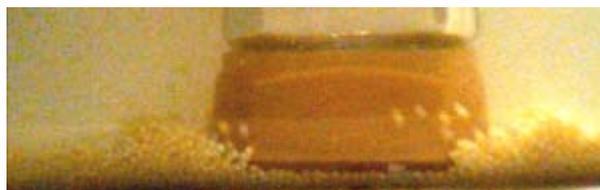
Л-26-25

Сыпучий грунт оседает вокруг стопы.



Л-26-35

Оседание сыпучего грунта в воде вокруг стопы.



Л-26-46

Оседание сыпучего грунта вокруг стопы.



Л-26-55

Грунт практически осел вокруг стопы.



Л-27-85

Вокруг стопы образовался наплыв из сыпучего грунта. Провал стопы в грунт.



Л-28-26

Стопа начинает подниматься.



Л-28-35

Ламинарное течение всасывает грунт под стопу.



Л-28-45

Вихрей нет, образуются два бугорка.



Л-29-36

При большой высоте подъёма стопы течение прекращается.



Результат ламинарного вымывания грунта – два бугорка.

Теперь рассмотрим турбулентное движение воды при обтекании ступни шагохода. Такое движение опытным путём моделировалось в прозрачной ёмкости с водой и сыпучим дном быстрым опусканием стопы. На серии фотографий первая буква обозначает режим обтекания (Т – турбулентный). Такой режим будет, если стопа быстро опускается на дно. Следующая пара цифр означает секунды видеосъёмки, а последняя пара цифр – сотые доли секунды. Под каждой фотографией приводится пояснение.



Т-35-04

Образование вихрей вокруг стопы.



Т-35-15

Вихри усиливаются, когда стопа вблизи дна.



Т35-21

Самые сильные вихри в момент достижения стопой дна.



T-36-64

Сыпучая среда осела вокруг стопы на большем расстоянии по сравнению с ламинарным режимом обтекания.



T-37-03

При быстром движении стопы вверх сыпучая среда двумя вихрями всасывается под стопу.

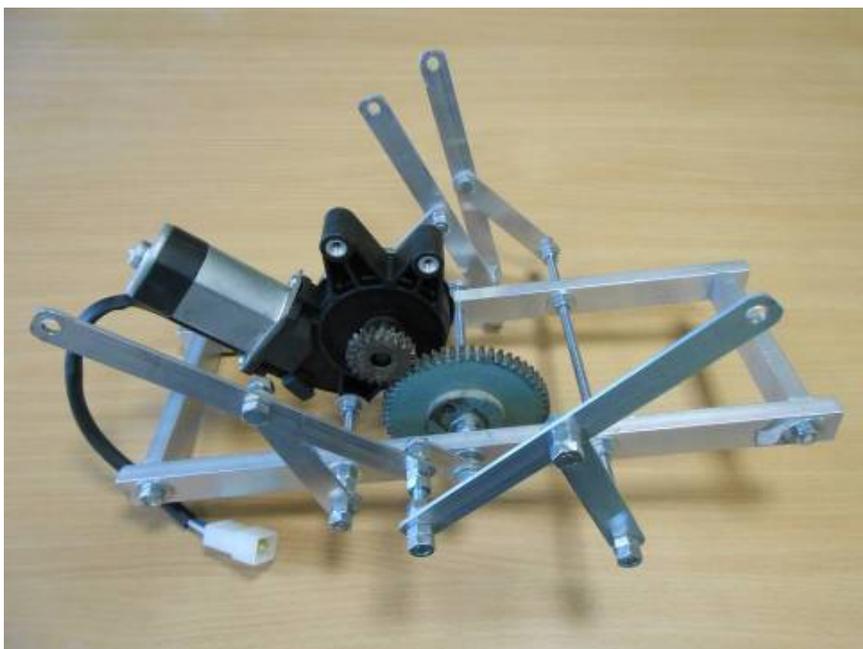


T-37-09

Под стопой начинает образовываться бугорок.



Результат вымывания грунта турбулентным потоком – один бугорок.



Механика модифицированной модели металлического шагохода

Авторские видеоролики по теме работы

<http://youtu.be/xfYWY-PLZJw> (ведущая Анастасия Андреевна Скворцова)

<http://youtu.be/xodSDOjpdLM> (ведущая Эльвина Давидовна Папиашвили)

<http://youtu.be/7ojY7M-ON0M> (первая деревянная модель, сентябрь 2014 г.)

http://youtu.be/2de2t_IBtU (шаговые двигатели)