

УДК 62-8+621.8

**Гордлеева Ирина Юрьевна**, к.ф.-м.н., доцент кафедры подъемно-транспортных машин и машиноремонта  
e-mail: vishkind@rambler.ru

Волжский государственный университет водного транспорта  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВАРИАНТА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА НА МУСКУЛЬНОЙ ТЯГЕ

*Аннотация.* В условиях отсутствия альтернативных источников энергии предлагается рассмотреть создание механизма на мускульной тяге по определенному алгоритму (поэтапно), используя теоретические основы механики, решая одновременно задачу возможности существования исследуемого механизма, его целесообразности и эффективности. За основу выбран механизм вертикального подъема как наиболее энергозатратный.

*Ключевые слова:* передаточный механизм, кинематический и силовой анализ механизма, типовые механизмы, мускульная тяга

На протяжении тысячелетий человечество использовало свою физическую силу для приведения механизмов в действие. Технологический прогресс последних двух веков почти полностью заменил физический труд, сделав большинство процессов автоматизированными.

В настоящее время наблюдается тенденция к использованию возобновляемых источников энергии. Наряду с энергией солнца и ветра не стоит пренебрегать мускульной силой человека, которая всегда «под рукой» и не зависит от природных условий, как например, ветрогенераторы или солнечные батареи.

Многочисленные исторические свидетельства использования механизмов на мускульной тяги говорят о широком их применении. Так, в древнем Риме (Колизей) всевозможные устройства приводились в движение посредством специальной системы блоков, активность которой обеспечивали рабы. В Египте, (VI век н. э.) для поднятия лифта в Синайском монастыре была задействована сила животных, в частности, ослов, вращающих колесо с наматываемой пеньковой веревкой, закрепленной на плетеной корзине. В Индии (XVI-XVII века н. э.) крестьяне с помощью подъемников производили забор речных вод и т.д.

В настоящее время диапазон применения мускульной тяги в механизмах может быть очень широким. Например, использование силы мышц только при вертикальном подъеме можно рассматривать в следующих направлениях человеческой деятельности:

- промышленный альпинизм (мойщики окон, маляры, высотники);
- аварийные ситуации (когда обесточены лифты, для служб МЧС);
- в ограниченном пространстве (выход на чердак, технические шахты, люки и тд);
- в библиотеках, на складах в ситуациях, когда не нужно снимать весь палет, а требуется достать мелкие части;
- аттракционы;

- лифты и подъемники в малоэтажных домах, на судах;
- в местах, где нет современных средств автоматизации и отсутствует возможность использования электроэнергии.

Казалось бы тема очевидна и лежит на поверхности, но обзор в открытом доступе сети интернет показал крайне малое наличие данного материала. При этом предлагаемые механизмы не подвергались кинематическому и силовому анализу, не нашлось входных и выходных рабочих параметров, не говоря уже о расчетах на прочность, надежность и долговечность.

Вот две современные рабочие модели подъемников на мускульной тяге:



Рис.1

Конструкторы из Нидерландов создали систему, которая, по их словам, может избавить людей от необходимости использования лифтов и даже лестниц. Суть идеи заключается в следующем — используя систему шкивов, эластичных веревок и вертикальных направляющих, человек, сидя в специальном сиденье, может поднять сам себя, скользя между опорных труб [1].



Рис.2

Вторая модель, созданная Еленой Ларрибой, задействует мышцы ног. Автор считает устройство «компактной и полезной для здоровья заменой обычных лифтов и лестниц». А выглядит оно, как половина велосипеда без колес, закрепленное на специальных рейках. Посредством кручения педалей вы можете двигаться вверх/вниз, доставляемые на необходимый вам этаж [2].

Модели интересны и оригинальны, но без соответствующей теоретической (расчетной) и экспериментальной (испытательной) базы по надежности, долговечности, ремонтпригодности и т.д. речь о серийности данных механизмов идти не может.

В настоящей работе сделана попытка, используя теоретические основы механического движения материальных объектов (в первую очередь «золотое правило механики»), показать последовательность и содержание расчетов с последующим выбором и проектированием уже конкретного механизма. В качестве примера предлагается рассмотреть модель подъемника (лифта), который сможет обеспечить вертикальное движение вверх с наименьшими мускульными усилиями на заданную высоту в диапазоне комфортных скоростей перемещения.

Для этого выделим три укрупненные задачи, постановка и решение которых являются необходимым и достаточным условием в первом приближении:

1. обозначить и рассчитать основные характеристики движения при подъеме;
2. вывести допустимые диапазоны и наложить ограничения на заданные параметры;
3. рассмотреть различные варианты подъема с использованием мускульной тяги и выбрать наиболее оптимальный, то есть удовлетворяющий в большей степени поставленным условиям.

**1 задача** касается описания и расчета параметров, определяющих вертикальный подъем.

- сила мускульной тяги или момент этой силы,  $F_{\text{тяги}}(H)$
- массы частей системы,  $m_i$  (кг)
- скорость подъема,  $v$  (м/с)
- высота подъема,  $s$  (м)

Все эти параметры энергетически взаимосвязаны и определяются через работу ( $A$ ) или мощность ( $N$ ) в соотношении с динамическими характеристиками системы [3] (кинетической энергией  $T$ ):

$$\begin{aligned} T - T_0 &= \Sigma A^e + \Sigma A^i, \\ N &= F \times V \text{ или } N = M \times \omega, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $T$  – кинетическая энергия системы,  $A$  – работа заданных сил на перемещении  $S$ ,  $F(M)$  – сила тяги (ее момент),  $N$  – мощность источника силы,  $v(\omega)$  – линейная (угловая) скорость соответственно.

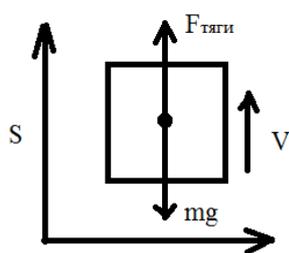


Рис.3

$$\begin{aligned} \frac{mV^2}{2} &= F_{\text{тяги}} \times S - mgS \\ F_{\text{тяги}} &= \frac{mV^2}{2S} + mg \quad V = \sqrt{2S \times \frac{(F_{\text{тяги}} - mg)}{m}} \quad m = \frac{F_{\text{тяги}}}{g + \frac{V^2}{2S}} \end{aligned} \quad (2)$$

Чтобы задача о подъемнике на мускульной тяге была осуществимой, целесообразной и эффективной, зададим некоторые параметры в ограниченном диапазоне, отталкиваясь от возможностей самого человека. Рассчитаем и зафиксируем силу тяги (ее мощность), так как она объективно зависит от природы мышечных усилий людей и скорость подъема, которая так же находится в определенном диапазоне комфортного передвижения человека.

**2 задача** – это собственно расчет допустимого диапазона и наложения ограничений выбранных нами рабочих входных или выходных параметров подъема.

**По силе тяги:** Будем отталкиваться от мощности мускульного «привода» механизма, так как этот параметр напрямую зависит от природных возможностей человека и его диапазон невелик. Мышечные усилия, а значит и совершаемая ими полезная работа сильно разнятся в зависимости от рассмотрения тех или иных групп мышц. Так, сила мускульной тяги кисти отлична от силы сгибателей (разгибателей) плеча, туловища (спины) или ног. Эта разница просматривается по возрасту и половому признаку. Будем ориентироваться на усредненные и наименьшие показатели, используя метод Азмuzzена [4, 5], представленный в таблице ниже, рассчитывая силу как 50% от веса в 60 кг массового эквивалента, то есть 30 кг.

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

Фиксируем  $F_{тяги} = 30g$  (Н) или момент вращения  $M_{вр} = F_{тяги} \cdot R$  (Нм)

- **По скорости:** Комфортный подъём для человека обеспечивается на скорости от 0,1 м/с до 1 м/с.
- **По высоте:** За единицу высоты подъема ориентировочно возьмем пролет одного этажа  $S = 3$  м.
- **По массе:** Общую массу платформы подъемника (кабины лифта) с полезным грузом, т.е. с человеком или группой людей внутри будем варьировать до 400 кг.

**3 задача** должна решить вопрос выбора и проектирования передаточного механизма, способного преобразовать мускульную тягу человека в полезную работу для подъема условной платформы (лифта), преодолев работу сил сопротивления, которые в первом приближении можно считать весом платформы с полезным грузом.

Условием существования подъемника на мускульной тяги является положительная работа всех приложенных сил (либо суммарная мощность)

$$\sum A^e + \sum A^i \geq 0, \quad (\sum N^e + \sum N^i \geq 0), \quad N = F \times V \text{ или } N = M \times \omega \quad (3)$$

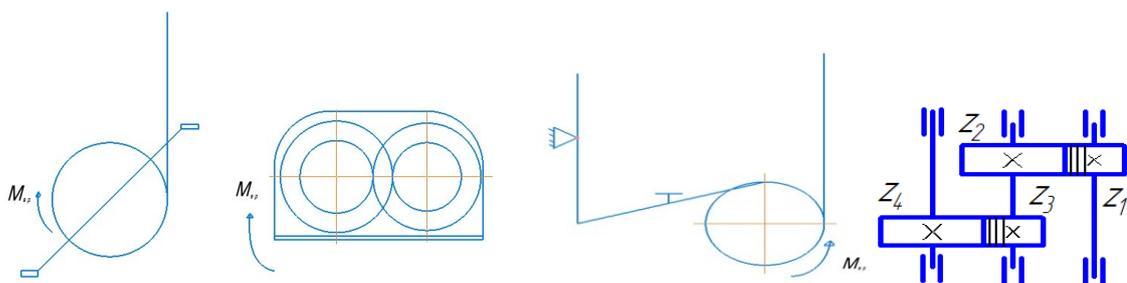
Ориентируясь на рис.1, запишем

$$F_{тяги} \cdot v_{вход} - mg \cdot v_{выход} \geq 0 \text{ либо } M_{вр} \cdot \omega_{вход} - M(mg) \cdot \omega_{выход} \geq 0 \quad (4)$$

Как известно, основной характеристикой любого передаточного механизма является его передаточное отношение [5].

$$i_{1n} = \frac{\omega_{вход}}{\omega_{выход}} = \frac{F_{тяги}}{mg} \geq 0 \quad (5)$$

Далее, подставляя заданные и рассчитанные значения в задаче 1 и 2, получаем передаточное отношение по которому проектируется соответствующий передаточный механизм – редуктор. Он может быть механическим, гидравлическим, пневматическим, все зависит от выбранного приложения мышечных усилий: от рук, ног, или совместного их действия.



В данной работе предпринята попытка описать общие рекомендации по проектированию механизмов на мускульной тяге, не затрагивая конкретного выбора передачи, вида движения и конструктивных особенностей. Рассматривая конкретный механизм, останется подобрать геометрические размеры, задать силовые и массовые значения, найти передаточное отношение и подобрать редуктор, удовлетворяющий конструктивным особенностям.

#### Список литературы:

1. Лифт с мускульным приводом; <https://www.forumhouse.ru/journal/articles/7026-lift-s-muskulnym-privodom>
2. Подъёмник для дома с мускульным приводом; <https://smart-lum.com/stati/podyemnik-dlya-doma-s-muskulnym-privodom-495/>
3. Никитин, Н.Н.; Курс теоретической механики; учебник; Никитин, Н.Н.-СПб.,Лань; <null> ;
4. Работа и сила мышц, доклад-презентация; <https://myslide.ru/presentation/rabota-i-sila-myshc>
5. Биомеханика опорно-двигательного аппарата человека; <https://en.ppt-online.org/430220>
6. Артоболевский, И.И.;Теория механизмов и машин;учебник; Артоболевский, И.И.-М.,Наука; <null> ;

## DESIGN AND CALCULATION OF A VARIANT OF THE LIFT MECHANISM ON MUSCLE DRIVE

Irina U. Gordleeva

*Abstract.* In the absence of alternative energy sources, it is proposed to consider the creation of a mechanism on muscular traction according to a certain algorithm (in stages), using the theoretical foundations of mechanics, while simultaneously solving the problem of the possibility of the existence of the mechanism under study, its expediency and efficiency. The vertical lifting mechanism was chosen as the basis as the most energy-consuming

*Keywords:* transmission mechanism, kinematic and force analysis of the mechanism, typical mechanisms, muscular traction