

ЛЕНТОЧНЫЙ ПОЛИСПАСТ

© 2011 Г.Ф. Прокофьев, И.Е. Ульяновский

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Архангельск

Поступила в редакцию 11.11.2011

В статье приводится описание ленточного полиспаста, в котором в качестве блоков используются криволинейные аэростатические опоры. Приведен сравнительный анализ с канатными полиспастами.

Ключевые слова: полиспаст, лента, аэростатическая опора, канат, коэффициент трения

В грузоподъемных механизмах в качестве гибкого тягового органа в основном применяются канаты, режее цепи. Главное достоинство канатов – пространственная гибкость. Это обстоятельство позволяет легко создавать устройства, состоящие из свободно вращающихся блоков с неподвижными в вертикальной плоскости осями (неподвижные блоки) и с подвижными осями (подвижные блоки), огибаемых канатом и служащие для выигрыша в силе (силовые полиспасты). Стальная лента по сравнению со стальным канатом имеет ряд достоинств, из которых основное – высокая долговечность. Главный недостаток ленты – гибкость только в одном направлении. При создании силового полиспаста с лентой блоки должны быть выполнены в виде невращающихся полуцилиндров, входящих один в другой. Принципиальная схема такого блока показана на рис. 1. Сила F_2 , необходимая для перемещения ленты, натянутой с силой F_1 , по блоку, определяется по известной формуле Эйлера

$$F_2 = F_1 e^{ef}, \quad (1)$$

где F_1 – сила натяжения ветви ленты, Н; $e = 2,718$ – основание натуральных логарифмов; $\omega = \pi = 3,14$ – угол обхвата лентой одного блока, рад.; f – коэффициент трения ленты по блоку.

Коэффициент сопротивления блока перемещения ленты

$$\varepsilon = e^{ef}; \quad (2)$$

КПД блока

$$\eta_{\text{бл}} = \frac{1}{\varepsilon}; \quad (3)$$

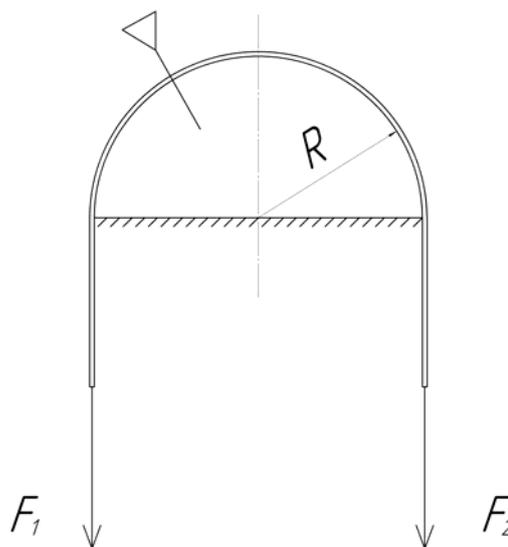


Рис. 1. Блок ленточного полиспаста

КПД вращающихся блоков на подшипниках качения, огибаемых стальными канатами $\eta_{\text{бл}} = 0,97-0,98$ [1]. Примем $\eta_{\text{бл}} = 0,98$. Для того, чтобы КПД невращающихся блоков, выполненных в виде полуцилиндров было таким же, как у вращающихся блоков в подшипниках качения, коэффициент трения f необходимо снизить до 0,0064. Это может быть достигнуто, если рабочие поверхности блоков выполнить в виде аэростатических опор. На рис. 2 показан полиспаст нового типа с лентой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим [2]. Полиспаст включает в себя подвижную и неподвижную обоймы $б$, в которых установлены невращающиеся полудиски и полукольца с охватывающими друг друга рабочими поверхностями, выполненными в виде аэростатических опор. Полудиски и полукольца огибаются тяговым органом 5 , выполненным в виде ленты. Обойма $б$ закреплена на неподвижном основании, а на подвижной обойме 2 установлен крюк. Воздухпровод соединен отверстиями поддува с микроканавками, выполненными на рабочих поверхностях полудисков и

Прокофьев Геннадий Федорович, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики и основ конструирования. E-mail: g.prokofev@agtu.ru
Ульяновский Иван Евгеньевич, аспирант. E-mail: i.ulyanovsky@agtu.ru

полуколец. Один конец ленты 5 закреплен на полудиске, установленном в неподвижной обойме 6, а к другому концу ленты прикладывается тяговое усилие.

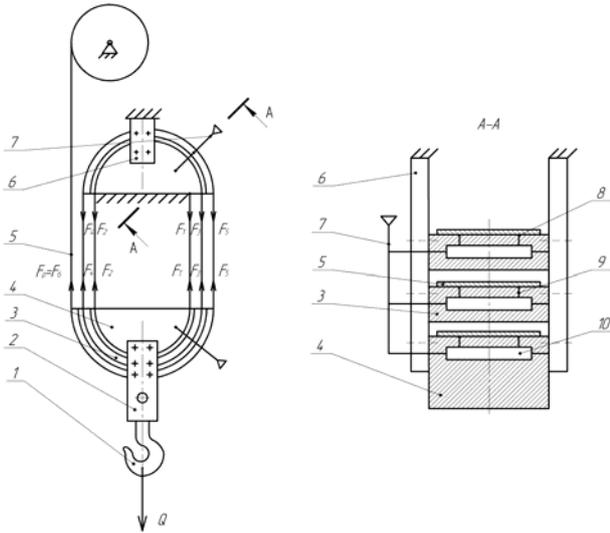


Рис. 2. Полиспаст с лентой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим: 1 – крюк; 2, 6 – подвижная и неподвижная обоймы; 3 – полукольцо; 4 – полудиск; 5 – лента; 7 – воздухопровод; 8 – микроканавка; 9 – отверстие поддува; 10 – полость

Полиспаст работает следующим образом. Груз захватывается непосредственно крюком или с помощью стропа. По воздухопроводу подается сжатый воздух в полости и через отверстия поддува поступает в микроканавки, образуя аэростатические опоры. К концу ленты 5 прикладывается тяговое усилие. Лента движется по криволинейным аэростатическим опорам, выполненным на рабочих поверхностях полудисков и полуколец, перемещая подвижную обойму 2 с крюком и грузом по направлению к неподвижной обойме 6, то есть при вертикальном расположении полиспаста происходит подъем груза.

Эффективность применения полиспаста с ленточным тяговым органом и криволинейными аэростатическими направляющими определяется следующими его достоинствами: компактностью, высоким КПД, работоспособностью при высоких и низких температурах, высокой гибкостью и прочностью ленты, возможностью самоторможения при прекращении подачи воздуха и возможностью управления скоростью опускания груза за счет изменения давления воздуха. У полиспаста нового вида легче осуществить дефектоскопию грузоподъемного органа. Для строго вертикального подъема и опускания груза не требуется сдвоенного полиспаста.

Максимальное усилие F_p в ленте, наматываемой на барабан, зависит от кратности

полиспаста a_n . Если лента при наматывании на барабан сходит с подвижного блока (как показано на рис. 2), то $a_n = z + 1$ (z – число блоков). Примем коэффициент сопротивления одинаковым для подвижного и неподвижного блоков. Имеем усилия в ветвях ленты для нижней подвески

$$\begin{aligned} F_2 &= F_1 e^{f\omega}, F_3 = F_2 e^{f\omega} = F_1 e^{2f\omega} \\ F_p &= F_1 e^{(a_n-1)f\omega}; \end{aligned} \quad (4)$$

Сумма проекций всех сил на вертикальную ось для нижней грузовой подвески

$$F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_p = Q, \quad (5)$$

где Q – сила натяжения ветви ленты, Н. Откуда

$$F_1(1 + e^{f\omega} + e^{2f\omega} + e^{3f\omega} + \dots + e^{(a_n-1)f\omega}) = Q; \quad (6)$$

Слагаемые в скобке представляют собой геометрическую прогрессию. Сумма этого ряда

$$\frac{e^{a_n f\omega} - 1}{e^{f\omega} - 1}; \quad (7)$$

Тогда имеем

$$\frac{F_1(e^{a_n f\omega} - 1)}{e^{f\omega} - 1} = Q; \quad (8)$$

Отсюда

$$F_1 = \frac{Q(e^{f\omega} - 1)}{e^{a_n f\omega} - 1}; \quad (9)$$

Усилие в ветви ленты, идущей на барабан механизма подъема груза, может быть определено по формуле

$$F_p = F_1 e^{(a_n-1)f\omega} = \frac{Q(e^{f\omega} - 1)e^{(a_n-1)f\omega}}{e^{a_n f\omega} - 1}; \quad (10)$$

КПД полиспаста можно определить из отношения полезной работы к затраченной. Полезная работа при подъеме груза весом Q на высоту H :

$$A_{пол} = QH;$$

Если груз поднят на высоту H , то на барабан должна быть намотана лента, натянутая с силой F_p и имеющая длину Ha_n . Отсюда следует, что затрачиваемая работа при подъеме груза весом Q на высоту H :

$$A_{зат} = F_p Ha_n$$

Следовательно, КПД полиспаста:

$$\eta_n = \frac{e^{a_n f \omega} - 1}{a_n (e^{f \omega} - 1) e^{(a_n - 1) f \omega}} \quad (11)$$

Как отмечалось ранее, КПД блока $\eta_{\text{бл}} = 1/e^{f\omega}$, следовательно

$$\eta_n = \frac{1 - \eta_{\text{бл}}^{a_n}}{a_n (1 - \eta_{\text{бл}})} \quad (12)$$

Формула (9), полученная для определения КПД ленточного полиспаста, ничем не отличается от формулы для определения КПД канатного полиспаста [3]. При КПД блока на подшипниках качения канатного полиспаста $\eta_{\text{бл}} = 0,98$ и $a_n = 5$ КПД канатного полиспаста $\eta_n = 0,96$. Используя ленточный полиспаст с лентой, движущейся по невращающимся блокам, имеющих форму полуцилиндров, рабочие поверхности которых выполнены в виде аэростатических опор, коэффициент трения между лентой и рабочей поверхностью блока может быть уменьшена до $f = 0,004$. В этом случае КПД блока $\eta_{\text{бл}} = \frac{1}{e^{f\omega}} = \frac{1}{2,72^{0,004 \cdot 3,14}} = 0,987$. КПД 0,961 ленточного полиспаста при коэффициенте трения $f = 0,004$ достигается при кратности полиспаста $a_n = 7$.

Выводы:

1. Показана возможность и целесообразность создания полиспаста с гибким тяговым органом в виде ленты.
2. Приведены прогнозируемые достоинства полиспаста нового типа.
3. Показана необходимость выполнения теоретических и экспериментальных исследований блока с рабочей поверхностью, выполненной в виде аэростатической опоры, и определения условий, при которых достигается получение коэффициента трения ленты по блоку $f = 0,004$.
4. Необходимо создать опытный образец ленточного полиспаста и проверить в производственных условиях его эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Александров, М.П. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование» / М.П. Александров, Л.Н. Колобов, Н.А. Лобов и др.: – М.: Машиностроение, 1986. 400 с.
2. Пат. 2124471 Российская Федерация, МПК В66Д 3/08. Полиспаст / Г.Ф. Прокофьев, Н.И. Дундин. А.С. №97102488/28; заявл. 20.02.97; опубл. 10.01.99, Бюл. №1.
3. Таубер, Б.А. Подъемно-транспортные машины: Учебник для вузов / Б.А. Таубер. 5 изд. перераб. и доп. – М.: Экология, 1991. 528 с.

BELT POLYSPAST

© 2011 G.F. Prokofyev, I.E. Ulyanovskiy

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk

In article the description of belt polypast, in which as units the curvilinear aerostatic support are used, is resulted. The comparative analysis with rope polypasts is made.

Key words: *polypast, belt, aerostatic support, rope, friction coefficient*

Gennadiy Prokofyev, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Applied Mechanics and Design Bases. E-mail: g.prokofev@agtu.ru
Ivan Ulyanovskiy, Post-graduate Student. E-mail: i.ulyanovskiy@agtu.ru