

УДК 621.85.01.

НАТЯЖЕНИЕ ГИБКОГО ТЕЛА ПРИ ТРЕНИИ ПО БЛОКУ

Н.А. Лубенец

кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных систем и технологий, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: lubenets_tatyana@ukr.net

Аннотация. Установлены закономерности реализации тягового усилия при трении замкнутого натянутого гибкого тела по блоку и распределения натяжения гибкого тела.

Предлагается метод построения диаграммы натяжения гибкого тела ленточного конвейера, который соответствует условиям равновесия механической системы, закону сохранения механической энергии в замкнутой механической системе и представлениям о транспортировании распределенных грузов.

Ключевые слова: гибкое тело, блок, трение, натяжение, сила тяги, диаграмма, условие равновесия, сохранение механической энергии.

TENSION OF FLEXIBLE BODY WITH FRICTION ON BLOCK

Nikolay A. Lubenets

Ph.D., Associate Professor, Department of Transport Systems and Technologies, National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: lubenets_tatyana@ukr.net

Abstract. The regularities of the realization of tractive force are established when friction of a closed tensioned flexible body along the block and distribution of the tension of a flexible body.

A method is proposed for constructing a tension diagram for a flexible body of a belt conveyor, which corresponds to the equilibrium conditions of the mechanical system, the law of conservation of mechanical energy in a closed mechanical system, and the concepts of transporting distributed loads.

Keywords: flexible body, block, friction, tension, tractive force, diagram, equilibrium condition, conservation of mechanical energy.

Введение. В настоящее время на горных предприятиях для транспортирования основных и вспомогательных грузов широкое применение нашли стационарные транспортные машины с гибким тяговым органом (гибким телом). К указанным машинам относятся: ленточные конвейеры, шахтные напочвенные дороги и подъемные машины, подвесные дороги и др.

Использование указанных машин предполагает прогнозирование их тяговой способности и обоснование рациональных режимов эксплуатации,

что определяется расчетом, который в том числе включает определение натяжения гибкого тела.

Однако действующий метод определения натяжения гибкого тела машин является ошибочным, поскольку он не отвечает фундаментальным условиям равновесия механической системы и использует приближенное уравнение трения гибких тел Эйлера 1775 г. [1,2,3,4].

Следовательно, возникает сомнение относительно правильности определения натяжения гибкого тела и прогнозирования тяговой способности машин. Указанное свидетельствует о недостаточном уровне знаний о трении тел и подготовки специалистов, приводит к ошибкам в научных исследованиях и проектировании машин, что негативно сказывается на эффективности и безопасности их использования.

Цель работы. Получение правильного метода определения натяжения гибкого тела и прогнозирования тяговой способности приводного блока.

Материал и результаты исследований. Для достижения цели работы были проведены экспериментальные исследования на испытательном стенде, рис. 1.

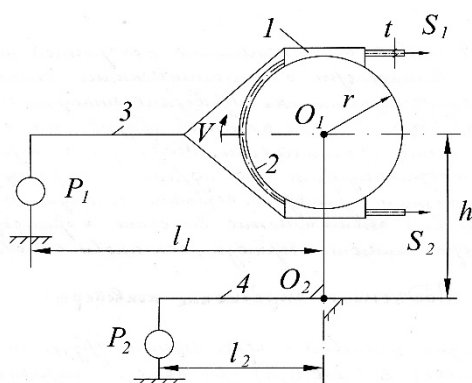


Рис. 1. – Кинематическая схема испытательного стенда: 1 – ленточный тормоз; 2 – блок натяжной станции короткого конвейера; 3, 4 – рычаги; P_1 , P_2 – динамометры; S_2 , S_1 – натяжение конвейерной ленты в точках набегания и сбегания на блок.

Испытательный стенд представляет собой короткий горизонтальный ленточный конвейер, который не содержит поддерживающих роликовых опор грузовой и холостой ветвей.

Блок приводной станции конвейера, содержащей устройство натяжения конвейерной ленты не показаны. Эти части конвейера в схеме испытательного стенда заменены действием сил тяги S_1 и S_2 .



Сущность метода испытаний состоит в уравнивании момента силы тяги конвейерной ленты от действия S_1 и S_2 и момента силы трения F ленты о блок при их трении и наблюдении за параметрами испытаний.

Определение сил тяги S_2 и S_1 на участках набегания конвейерной ленты на блок 2 и сбегания с него осуществляют методами теоретической механики в условии равновесия механической системы. Силы тяги S_1 и S_2 являются корнями системы линейных уравнений равновесия системы:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n M_{O_1} = S_1 \cdot r - S_2 \cdot r - P_1 \cdot l_1 = 0; \\ \sum_{i=1}^k M_{O_2} = S_1 \cdot (h + r) + S_2 (h - r) - P_2 \cdot l_2 - P_1 \cdot l_1 = 0 \end{cases}$$

где $\sum_{i=1}^n M_{O_1}$ - сумма моментов сил механической системы относительно O_1 ; $\sum_{i=1}^k M_{O_2}$ - сумма моментов сил механической системы относительно O_2 ; S_1 - натяжение в сбегавшей с блока ветви; S_2 - натяжение в набегающей на блок ветви; l_1, l_2 - длины рычагов; P_1, P_2 - показания динамометров; r - радиус блока; h - расстояние между шарнирами.

Откуда силы тяги S_1 и S_2 равняются:

$$S_1 = \frac{P_2 \cdot l_2 \cdot r + P_1 \cdot l_1 \cdot h}{2 \cdot r \cdot h}; \quad S_2 = \frac{P_2 \cdot l_2 \cdot r - P_1 \cdot l_1 \cdot h}{2 \cdot r \cdot h}$$

В таблице 1 приведены результаты эксперимента. Условия испытаний: ширина конвейерной ленты – 490 мм; угол обхвата барабана конвейерной лентой (φ) – 3,14 рад; радиус барабана (r) - 0,112 м; длина рычага (l_1) – 0,923 м; длина рычага (l_2) – 1,526 м; расстояние между шарнирами (h) – 0,394 м; скорость относительного движения ленты и барабана (v) при скольжении (сцеплении) – 1 м/с (0 м/с); F_1 - усилие натяжения гибкого тела в точке сбегания с приводного блока ленточного конвейера; F_4 - усилие натяжения гибкого тела в точке набегания на приводной блок ленточного конвейера; линейная масса груза (q) – 7,6 кг/м; усилие предварительного натяжения конвейерной ленты определяется выражением $P=P_2 \cdot l_2=286,7$ кг.

Установлено, что в состоянии покоя и при различных значениях тормозной силы (показаниях динамометра P_1) ленточного тормоза работающего конвейера показание динамометра P_2 , характеризующее предварительное натяжения конвейерной ленты, не изменялось и равнялось 74 кг. При этом усилие предварительного натяжения ленты составляло 286,7 кг/м. Изменение коэффициента трения тел достигалось смачиванием конвейерной ленты.



Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований.

N	Условия испытаний				Натяжение ветвей	
	Режим трения ленты	Состояние ленты	P_1 , кг	P_2 , кг	$S_1 = F_4$, кг	$S_2 = F_1$, кг
1	сцепление	сухая	0	74	143,4	143,4
2	-/-/-	-/-/-	7,6	74	174,7	112,1
3	-/-/-	-/-/-	10,5	74	186,7	100,1
4	-/-/-	влажная	0	74	143,4	143,4
5	-/-/-	-/-/-	3,3	74	147,0	129,8
6	скольжение	сухая	13,3	74	198,2	88,6
7	-/-/-	влажная	4,2	74	160,7	126,1

Кроме того, значения усилий тяги S_1 и S_2 или усилий натяжения ленты на приводном блоке F_1 и F_4 при различных режимах испытаний изменялись симметрично – одно усилие было больше половины предварительного натяжения конвейерной ленты, а другое усилие на такую же величину меньше его. Поэтому сумма рассчитанных усилий тяги S_1 и S_2 или усилий натяжения гибкого тела F_1 и F_4 на приводном блоке станда, характеризующих величину реакции R на приводной станции при испытании, не изменялась и равнялась усилию предварительного натяжения ленты, равному 286,7 кг.

Другими словами результаты исследований гибкого тела ленточного конвейера в различных режимах испытаний свидетельствует о том, что:

- усилие предварительного натяжения гибкого тела P , поддерживаемое и определяемое упругим элементом (динамометром) не зависит ни от ее характера – состояния покоя или движения, ни от величины неполного коэффициента трения-сцепления между телами, ни от коэффициента трения-скольжения при движении;

- удлинение замкнутого натянутого гибкого тела не изменяется;

- сумма усилий натяжения гибкого тела F_1 и F_4 на приводном блоке, характеризующая реакцию R на его оси, не изменяется, а их величины изменяются симметрично относительно половины реакции - $(R/2)$;

- реализация окружного тягового усилия на приводном блоке ($F_1 - F_4$) при трении-сцепления и трении-скольжения осуществляется при неизменной реакции R на его оси, равной усилию предварительного натяжения гибкого тела P ;

- механическая энергия гибкого тела, в том числе потенциальная энергия (или ее графическая оценка - площадь действительной диаграммы натяжения гибкого тела) не изменяется, что свидетельствует о сохранении механической энергии гибкого тела при различных режимах испытаний - о соблюдении закона сохранения механической энергии в замкнутой механической системе;

- соблюдается условие равновесия механической системы - предварительное усилие натяжения P гибкого тела и реакция R на осях приводного и натяжного блоков не изменяются и равны между собой;

Следовательно, установлены закономерности реализации тягового усилия при трении замкнутого предварительно натянутого гибкого тела по блоку и распределения его натяжения в горизонтальном ленточном конвейере, что необходимо использовать при построении диаграммы его натяжения.

Кроме того, нами в рамках консервативной механической системы получено новое решения классической задачи Эйлера о скольжении гибкого тела по неподвижному блоку в условиях господствующих представлений о трении тел (закон Кулона 1779 г.) и последней редакции закона сохранения механической энергии в замкнутой механической системе (40-ые годы 19 ст.), которые не были известны Эйлеру [3,5].

Новое уравнение трения гибких тел отвечает представлениям философов и ученых о трении тел - труды Аристотеля, авторов законов трения тел Леонардо да Винчи, Амонтонна, самого Эйлера и Кулона, которые складывались на протяжении столетий, и опосредованно содержит общепризнанную «нормальную реакцию» и «силу трения», линейно связанные между собой посредством коэффициента трения:

$$S_1 - S_2 = F = f \cdot N = f \cdot \left(\varphi \cdot \frac{S_1 + S_2}{2} \right).$$

где F – сила трения; N – нормальная реакция между телами; S_1, S_2 – натяжения в сбегающей и набегающей на блок ветвях гибкого тела; φ – угол обхвата блока гибким телом; f – коэффициент трения скольжения между гибким телом и блоком.

Новое уравнение трения гибких тел согласуется с накопленными данными практики и исследований.

Следовательно, для реализации приводным блоком заданного тягового усилия достаточно обеспечить необходимую нормальную реакцию N между телами или суммарное усилие натяжения гибкого тела на приводном блоке ($S_1 + S_2$):

$$(S_1 + S_2) = \frac{2 \cdot F_0}{\varphi \cdot f}$$

где F_0 – окружное тяговое усилие.

Также известный метод построения диаграммы натяжения ошибочно реализует независимость натяжений в разных ветвях конвейера. Метод не учитывает влияние шарнира блока натяжной станции, который уравнивает неравномерности натяжения холостой и грузовой ветвей конвейера.

Кроме того, из условий равновесия механической системы следует, что в ленточном конвейере общего положения момент двигателя приводной станции уравнивается моментом окружного тягового усилия, а алгебраическая сумма силы предварительного натяжения гибкого тела P на одной из станций и гравитационных составляющих гибкого тела и груза уравнивается реакцией R на другой станции:

$$P \pm (q + 2 \cdot q_0) \cdot L \cdot g \cdot \cos(a) = R$$

где q – линейная масса груза; q_0 – линейная масса гибкого тела; g – ускорение силы тяжести; a – угол наклона конвейера; R – реакция на приводной станции; L – длина конвейера.

Рассмотрим предлагаемый метод построения диаграммы натяжения гибкого тела ленточного конвейера.

Критерием нового метода является неизменность потенциальной энергии гибкого тела при реализации приводным блоком различного тягового усилия, соблюдение условий равновесия механической системы и руководство основами транспортирования распределенных грузов и их приближенных статистических характеристик.

Основные требования к построению диаграммы натяжения:

1. Определяются величины силы тяги различных участков контура гибкого тела при движении: F_{1-2} – холостой ветви; F_{2-3} – барабана натяжной станции; F_{3-4} – грузовой ветви.

2. Определяется окружное тяговое усилие на приводном блоке:

$$F_0 = F_{1-2} + F_{2-3} + F_{3-4}.$$

3. Определяется необходимое и достаточное начальное натяжение гибкого тела по условию сцепления с приводным блоком, в том числе минимальное натяжение в точке сбега [5], и по условию ограничения провисания ветвей гибкого тела по формулам:

$$(F_1 + F_4)_{\min_{cy}} = \frac{2 \cdot F_0 \cdot k_t}{\varphi \cdot f}; F_{1\min_{cy}} = \left(\frac{F_1 + F_4}{2}\right)_{\min_{cy}} - \frac{F_0 \cdot k_t}{2}; F_{\min} = (3000 - 4000) \cdot B, H;$$

где B – ширина гибкого тела.

4. Определяется гравитационная составляющая груза (для расчетного грузопотока) и гибкого тела, которые действуют на блок приводной станции:

$$(q + 2 \cdot q_0) \cdot L \cdot g \cdot \cos(\alpha)$$

5. Выполняется построение диаграммы натяжения гибкого тела:

- На вертикальной линии 2,3 произвольно откладывают силу перемещения участка гибкого тела F_{2-3} (точки А и В), которые характеризуют его натяжение при движении.

По середине между этими точками отмечают точку С, которая характеризует натяжение гибкого тела в «состоянии покоя».

- На линиях 1 и 4 от положения точки С откладывают половину гравитационной составляющей (точки Д и Е) в зависимости от положения приводной станции (если станция расположена сверху, тогда откладывают вверх; если внизу – откладывают вниз), что характеризует 1/2 суммарной силы натяжения гибкого тела на блоке в состоянии покоя и в движении, а также отвечает реакции R или усилию предварительного натяжения P ;

- На линии 1 от положения точки Д вниз откладывают половину окружного тягового усилия в состоянии движения (точка Ж).

- На линии 4 от положения точки Е вверх откладывают половину окружного тягового усилия в состоянии движения (точка З).

- Отрезками прямой линии соединяют точки Ж, А, В и З. Полученная диаграмма представляет только характер изменения натяжения гибкого тела по его контуру в состоянии движения, но не характеризует его натяжения количественно, поскольку отсутствует ось абсцисс.

- Проводят «ось сцепления» и «ось провеса» по условиям сцепления - минимального натяжения гибкого тела в точке сбегания Ж с приводного блока $F_{\min_{cy}}$ и провеса - минимального натяжения ветвей гибкого тела F_{\min} .

- Для завершения построения диаграммы натяжения гибкого тела в качестве оси абсцисс OX выбирают нижнюю из проведенных осей, обозначив точку ее пересечения с вертикальной линией 1 цифрой 0.

Построение диаграммы натяжения конвейерной ленты завершено. Любая ордината диаграммы натяжения характеризует натяжение гибкого тела в любой из точек его контура в выбранном масштабе.

Выводы. Таким образом, действующий метод построения диаграммы натяжения гибкого тела в совокупности с приближенным уравнением гибких тел Эйлера не обеспечивает выполнения общепризнанных условий равновесия механической системы и современной редакции закона сохранения механической энергии в замкнутой механической системе.

Установлены закономерности реализации тягового усилия при трении замкнутого предварительно натянутого гибкого тела по блоку и распределения его натяжения.

Предлагается метод построения диаграммы натяжения гибкого тела ленточного конвейера, который соответствует условиям равновесия механической системы, закону сохранения механической энергии в замкнутой механической системе и представлениям о транспортировании распределенных грузов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основи теорії та розрахунків засобів транспортування вантажів шахт: навч. посібник / М.Я. Біліченко. – Дніпропетровськ: Національна гірнича академія, Україна, 2002.– 103 с.

2 РТМ 24.093.04-80. Проектирование стационарных ленточных конвейеров общего назначения. - 1980.

3. Андреев А.В. Передача трением. – М.: Машгиз, 1963. – 112 с.

4. Лубенец Н.А. Зависимость натяжения идеальной нити вдоль линии контакта с неподвижным блоком при скольжении / Лубенец Н.А. // Науковий вісник НГУ. – Днепропетровск, 2010. – № 9-10. - С. 27 – 32.

5. Лубенец Н.А. Новое решение классической задачи Эйлера о скольжении гибкого тела по неподвижному блоку. / Лубенец Н.А. // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2014.

УДК 629.7.07

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО СТАРТА ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ДАННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

С.С. Малтыз¹, А.А. Сидоров²

²старший преподаватель кафедры проектирования и конструкций летательных аппаратов, Государственное высшее учебное заведение «Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара», г. Днепр, Украина, e-mail: lxsdry@gmail.com

¹студент кафедры проектирования и конструкций летательных аппаратов, Государственное высшее учебное заведение «Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара», г. Днепр, Украина, e-mail: stanislav.maltyz@mail.ru