

СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СУДНА

SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ECOLOGICAL SAFETY OF THE SHIP

УДК 625.1/.5+62-877+656.97

DOI: 10.37890/jwt.vi85.609

Канатная дорога (переправа) на мускульной тяге: экспериментальная модель

И.Ю. Гордлеева

ORCID: 0009-0008-2079-4406

Н.М. Прокопенко

ORCID: 0009-0004-5650-0589

*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород,
Россия*

Аннотация. Предлагается совершенно новый экономичный тип канатной дороги на малых расстояниях (до 300 м), функционирующий с помощью мышечных усилий человека. Приведены обоснования для разработки канатной дороги на мускульной тяге. Рассмотрены области применения данной системы канатных дорог как транспортное средство, переправа через реки в отдаленных местностях, переправа в областях со сложным рельефом, а также, как аттракцион для туристов в черте города. Проанализированы вариации исполнения нескольких типов канатных дорог на мускульной тяге: линейные, кольцевые, сложные системы из нескольких линий. Предложены возможные места для создания пробных установок на коротких переправах в городе Нижний Новгород. Разработан механизм перемещения кабины по неподвижному тросу, энергию движения которой сообщают непосредственно пассажиры изнутри кабины. Приведены расчеты механических характеристик с учетом среднестатистических возможностей пассажиров и разным количеством пассивных и активных пассажиров, представлены преимущества данной канатной дороги перед традиционными по множеству показателей. Разработан малогабаритный макет кабины для проведения экспериментов по работе канатной дороги. Представлены результаты первичных экспериментов по работе модели канатной дороги, а также приведено сравнение экспериментальных данных с теоретическими расчётами.

Ключевые слова: Канатная дорога, мускульная тяга, скоростные показатели, альтернативный вид транспорта, туристический объект, переправа на малых расстояниях, 3D модель, экспериментальный макет, эксперимент.

Muscle-powered cable car (ferry): The experimental model

Irina Y. Gordleeva

ORCID: 0009-0008-2079-4406

Nikita M. Prokopenko

ORCID: 0009-0004-5650-0589

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. A completely new economical type of cableway for short distances (up to 300 m) is proposed, operating with the help of human muscular efforts. The rationale for developing a cableway using muscular traction is given. The application areas of this cableway system as a means of transport, river crossing in remote areas, crossing in areas with complex terrain, and as an attraction for tourists within the city are considered. The variations of the design of several types of muscle-powered cableways are analyzed: linear, ring track, complex systems of several lines. Possible locations for creating trial installations on short crossings in the city of Nizhny Novgorod have been proposed. A mechanism for moving a cabin along a fixed cable has been developed, the energy of which is transmitted directly by passengers from inside the cabin. Calculations of mechanical characteristics are given taking into account the average statistical capabilities of passengers and different numbers of passive and active passengers, the advantages of this cable car over traditional ones are presented in many indicators. A small-sized model of a cabin has been developed for conducting experiments on the operation of the cable car. The results of primary experiments on the operation of the cable car model are presented, and a comparison of experimental data with theoretical calculations is provided.

Keywords: Cable car, muscle traction, speed indicators, alternative mode of transport, tourist facility, short-distance ferry, 3D model, experimental model, experiment.

Обоснование идеи канатной дороги на мускульной тяге

1. Среди всех транспортных путей (дорожное полотно, мосты, железная дорога) канатные дороги являются самыми дешевыми в возведении, они могут использоваться в труднодоступных горных районах, как переправы через реки, отлично вписываются в городскую среду, как туристический объект. Очевидными плюсами является их достаточно простая и малозатратная установка по сравнению с другими путями сообщения, они могут быть расположены в местах, где дороги для других видов транспорта строить невыгодно или невозможно. Взять, к примеру, канатную дорогу, соединяющую центральный район Нижнего Новгорода на одном берегу Волги и г.Бор на другом [1]. Изучение условий городской среды в Нижнем Новгороде, исследование ландшафта местности, выявляют проблемы логистики и распределения пассажиропотоков. Несмотря на наличие пяти мостов в пределах города, ощущается нехватка транспортных сообщений, ежедневно в часы пик можно наблюдать большое скопление автомобилей перед мостами и на них. Возведение мостов и прокладки автодорожного полотна к ним является дорогостоящим даже для федерального бюджета. Канатная дорога стала хорошей альтернативой, которая за время эксплуатации продемонстрировала абсолютную востребованность у населения, проживающего и работающего на разных берегах Волги.

2. Есть и минусы: «канатки» потребляют большое количество электроэнергии, стоимость проезда высокая, работают не круглосуточно, так как при малом пассажиропотоке становятся убыточными.

3. Также стоит отметить, что технический прогресс сегодня практически заменил физический труд, а на протяжении тысячелетий сформировалась потребность человека использовать свои мышцы, что объясняет огромные потоки народа в фитнес центрах, на тренажерах, беговых и велодорожках. Люди готовы платить, чтобы потратить физическую энергию, потенциал которой сложился на генетическом уровне и по объективным причинам требует выхода.

Совокупность этих факторов стала причиной возникновения идеи канатной дороги на мускульной тяге, которая не имеет аналогов и, по нашему мнению, должна быть весьма востребована.

Очевидными достоинствами такой «канатки» являются простота ее конструкции и механизмов, отсутствие необходимости в традиционных источниках энергии, как следствие низкая стоимость проезда, простое обслуживание и ремонт и, что существенно, экологичность.

Сферы применения

В силу малой мощности (расчеты показывают в 6 раз меньше, чем традиционные канатные дороги), рассматривается несколько возможных направлений назначения данной канатной дороги:

- Как альтернативный вид транспорта на коротких расстояниях (переправах, до 200-300 м), не требующий никаких источников энергии кроме собственных мышечных усилий, может быть использован в труднодоступных районах или населённых пунктах с горным ландшафтом, где нужен пеший переход. Наши кабинки вмещают до 4-х пассажиров и будут способны перевозить небольшой груз;
- Как необычный туристический объект городской среды, легко воздвигаемый на сложных участках с перепадом высот, с обзором достопримечательностей с высоты (по принципу передвигающейся смотровой площадки);
- В качестве аттракциона наподобие колеса обозрения, только с перемещением вдоль маршрута. При этом аналогов в открытом доступе интернета не найдено, поэтому интерес к такому объекту ожидаем большой.

Как известно, традиционные канатные дороги с электроприводом представляют собой в большинстве случаев закольцованный движущийся трос, который переносит пассажирские кабины, жестко скрепленные с ним. В предлагаемом проекте рассматривается неподвижный трос с перемещающейся по нему кабиной (как по рельсам), при этом движение осуществляется из салона кабины с помощью её пассажиров.

Для изначального проекта рассматриваются переправы на короткие расстояния на одной прямой. Для такой системы необходимо установить две точки опоры – «станции», на которых производится посадка и высадка пассажиров. Между этими точками натягиваются два опорных каната, по которым будет перемещаться кабина. Сама кабина будет передвигаться между станциями без поворотов, велосипеды внутри позволяют пользоваться ими в обоих направлениях. Так же рассчитывается установить третий, страховочный канат, который необходим, чтобы возвращать кабину с противоположного берега при помощи лебедки. В таком исполнении данная переправа будет требовать минимального обслуживания и будет доступна пассажирам в любое время, не требуя электричества.

В случае, когда подобная система рассматривается как аттракцион на малых расстояниях, канатная дорога может быть в простом исполнении, как было описано ранее. Например, для перемещения через овраг в городе. Но также было предложено создавать систему из опорных точек, по которым будет проложены пути движения кабинок.

В одном из исполнений пассажир может передвигаться только между двумя стоянками, пересаживаясь на новую кабину на каждой станции. Такой вариант канатной дороги может быть представлен системой из вышек, возвышающихся над парком или другими зонами отдыха, где на каждой из остановок будет находиться смотровая площадка. В дальнейшем предстоит проработать логистический вопрос такого варианта проекта, т.к. может возникнуть вероятность того, что пассажиры будут долго ожидать занятые кабинки на смотровых площадках, если поток людей будет

велик или одна из кабинок с пассажирами в силу субъективных причин будет очень медленной.

Другой вариант исполнения такого аттракциона – закольцованная трасса, идущая по опорным точкам. В этом случае кабина так же будет двигаться по канатам между опорами, а на самих точках опоры (промежуточных станциях) будет переходить с каната на рельсы, по которым будет совершён поворот, с последующим переходом на следующую линию канатов. В таком случае подразумевается движение нескольких кабин по одной трассе движения, что в некоторых случаях может приводить к заторам из-за разной скорости перемещения участников. В любом случае, для каждого географического места, выбранного варианта исполнения такой канатной дороги должен быть разработан индивидуальный проект, учитывающий дизайн, архитектуру, логистику и безопасность инженерного объекта. Для соответствия требованиям безопасности, предъявляемых к канатным дорогам в экстренных ситуациях, когда кабинка, к примеру, застревает по каким-либо причинам в промежуточном состоянии между опорами, было рассмотрено два варианта. Так же было предложено создание малой моторизованной кабинки для экстренных ситуаций.

Для примеров мест установки данной канатной дороги рассматривался город Нижний Новгород. Рельеф и география города позволяют найти множество мест, подходящих для установки такой канатной дороги. Центральная часть города находится на холмах, между которыми проходят овраги, разделяющие части городского центра друг от друга. Для преодоления оврагов существуют пешеходные мосты, но можно установить канатную дорогу на мускульной тяге параллельно существующим переходам, создавая новую линию перехода от одной части возвышенности до другой.

Также как пример места, на котором можно установить канатную дорогу рассматривался гребной канал – канал отделяется от волги небольшим продолговатым полуостровом, на котором оборудованы пляжи и зоны отдыха. Пляжи находятся с противоположной стороны канала, от главного берега волги, и путь к ним лежит по длине канала. Линия канатной дороги на мускульной тяге даст отдыхающим возможность пересекать гребной канал по воздуху, тем самым значительно сократив путь. Обычный путь занимает около 1.5 км, сокращенный (от точки начала полуострова) занимает около 1 км (длина «канатки» в данном случае около 200 м), но канатная дорога сразу и напрямую выходит к набережной (рис1, слева).



Рис. 1. Варианты установки канатной дороги
(слева: на Гребном канале, справа: с берега Стрелки до о.Гребневские пески)

Другие из рассмотренных мест – парк на стрелке Волги и Оки. Предлагается создать линию движения с берега р.Оки до острова Гребневские пески (малый затопляемый остров в центре реки), установив на данном острове вышку, на которой можно оборудовать смотровую площадку (рис1, справа).

Так же можно установить подобные прогулочные маршруты вдоль набережных или по паркам, например линии на короткие дистанции можно установить в парке Швейцария, который находится на краю дятловых гор с видом на р. Оку.

Еще одним местом возможной установки канатной дороги может быть почайинский овраг, отделяющий главную улицу города Б.Покровскую от набережной Федоровского – два популярных прогулочных места. Установив канатные линии, можно создать новые пути для перехода через овраг (ширина оврага около 100м) и тем самым разнообразить прогулки по городу [1].

Есть множество мест, где установка такой канатной дороги является не просто аттракционом, а необходимостью, например, на отдалённых малых реках и притоках Волги и Оки.

Основные технические параметры

Для упрощения и расчета основных характеристик движения в дальнейшем рассматривался только самый простой вариант канатной дороги – на прямолинейном участке между двух опор. В таком исполнении механика перемещения кабины сводится к расчету выходной скорости (V_1) при заданных входных массовых и силовых параметрах кабины с пассажирами и механизмами. В задаче проектирования простого и оптимального передаточного механизма и его рабочих узлов также должно быть предусмотрено соответствие требованиям безопасности, предъявляемым к канатным дорогам [2, 3].

Выходная скорость перемещения кабины с пассажирами по тросу, как основная характеристика движения любого транспортного средства, задавалась диапазоном комфортных для человека скоростей, чтобы преодолеваемое расстояние не было психологически затянутым во времени. Это скорости кабины в диапазоне 1 – 15 км/ч (0.28 – 4.2 м/с). Входными параметрами являются массы отдельных частей - m_i (либо моменты инерции вращающихся звеньев) и мускульная тяга пассажиров – $F_{тяги}$ либо механическая мощность N источника энергии, т.е. активных пассажиров. Передаточный механизм с мускульным приводом выбран на комбинации цепной и ремённой передач, являющихся достаточно распространенными на отечественном рынке, с большим диапазоном предложения, достаточно простыми и дешевыми при монтаже, эксплуатации и ремонте, и что немаловажно, с достаточно высоким КПД.

$\eta_{системы} = 0,85 * 0,95 \approx 0,8$, где $\eta_{системы}$ – КПД ремённой и цепной передач [4].

Рассматривалось два варианта компоновки кабины на четырех (рис.2, схемы слева) и двух человек (рис.2, 3D модель на 2 велопривода).

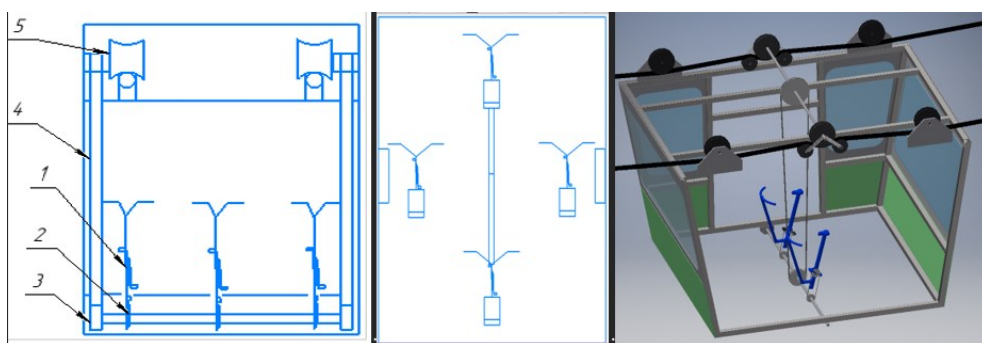


Рис. 2. Варианты компоновки кабины с пассажирами и велоприводами

На схеме слева: 1- педали с цепной передачей, 2- вал, 3, 4 – ролик и ремень ремённой передачи, 5- ролик-каток на трос

Суммарная мощность от всех участников, вращающих педали, передается в виде крутящего момента на один вал, с него через ременную передачу на катки, осуществляющие качение по тросам, приводя в движение кабину с пассажирами. Самым сложным узлом является именно система катков, которая должна обеспечивать хорошее сцепление с тросом, быть прочной и износостойкой, надежной при дополнительных силовых воздействиях бокового и встречного ветра, возникающих моментов крена при смещении центра тяжести и других негативных факторах. Выявление неучтенных воздействий динамического расчета системы предусматривает экспериментальное исследование на макете, описанное ниже.

Вернемся к определению входных силовых характеристик движения. Мощность пассажиров, приводящих в движение кабину, зависит от их мускульной тяги, которая является индивидуальным параметром каждого человека и зависит от пола, возраста и тренированности, а так же групп мышц, задействованных в работе с их разными показателями по силе и выносливости. Эти независимые между собой физические характеристики осложняют выбор единой механической мощности и расширяют диапазон ее величин от минимума до максимума.

Было проведено исследование, какие группы мышц по силе и выносливости удовлетворяют наиболее оптимальному решению задачи, так как приводить в движение кабину по тросу можно по-разному: ручными механизмами, вращением педалей, с помощью эллиптического тренажера, тренажера, имитирующего греблю и другими способами. Для выбора наилучших показателей сил разных групп сгибателей и разгибателей рук, ног, спины использовался метод Азмунзена [5], силовые значения мышц (в кг) приведены в таблице 1.

Таблица 1

| Показатель (кг) | Возраст, лет | | | | | | | | | |
|--|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 20 | | 25 | | 35 | | 45 | | 55 | |
| | муж | жен | муж | жен | муж | жен | муж | жен | муж | жен |
| Сила кисти ($\pm 16\%$)* | 55,9 | 37,5 | 59,9 | 38,5 | 58,8 | 38,0 | 55,6 | 35,6 | 51,6 | 32,7 |
| Сила разгибателей туловища ($\pm 16\%$) | 81,6 | 56,6 | 87,4 | 58,3 | 90,7 | 59,2 | 89,8 | 57,7 | 85,7 | 49,1 |
| Сила сгибателей туловища ($\pm 17\%$) | 60,6 | 40,9 | 64,2 | 42,2 | 66,7 | 42,4 | 66,0 | 41,5 | 63,0 | 33,6 |
| Сила разгибателей ног сидя ($\pm 18,5\%$) | 295 | 214 | 310 | 225 | 312 | 212 | 296 | 197 | 263 | 162 |

В таблице приведены показатели силы различных мышечных групп, полученные при обследовании около 600 человек (средний рост мужчин 171 см, женщин — 167 см).

Силовые индексы получают делением показателей силы на вес и выражают в процентах (%). Средними величинами силы кисти у мужчин считается 70—75% веса, у женщин — 50—60%; для становой силы у мужчин — 200—220%, у женщин — 135—150%. У спортсменов соответственно — 75—81% и 260—300%; у спортсменок — 60—70% и 150—200%.

Процентные показатели силы, приведенные в таблице, были переведены в размерность величины в ньютонах, и этот параметр был усреднен с запасом в меньшую сторону до 30 кг или примерно 300 Н тяги. Наибольшей мощностью по таблицам значений обладают разгибатели ног, поэтому в качестве привода от этой группы мышц был выбран принцип велосипеда.

Такие же показатели выдает программа ИИ DeepSeek при запросе о мускульной тяге человека. По совокупности всех мышечных характеристик (сила, выносливость, возраст, пол и др.) искусственный интеллект оставляет выбор за икроножными мышцами ног.

Итак, в выбранном варианте перемещение кабины происходит с помощью крутящего момента от вращения педалей мускульного привода, передающего движение через ременную передачу на внешние ролики, осуществляющие качение кабинки по неподвижному тросу.

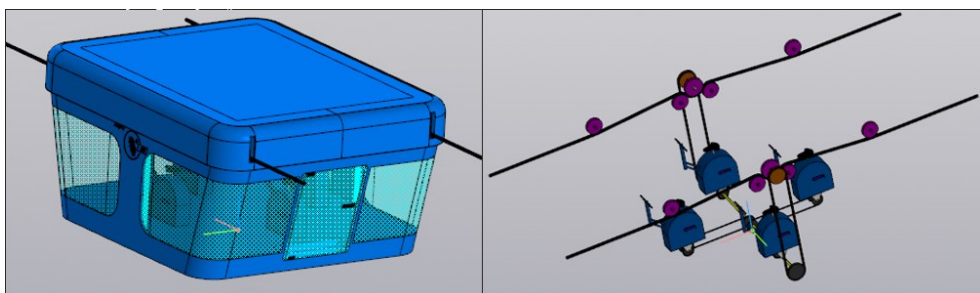


Рис. 3. Вариант кабины на четырех пассажиров, смоделированный в Компас-3D

Первоначальные расчеты предполагали кабинки, рассчитанные на 4 пассажиров и 4 велопривода (рис.3). Расположение сидений было выбрано ромбом, чтобы при любом количестве человек внутри от одного до четырех, сохранять баланс кабинки, но за счет того, что кабина устанавливается на 2 троса, необходимости в таком расположении скорее всего не потребуется. Были проведены расчеты работы данной системы при разном количестве пассивных и работающих пассажиров, а также при подъеме на разном уклоне троса от 0 градусов до 18° относительно горизонта. При большем уклоне качение роликов по тросу начинает происходить с проскальзыванием или мускульной тяги пассажиров становится недостаточно, чтобы попасть в диапазон комфортных скоростей кабинки.

Были сформированы следующие исходные данные:

Масса кабинки $m_1 = 300$ кг,

Масса одного пассажира $m_2 = 80$ кг,

Масса велопривода (механизм цепной передачи) $m_3 = 10$ кг
(их в кабине четыре)

Масса катков (механизм ременной передачи) $m_4 = 5$ кг,

Усредненная скорость вращения педалей $\omega = 6,28$ 1/с (один оборот в секунду)

Расчетные характеристики по:

Момент вращения, создаваемый одним пассажиром

$$M_{вр} = F_{тяги} \cdot R = 51 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $F_{тяги} = 300$ Н,

$R = 0.17$ м (длина шатуна педалей велосипеда для взрослого человека),

Механическая мощность пассажира

$$N = M_{вр} \cdot \omega = 320 \text{ Вт}.$$

Изменение выходной скорости кабинки V_1 вычислялось известным соотношением динамики [6, 7] по кинетической энергии механической системы T и суммарной работе внешних и внутренних сил системы

$$T - T_0 = \Sigma A_e + \Sigma A_i, \text{ где}$$

$$T = T_1 + nT_2 + 2T_3 + 2T_4,$$

$$T_1 = \frac{m_1 V_1^2}{2}; T_2 = \frac{m_2 V_1^2}{2}; T_3 = \frac{3}{4} m_3 V_1^2; T_4 = \frac{3}{4} m_4 V_1^2;$$

При равномерном или ускоренном движении кабинки работа движущих сил должна преодолеть работу сил сопротивления

$$\Sigma A_{движ} + \Sigma A_{сопр} = 0,$$

либо в мощностях

$$\Sigma N_{движ} + \Sigma N_{сопр} = 0, \text{ где } N = F \times V \text{ или } N = M \times \omega$$

Численные расчеты показывают, что один пассажир сможет развивать скорости выше 2 м/с при горизонтальном положении тросов и может перемещаться, теоретически, со скоростью 1 м/с на тросе под уклоном до 18°. Движение кабины возможно даже при одном работающем пассажире из четырех, развиваемая скорость при этом будет примерно равна 1 м/с, что достаточно для комфортного передвижения. При 4 работающих пассажирах скорости могут достигать значения выше 5 м/с. [8]. Из расчётов максимальная скорость с учётом потерь будет 5,6 км/ч, минимальная скорость – 0,5 км/ч

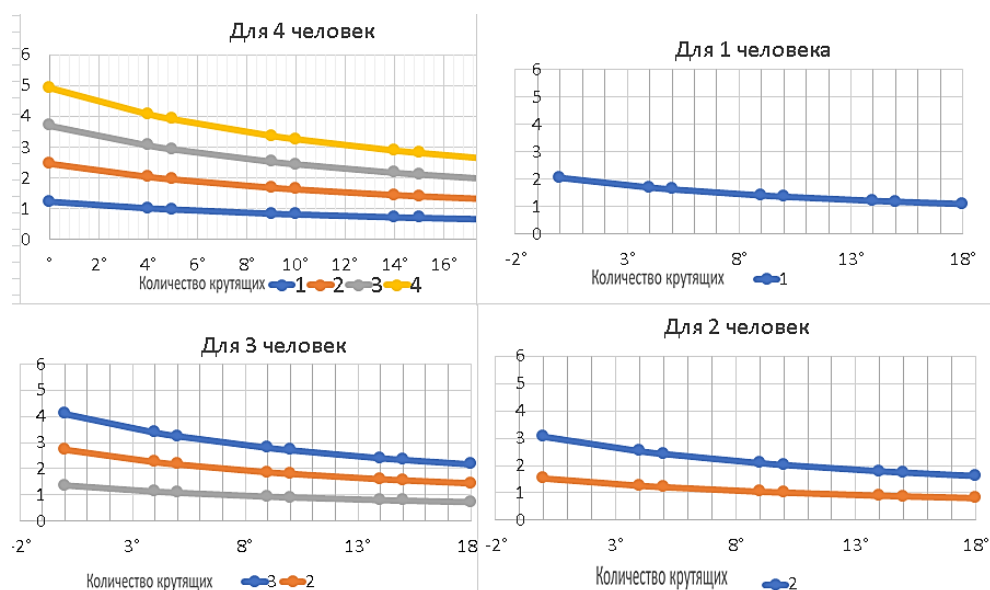


Рис. 4. Графики скоростей кабины (по оси ординат) в зависимости от количества активных пассажиров (разные цвета кривых) и уклона троса (по оси абсцисс)

Для подтверждения теоретических расчетов, а также выявления конструктивных особенностей и оптимальных параметров рабочих узлов и деталей была разработана и апробирована экспериментальная модель.

Описание модели и экспериментов

Для проведения экспериментов было решено разработать масштабную модель с конструкцией, подразумевающей возможность изменения габаритов, смещением элементов, а также возможностью добавления новых деталей по типовому принципу крепления. Макет был создан, используя легкодоступные детали, а все нестандартные элементы были спроектированы и распечатаны на 3D принтере (рис. 5).

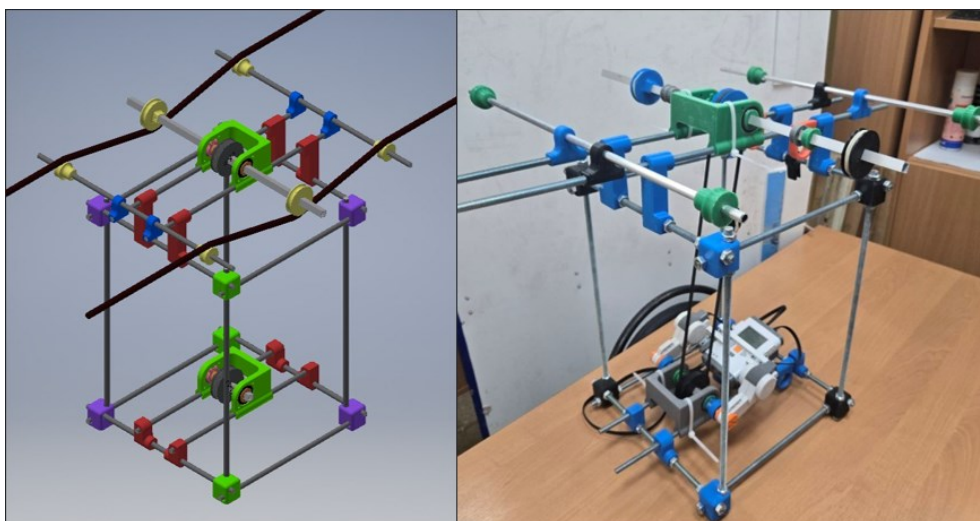


Рис. 5. 1 – 3D модель в Autodesk Inventor, 2 – экспериментальный макет в сборе

В качестве привода и контроллера был взят за основу блок NXT Mindstorms и соответствующие ему двигатели [9,10]. Это дало возможность создавать и менять управляющие программы для макета и считывать данные о его работе. Выбранные двигатели имеют малую мощность, что позволяет проверить работоспособность системы, сравнимую в масштабе с мощностью одного среднестатистического пассажира.

В качестве механизма передачи движения было решено применить ременную передачу от привода к рабочей оси кабинки.

Было проведено несколько экспериментов для определения входных параметров и работоспособности модели. Испытания призваны определить адекватность опытной модели на соответствие кинематическим и силовым характеристикам, рассчитанным теоретически для кабины с одним человеком.

Таблица 2

Эксперимент № 1, 20.09.24 (УСБ «Водник», Слет молодых ученых):

| Характеристики | | Участки натянутого шнура по 2 м (общая длина 8 м) | | | |
|------------------------------------|---|--|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | Время, с | 18,46 | 16,34 | 20,76 | 42,10 |
| Масса кабины $m = 2,5$ кг | Обороты по длине участка ведущей шестерни | 20,5 | 19 | 20 | 35 |
| | Обороты ролика на шнуре (тросе) на участке | 17 | 16 | 16,25 | 22 |
| | Скорость кабины на участке, м/с | 0,108 | 0,123 | 0,096 | 0,048 |
| | Уклон (градусы) | 3 | 3-4 | 1 | 3,2 |
| Масса кабины $m = 3$ кг | Время, с | 24,22 | 24,22 | 31,69 | - |
| | Обороты по длине участка ведущей шестерни | 19 | 18 | | |

По результатам данного эксперимента были определены недостатки модели – большое сопротивление осей при движении, проскальзывания имеющейся ременной передачи, а также недостаточная прочность каркаса модели. Данные о движении макета определялись визуально, в реальном времени, а также по видеозаписям экспериментов.

Эксперимент № 2, 20.02.25 (ВГУВТ, а.171): Проверка экспериментальной модели на соответствие заводским параметрам

Было необходимо установить мощность выбранного мотора и сравнить с указанной в его описании мощности. Для этого создавалась специальная программа для запуска двигателя при разных мощностях [11]. По полученным данным было установлено что момент, создаваемый двигателем равен 16 Н*см, что соответствует заводским характеристикам моторов [9,10]. Это достаточно малая мощность, но данное её значение подходит для работы модели, так как расчетная мощность была значительно меньше в имеющемся масштабе.

Так же были проведены тесты по работе двигателя, присоединенного ременной передачей к оси модели без нагрузки. Таким образом, были установлены потери мощности за счет передачи.

Заводские характеристики

$$M_{вр} = const = 0,167 \text{ Нм}$$

При мощности мотора 90%

$$n_{ср} = 146 \text{ об/мин} \rightarrow \omega \approx 0,1 \cdot n = 14,6 \text{ с}^{-1}$$

$$N = M \cdot \omega = 0,167 \cdot 14,6 = 2,43 \text{ Вт (без ремня)}$$

$$N_{рем} = 0,167 \cdot 12 = 2 \text{ Вт (с ремнем)}, \text{ т.е. потери на ремне } 0,18, \text{ что соответствует КПД } = 0,82$$

Таблица 3

**Результаты тестирования макета на холостом ходу и с ременной передачей
в процентах от максимальной мощности**

| Номер заезда | БЕЗ РЕМНЯ | | | С РЕМНЁМ | | |
|--------------|---------------------|------|------|----------|------|------|
| | обороты в минуту -п | | | | | |
| | 100%N | 80%N | 60%N | 100%N | 80%N | 60%N |
| 1 | 147 | 106 | 79 | 79 | 118 | 60 |
| 2 | 146 | 106 | 80 | 78 | 84 | 58 |
| 3 | 148 | 106 | 80 | 71 | 86 | 59 |
| 4 | 133 | 106 | 80 | 120 | 84 | 58 |
| 5 | 132 | 106 | 80 | 123 | 82 | 57 |

Тесты проводились с разным значением входной мощности двигателей в течение одной минуты. Данные вводились на основе визуальных наблюдений, что могло повлиять на их правдивость, но дальнейшие эксперименты дали схожие результаты. Одной из выявленных проблем являлось влияние заряда аккумулятора на работу двигателя, в последующих тестах заряд аккумуляторов проверялся заранее и учитывался при проверке данных.

В дальнейших тестах модель проверялась в движении по канатам. В первых тестах было установлено, что упрощенная модель раскачивалась при движении, но, несмотря на малую мощность выбранного привода, модель успешно перемещалась по канатам.

При увеличении массы модели кабинки было установлено, что масштабная модель не справляется с нагрузкой при большой массе. Была разработана система натяжения ремня, для более надежного сцепления со шкивами.

Эксперимент № 3, 3.02.25 по тросу:

Во время эксперимента приводной вал расцеплялся с мотором, ролики-двигатели слетали с каната, что делало невозможным сделать кинематические замеры, что говорит о плохой балансировке установки, недостаточном натяжении каната, неровном горизонте веревок, большом трении валов.

Было решено внести следующие изменения: разработать и добавить дополнительные балансирующие колеса; доработать метод соединения ремня; разработать дополнительную систему натяжения ремня; отбалансировать макет

На основании наблюдений была изменена форма катков, движущихся по канатам, а также добавлены дополнительные стабилизирующие катки спереди и сзади от основной оси. Дополнительные катки не только позволяют уменьшить раскачивания кабинки, но и увеличивают натяжение троса на промежутке, на котором находится кабина. Вместо упрощенного скользящего соединения ведущего вала с креплением к кабине, были установлены радиальные подшипники, ось была заменена на прямоугольный профиль, что позволило упростить работу с макетом в данном уменьшенном масштабе.

Так как до этого момента все замеры происходили на основании визуальных наблюдений, после чего велись расчеты на основе результатов заездов и на основе видеозаписей работы модели, в некоторых случаях данные могли быть неточными. Для упрощения проведения эксперимента была изменена управляющая программа главного блока, для возможности считывания данных о заезде – времени и оборотов двигателей. Поэтому в программу управления двигателями была добавлена возможность замера точного времени и количества оборотов, совершенного моторами. Было решено использовать только конечные данные заездов на разных участках. В дальнейшем программа была изменена для возможности считывания данных нескольких заездов с экрана контроллера.

Эксперимент № 4, 20.02.25 по тросу (после устранения недочетов в модели, выявленных в эксперименте № 3)

Произведены замеры движения модели в двух направлениях (туда и обратно):

$$1. S = 4 \text{ м}, t = 26,78 \text{ сек}, n = 33,6 \text{ оборота}$$

$$2. S = 4 \text{ м}, t = 28,92 \text{ сек}, n = 34,0 \text{ оборота}$$

$$V_{\text{ср}} = S/t = 0,15 \text{ м/с} = 0,54 \text{ км/ч, т.е. } S = 100 \text{ м за 11 мин.}$$

Полученная в эксперименте с макетом выходная скорость не соответствует диапазону скоростей (0.3 – 5 м/с) для психологически комфортного передвижения пассажиров в кабине. К примеру, максимальная скорость движения кабинок на Нижегородской канатной дороге — 5 м/с (18 км/ч), а кресельные канатные дороги имеют скорость передвижения подвижного состава не более 2,8 м/с. (10 км/ч).

Численные расчеты для реальной кабины с одним пассажиром, перенесенные на масштабный макет, показывают большой разброс погрешности выходной скорости макета в эксперименте при разных заездах и варьируются от 3 до 40 процентов.

Для увеличения скорости испытуемой модели и чтобы погрешность между ее расчетной и экспериментальной величиной была стабильна и минимальна, необходима дальнейшая доработка по массо-центровочным характеристикам, по снижению проскальзывания катков по тросу за счет подбора материалов, изменения конструкции, формы или размеров.

Ниже представлена сравнительная таблица основных характеристик реальной и экспериментальной моделей. Масштабность масс и мощностей источников энергии практически совпадают.

Таблица 4

| Характеристики | Эксперимент.модель | Реальная модель | Масштаб |
|--|--------------------|-----------------|---------|
| Масса кабинки (m, кг) | 2,5 | 420 | 1: 168 |
| Мощность (N, Вт) | ± 2 | 320 | 1:160 |
| Угловая скорость вращения ведущего вала (ω, 1/с) | 10-12 | 6,28 | 1.75: 1 |
| Вращающий момент (Мвр, Н·м) | 0,167 | 51 | 1: 305 |

Представленная выше концепция канатной дороги на мускульной тяге, расчет ее механических характеристик, а так же испытания ее экспериментального аналога в уменьшенном масштабе, позволяют сделать следующие выводы:

1. Сама по себе идея создания такого объекта городской среды или транспортного сообщения на малых расстояниях нова, привлекательна и не имеет аналогов в мире, хотя некоторые упоминания о реализации переправ мышечными усилиями человека в прошлом существуют, но на сегодняшний день действующих не найдено.
2. Динамический расчет скорости кабины дает показатели в диапазоне 1 – 5 м/с, что естественно, меньше в сравнении с традиционными канатными дорогами, но абсолютно приемлемо в прогулочном режиме.
3. Испытания экспериментальной установки показали необходимость ее доработки для соответствия полученных выходных характеристик с теоретическими расчетами, чтобы в дальнейшем перенести конструкцию и устройство рабочих узлов на реальную модель.

Список литературы

1. Канатные дороги в Нижнем Новгороде - Яндекс Карты. URL: <https://yandex.ru/maps/47/nizhny-novgorod/search/канатные%20дороги/>
2. ГОСТ Р 71234-2024. Подвесные канатные дороги для транспортирования людей. Дороги кольцевые <https://gostassistant.ru/doc/0123381f-cb6b-4d21-a353-f3d03f4723fb>
3. Приказ Ростехнадзора от 13.11.2020 N 441 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности пассажирских канатных дорог и фуникулеров» (Зарегистрировано в Минюсте России 24.12.2020 N 61764) https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373146/
4. КПД передачи: сравнительный анализ зубчатой, ременной и червячной передачи <https://inner.su/services/kpd-zubchatoy-remennoy-chervyachnoy-peredachi/>
5. Сила мышц <https://studfile.net/preview/7651596/page:6/>
6. Никитин, Н.Н.; Курс теоретической механики; учебник; Никитин, Н.Н.-СПб.Лань; 2011, <null>
7. Гордлеева И.Ю. Проектирование и расчет варианта механизма подъема на мускульной тяге // сборник: Транспорт. Горизонты развития. Труды 2-го Международного научно-промышленного форума. Нижний Новгород, 2022. С. 78.
8. Гордлеева И.Ю., Никитаев И.В., Веселов Д.В. Канатная дорога на мускульной тяге В сборнике: Цифровой регион. Социально-экономическое развитие сельских территорий: опыт, компетенции, проекты. Материалы X Всероссийской научно-практической конференции. Княгинино, 2023. С. 121-123
9. Устройство компонентов робота Lego Mindstorms NXT 2.0 // storage.tusur.ru URL: https://storage.tusur.ru/files/136/КИБЭВС--1202_Устройство%20компонентов%20робота%20Lego%20Mindstorms%20NXT%20 (дата обращения: 01.08.2024)
10. NXT® motor internals // www.philohome.com URL: <https://www.philohome.com/nxtmotor/nxtmotor.htm> (дата обращения: 01.08.2024)
11. NXT-G Programming // nxtprograms.com URL: <https://www.nxtprograms.com/help/learn.html> (дата обращения: 10.08.24)

References

1. Cable cars in Nizhny Novgorod - Yandex Maps. URL: <https://yandex.ru/maps/47/nizhny-novgorod/search/канатные%20дороги/>
2. GOST R 71234-2024. Suspended cable cars for transporting people. Ring roads <https://gostassistant.ru/doc/0123381f-cb6b-4d21-a353-f3d03f4723fb>
3. Rostekhnadzor Order No. 441 dated 11/13/2020 «On Approval of Federal Norms and Rules in the field of industrial safety «Safety Rules for Passenger Cable Cars and Funiculars»

- (Registered with the Ministry of Justice of Russia on 12/24/2020 No. 61764)
https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373146/
4. Transmission efficiency: a comparative analysis of gear, belt, and worm transmission
<https://inner.su/services/kpd-zubchatoy-remennoy-cherwyachnoy-peredachi/>
 5. Muscle strength <https://studfile.net/preview/7651596/page:6/6>. Biomechanics of the human musculoskeletal system; <https://en.ppt-online.org/430220>
 6. Nikitin, N.N.; Course of theoretical mechanics; textbook; Nikitin, N.N.-St. Petersburg.Doe; 2011, <null>
 7. Gordleeva I.Y. Design and calculation of a variant of the lifting mechanism on a muscular pull // collection: Transport. Horizons of development. Proceedings of the 2nd International Scientific and Industrial Forum. Nizhny Novgorod, 2022. p. 78.
 8. Gordleeva I.Yu., Nikitaev I.V., Veselov D.V. Muscle traction cable car
 1. In the collection: Digital region. Socio-economic development of rural areas: experience, competencies, projects. Materials of the X All-Russian Scientific and Practical Conference. Knyaginino, 2023. pp. 121-123
 9. The device components of the robot Lego Mindstorms NXT 2.0 // storage.tusur.ru URL: [https://storage.tusur.ru/files/136/КИБЭВС--1202_Устройство%20компонентов%20робота%20Lego%20Mindstorms%20NXT%20\(date of access: 08/01/2024\)](https://storage.tusur.ru/files/136/КИБЭВС--1202_Устройство%20компонентов%20робота%20Lego%20Mindstorms%20NXT%20(date%20of%20access%3A%2008%2F01%2F2024).).
 10. NXT® motor internals// www.philohome.com URL: <https://www.philohome.com/nxtmotor/nxtmotor.htm> (accessed: 08/01/2024).
 11. NXT-G Programming // nxtprograms.com URL: <https://www.nxtprograms.com/help/learn.html> (date of request: 08/10/24).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Гордлеева Ирина Юрьевна, к.ф.-м.н.,
доцент, доцент кафедры подъемно-
транспортных машин и машиноремонта,
Волжский государственный университет
водного транспорта» (ФГБОУ ВО
«ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул.
Нестерова, 5, e-mail: vishkind@rambler.ru

Irina Y. Gordleeva, Ph. D., Associate
Professor, Associate Professor of the
Department of Lifting and Transport Machines
and Machine Repair, Volga State University of
Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny
Novgorod, 603950

Прокопенко Никита Михайлович,
старший преподаватель кафедры подъемно-
транспортных машин и машиноремонта,
Волжский государственный университет
водного транспорта» (ФГБОУ ВО
«ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул.
Нестерова, 5, e-mail: nikoprk@yandex.ru

Nikita M. Prokopenko, senior lecturer of the
Department of Lifting and Transport Machines
and Machine Repair, Volga State University of
Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny
Novgorod, 603950

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; принята к публикации 30.10.2025;
опубликована онлайн 20.12.2025. Received 18.06.2025; published online 20.12.2025.