

Определение оптимальных параметров привода механизма подъёма капсулы смотровой башни

02, февраль 2017

Байков Б. А.¹, Богачев В. Н.¹, Аникина В. С.^{1,*}

УДК 621.825

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

[*vinsina@rambler.ru](mailto:vinsina@rambler.ru)

Введение

Механизм вертикального перемещения подвижной капсулы башни кругового обзора состоит из привода, канатов, отклоняющих блоков и противовеса. Статическая мощность электродвигателя механизма вертикального перемещения уменьшается при увеличении массы противовеса, что приводит к увеличению динамической мощности. Подбором массы противовеса можно найти такое её значение, при котором статическая и динамическая мощности будут близки по величине, т.е. оптимальное её значение.

* * *

Одним из широко распространённых развлекательных аттракционов являются башни кругового обзора (рис.1). Аттракцион представляет собой башню 1 и подвижную капсулу 2, состоящую из внутренней неповоротной части, перемещаемой вертикально по направляющим, расположенным с наружной стороны башни, и поворотной части, в которой располагаются посадочные места. Вращение поворотной части капсулы осуществляется с помощью приводов (обычно трёх), установленных на внутренней части капсулы.

Вертикальное перемещение капсулы 1 (рис.2) осуществляет механизм, состоящий из привода 2, установленного в основании башни, канатов 3 и отклоняющих блоков 4, закреплённых в верхней части башни. Основными элементами привода 2 являются электродвигатель со встроенным тормозом, редуктор и канатный барабан.

Чтобы уменьшить статическую мощность привода и повысить безопасность аттракциона, капсулу уравнивают противовесом 5, перемещающимся по направляющим, расположенным внутри башни.

Выбору оптимального соотношения между массой полезного груза и противовеса посвящена данная работа.

Статическая мощность привода механизма подъёма снижается при уменьшении разности масс $m_1 - m_2$ (m_1 - масса поднимаемого полезного груза, m_2 - масса противовеса). Но уменьшение разности масс $m_1 - m_2$ при постоянном значении массы m_1 возможно только за

счёт увеличения массы m_2 противовеса, что ведёт к увеличению суммарной массы $m_1 + m_2$ и, следовательно, к увеличению динамической мощности электродвигателя, зависящей при заданном ускорении от разгоняемой массы. При недостаточной динамической мощности увеличивается время разгона механизма, и может произойти отказ электродвигателя из-за перегрева.



Рис. 1. Башня кругового обзора: 1 - башня, 2 - капсула

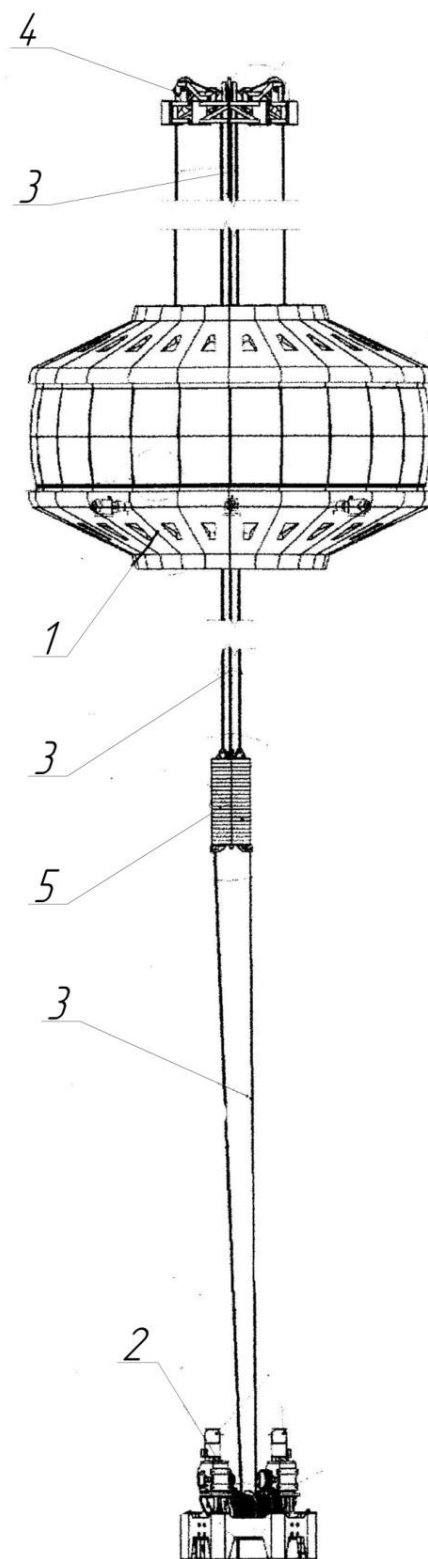


Рис. 2. Схема башни: 1 - пассажирская капсула; 2 - привод механизма вертикального перемещения капсулы; 3 - канаты; 4 - отклоняющие блоки; 5 - противовес

Таким образом подбором массы m_2 противовеса можно найти такое её значение, при котором статическая и динамическая мощности будут близки по величине, что можно считать оптимальным вариантом. Расчётная схема представлена на рис. 3.

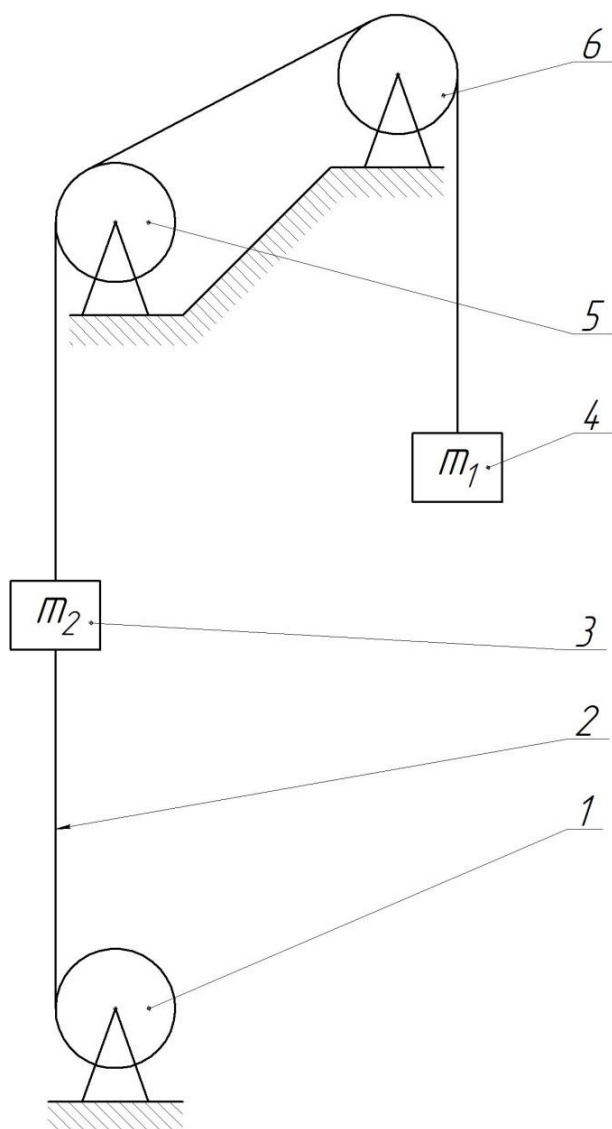


Рис. 3. Расчётная схема: 1 - канатный барабан механизма вертикального перемещения капсулы; 2 - канат; 3 - противовес массой m_2 ; 4 - капсула массой m_1 ; 5,6 - отклоняющие блоки

Запишем формулу для определения статической мощности - мощности при подъёме номинального груза с установившейся скоростью (кВт)

$$P_{ст} = \frac{[(m_1 - m_2) \cdot g + F_{тр}] \cdot V}{1000 \cdot \eta}, \quad (1)$$

где m_1 и m_2 - массы капсулы и противовеса, кг;

g - ускорение свободного падения;

$F_{тр}$ - сила трения, возникающая при вертикальном перемещении неповоротной части капсулы по направляющим на колонне, Н;

V - скорость установившегося движения массы m_1 , м/с;

η - КПД механизма вертикального перемещения капсулы.

Динамическую мощность - мощность, необходимую для разгона капсулы с заданным ускорением (кВт), определяем из условия разгона.

$$P_{\text{дин}} = \frac{\pi \cdot J_{\text{пр.н}} \cdot n_{\text{н}}^2 \cdot t_{\text{но}}}{30 \cdot t_{\text{н}}} \cdot \frac{1}{9550}, \quad (2)$$

где $J_{\text{пр.н}}$ - приведённый к валу электродвигателя момент инерции при пуске - приведённый к валу электродвигателя момент инерции всех вращающихся и поступательно движущихся масс, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$n_{\text{н}}$ - номинальная частота вращения электродвигателя, мин^{-1} ;

$t_{\text{но}}$ - относительное время пуска;

$t_{\text{н}}$ - время пуска (разгона), с.

Приведенный к валу электродвигателя момент инерции всех вращающихся масс составляет не более 10...20% от момента инерции ротора электродвигателя [1]. Поэтому

$$J_{\text{пр.н}} \cong (1,1 \dots 1,2) J_{\text{эд}} + \frac{(m_1 + m_2) \cdot D_{\text{бар}}^2}{4 \cdot a_{\text{пол}} \cdot i^2 \cdot \eta}, \quad (3)$$

где $J_{\text{эд}}$ - момент инерции ротора электродвигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$D_{\text{бар}}$ - диаметр канатного барабана, м;

$a_{\text{пол}}$ - кратность полиспаста механизма подъёма;

i - передаточное отношение механизма подъёма.

Введём обозначение

$$k = 1 + \frac{(1,1 \dots 1,2) J_{\text{эд}} \cdot 4 \cdot a_{\text{пол}} \cdot i^2 \cdot \eta}{(m_1 + m_2) \cdot D_{\text{бар}}^2}.$$

Тогда учитывая, что кратность полиспаста в механизме подъёма капсулы $a_{\text{пол}}=1$, получим

$$J_{\text{пр.н}} = \frac{k \cdot (m_1 + m_2) \cdot D_{\text{бар}}^2}{4 \cdot i^2 \cdot \eta}. \quad (4)$$

Относительное время пуска $t_{\text{но}}$ определяют по формулам [2]: для двигателей с короткозамкнутым ротором (серии АИРС и МТК)

$$t_{\text{но}} = \frac{1}{0,75(m - \alpha)}, \quad (5)$$

для двигателей с фазным ротором (серии МТ)

$$t_{\text{но}} = \alpha \cdot \frac{2,5}{m \sqrt{m}}. \quad (6)$$

В формулах (5) и (6) $m = T_{\text{max}}/T_{\text{н}}$ и $\alpha = T_{\text{см}}/T_{\text{н}}$, где $T_{\text{н}}$ и T_{max} - соответственно номинальный и максимальный моменты электродвигателя, $T_{\text{см}}$ - момент сопротивления.

Подставляя (4) в (2) и приравнявая мощности $P_{\text{ст}}$ и $P_{\text{дин}}$ получим

$$\frac{[(m_1 - m_2) \cdot g + F_{\text{мп}}] \cdot V}{1000 \cdot \eta} = \frac{\pi \cdot [k \cdot (m_1 + m_2) \cdot D_{\text{бар}}^2] \cdot n_{\text{н}}^2 \cdot t_{\text{но}}}{30 \cdot 9550 \cdot 4 \cdot t_{\text{н}} \cdot i^2 \cdot \eta}. \quad (7)$$

Из формулы (7) при заданной скорости перемещения капсулы 0,2м/с определяем оптимальную величину массы m_2 противовеса

$$m_2 = \frac{m_1(715,705 \cdot t_n \cdot i^2 - k \cdot D_{6ap}^2 \cdot n_n^2 \cdot t_{no}) + 72,757 \cdot F_{mp} \cdot t_n \cdot i^2}{715,705 \cdot t_n \cdot i^2 + k \cdot D_{6ap}^2 \cdot n_n^2 \cdot t_{no}}.$$

Заключение

Записаны выражения для определения статической и динамической мощностей электродвигателя механизма вертикального перемещения пассажирской капсулы башни кругового обзора. Приравнявая выражения для статической и динамической мощностей получена формула для определения массы противовеса, при которой статическая и динамическая мощности близки по величинам, т.е. оптимального значения массы противовеса.

Список литературы

- [1]. Александров М.П. Грузоподъёмные машины: Учебник для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана – Высшая школа. 2000. 552 с.
- [2]. Снесарев Г.А., Тибанов В.П., Зябликов В.М. Расчет механизмов кранов: Учебное пособие. / Под. ред. Д.Н. Решетова. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. 1994. 60 с.