

УДК 621.876.004.15

Семенюк В.Ф., д.т.н.; Бойко А.А. к.т.н.; Вудвуд А.Н.

Одесский национальный политехнический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ЛЕБЕДКИ ЛИФТА

При проектировании машин, прежде всего, ставится задача разработки механизмов машины с наилучшими показателями качества. Для оценки качества машины по принципу расхода энергии при выполнении машиной необходимой работы используется коэффициент полезного действия и доля потерь.

Рассмотрим энергетический баланс машины, на основе которого можно найти зависимость для определения коэффициента полезного действия (КПД) и доли потерь для различных периодов работы машины, а так же за полный цикл работы. Уравнение сохранения энергии можно записать в виде суммы мощностей сил, действующих в машине [1]

$$P_{\text{дв}} - P_{\text{полезн}} - P_{\text{потерь}} - P_{\text{рек}} \pm P_{\text{упр}} \pm P_{\text{Г}} \pm P_{\text{ин}} = 0 \quad (1)$$

где $P_{\text{дв}}$ – мощность, развиваемая двигателем машины, Вт; $P_{\text{полезн}}$ – мощность сил полезного сопротивления, Вт; $P_{\text{потерь}}$ – мощность сил вредного сопротивления, Вт; $P_{\text{рек}}$ – мгновенная мощность аккумулирующих устройств, позволяющих запасать энергию сил торможения, Вт; $P_{\text{упр}}$ – мощность, затрачиваемая на деформацию звеньев, Вт; $P_{\text{Г}}$ – мощность сил тяжести звеньев, Вт; $P_{\text{ин}}$ – мощность сил инерции.

Знаки перед числами уравнения энергетического баланса выбраны по физическому смыслу: положительный знак стоит перед мощностью, увеличение которой вызывает рост скорости. Последние члены энергетического баланса $P_{\text{упр}}$, $P_{\text{Г}}$, $P_{\text{ин}}$ могут иметь как положительное, так и отрицательное значение в разные моменты времени, т.е. могут суммироваться с мощностью двигателя или использоваться для торможения. Силы, действующие против направления скорости, увеличение которых вызывает ее снижение, называются силами сопротивления. Среди них выделяют силы полезного сопротивления, совершающие полезную работу, для преодоления которых предназначена машина, например, сил тяжести груза грузоподъемной машины. Силы вредного сопротивления дополнительно возникают при преобразовании в механизме движений

и сил, сверх необходимых для совершения полезной работы, например, силы трения в кинематических парах механизма.

Мощность, затрачиваемая на преодоление сил полезного сопротивления $P_{\text{полезн}}$ характеризуется мгновенным коэффициентом полезного действия

$$\eta_{\text{мгн}} = \frac{P_{\text{полезн}}}{P_{\text{дв}}} \quad (2)$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление силы вредного сопротивления характеризуется мгновенным коэффициентом потерь

$$\chi_{\text{мгн}} = \frac{P_{\text{потерь}}}{P_{\text{дв}}} \quad (3)$$

В течении полного цикла установившегося движения машины сумма работ последних трех слагаемых энергетического баланса (2.1) равна нулю

$$\int (P_{\text{упр}} + P_{\text{Г}} + P_{\text{ин}}) dt = 0 \quad (4)$$

или

$$\int (M_{\text{упр}}^{\text{пр}} + M_{\text{Г}}^{\text{пр}} + M_{\text{ин}}^{\text{пр}}) d\varphi = 0 \quad (5)$$

где $M_{\text{упр}}^{\text{пр}}$, $M_{\text{Г}}^{\text{пр}}$, $M_{\text{ин}}^{\text{пр}}$ – приведенные моменты сил, тяжести и упругости, Нм.

В связи с этим, интегрирование уравнения баланса мощностей за полный цикл установившегося движения позволят записать баланс работ в виде

$$(A_{\text{дв}})_{\text{цикл}} = (A_{\text{полезн}} + A_{\text{потерь}} + A_{\text{рек}})_{\text{цикл}}, \quad (6)$$

где $A_{\text{полезн}} = \int_0^{\tau_{\text{цикла}}} P_{\text{полезн}} \cdot dt$ – работа сил полезного сопротивления

за цикл, Дж; $A_{\text{потерь}} = \int_0^{\tau_{\text{цикла}}} P_{\text{потерь}} \cdot dt$ – работа сил вредного

сопротивления за цикл, Дж; $A_{\text{рек}} = \int_0^{\tau_{\text{цикла}}} P_{\text{рек}} \cdot dt$ – аккумулярованная в

цикле энергия, Вт; $(A_{\text{дв}})_{\text{цикл}} = \int_0^{\tau_{\text{цикла}}} P_{\text{дв}} \cdot dt$ – работа двигателя за цикл,

Дж.

Критериями, позволяющими оценить экономичность расхода энергии (работы двигателя) за цикл движения (без рекуперации), могут служить доля потерь и цикловой КПД

$$d_{\text{потерь}} = \left(\frac{A_{\text{потерь}}}{A_{\text{дв}}}_{\text{цикл}} \right), \quad (7)$$

$$\eta_{\text{цикла}} = \left(\frac{A_{\text{потерь}}}{A_{\text{дв}}}_{\text{цикл}} \right). \quad (8)$$

Найдем зависимости для определения КПД лебедки лифта по выражению (8) для двух режимов движения: с установившейся скоростью и во время пуска.

Режим движения с установившейся скоростью. Работа сил полезного сопротивления за цикл $(A_{\text{полезн}})_{\text{цикл}}$ может быть определена [2]

$$(A_{\text{полезн}})_{\text{цикл}} = P_y \cdot \frac{3}{V_K}, \quad (9)$$

где $P_y = V_K \cdot 0,5 m_{\text{гр}} \cdot g$ – полезная мощность, требующаяся для поднятия номинального груза массой $m_{\text{гр}}$ с номинальной скоростью движения кабины V_K , с учетом влияния противовеса массой $m_{\text{п}}$; груз перемещается с номинальной скоростью на один этаж (условная высота этажа 3 м).

При работе лебедки лифта в режиме движения с установившейся скоростью большая часть механической энергии теряется за счет трения в кинематических парах. В этом случае работа сил вредного сопротивления за цикл $(A_{\text{потерь}})_{\text{цикл}}$ может быть определена

$$(A_{\text{потерь}})_{\text{цикл}} = (A_{\text{дв}})_{\text{цикл}} (1 - \eta_{\text{дв}})(1 - \eta_{\text{р}})(1 - \eta_{\text{кп}}), \quad (10)$$

где $\eta_{\text{кп}}$ – КПД канатной передачи, о.е; $\eta_{\text{р}}$ – КПД редуктора, о.е; $\eta_{\text{дв}}$ – КПД двигателя.

Работа двигателя за цикл $(A_{\text{дв}})_{\text{цикл}}$ (без рекуперации энергии)

$$(A_{\text{дв}})_{\text{цикл}} = \frac{(A_{\text{полезн}})_{\text{цикл}}}{\eta_{\text{кп}} \cdot \eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{дв}}}, \quad (11)$$

или

$$(A_{\text{дв}})_{\text{цикл}} = P_y \cdot \frac{3}{V_K} \frac{1}{\eta_{\text{кп}} \cdot \eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{дв}}}. \quad (12)$$

Подставив $(A_{\text{полезн}})_{\text{цикл}}$ из (9) и $(A_{\text{дв}})_{\text{цикл}}$ из (12) в (8) найдем зависимость для определения КПД лебедки лифта при работе в режиме движения с установившейся скоростью

$$\eta_{\text{дв}} = \eta_{\text{кп}} \cdot \eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{дв}} \quad (13)$$

Режим движения во время пуска. Для динамического режима полезная энергия, затрачиваемая на один пуск полной кабины в сторону подъема, состоит из кинетической энергии накопленной номинальной массой груза, движущейся с номинальной скоростью

$$W_{\text{гр}} = \frac{m_{\text{гр}} V_{\text{к}}^2}{2} \quad (14)$$

и работы силы тяжести груза, с учетом влияния противовеса, на пути разгона кабины

$$A_{\text{гр}} = h_{\text{к}} \cdot 0,5 m_{\text{гр}} g \quad (15)$$

Путь, который проходит кабина за время пуска

$$h_{\text{к}} = \frac{V_{\text{к}} \cdot t}{i_{\text{п}}}, \quad (16)$$

где $i_{\text{п}}$ – кратность полиспаста подвески груза, о.е; t – время пуска, которое при заданных условиях пуска (учитывается только ограничение ускорения) составляет

$$t = \frac{V_{\text{к}}}{a_{\text{к}}}, \quad (17)$$

где $a_{\text{к}}$ – ускорение кабины, м/с².

Таким образом, полезная энергия одного пуска

$$(A_{\text{полезн}})_{\text{цикл}} = W_{\text{гр}} + A_{\text{гр}} \quad (18)$$

Для определения работы двигателя за цикл $(A_{\text{дв}})_{\text{цикл}}$ необходимо учесть кинетическую энергию, запасаемую подвижными частями лифта и ротором двигателя, а так же потери на трение, сопровождающие накопление кинетической энергии. Подвижные части лифта разделим на вращающиеся (шкивы, блоки, а так же ротор двигателя) и на поступательно перемещающиеся кабину и противовес. Суммарная кинетическая энергия кабины и противовеса

$$W_{\text{кп}} = \frac{(m_{\text{к}} + m_{\text{п}}) + V_{\text{к}}^2}{2}, \quad (19)$$

где $m_{\text{к}}$ и $m_{\text{п}}$ – масса кабины и противовеса соответственно, кг.

Кинетическая энергия, запасаемая блоками

$$W_{\text{бл}} = \frac{J_{\text{бл}} \omega_{\text{бл}}^2}{2}, \quad (20)$$

где $J_{\text{бл}}$ – момент инерции блоков, определяемый как $J_{\text{бл}} = n_{\text{бл}} \frac{m_{\text{бл}} D_{\text{бл}}^2}{4}$ ($n_{\text{бл}}$ – число блоков, $m_{\text{бл}}$ и $D_{\text{бл}}$ – масса и диаметр блока; кг, м, соответственно), $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $\omega_{\text{бл}}$ – угловая скорость на оси блоков, рад/с.

Кинетическая энергия, запаасаемая канатоведущим шкивом

$$W_{\text{кш}} = \frac{J_{\text{кш}} \omega_{\text{кш}}^2}{2}, \quad (21)$$

где $J_{\text{кш}}$ – момент инерции канатоведущего шкива, который равен $J_{\text{кш}} = \frac{m_{\text{кш}} D_{\text{кш}}^2}{4}$ ($m_{\text{кш}}$ и $D_{\text{кш}}$ – масса и диаметр канатоведущего шкива; кг, м, соответственно), $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $\omega_{\text{кш}}$ – угловая скорость на валу канатоведущего шкива, рад/с.

Суммарная энергия лебедки лифта на валу канатоведущего шкива за время пуска

$$A_{\text{кш}} = \frac{(A_{\text{полезн}})_{\text{цикл}} + W_{\text{ип}} + W_{\text{бл}} + W_{\text{кш}}}{\eta_{\text{кп}}}. \quad (22)$$

Энергия на валу двигателя за время пуска

$$A_{\text{дв}} = \frac{A_{\text{кш}}}{\eta_{\text{р}}}. \quad (23)$$

Кинетическая энергия, определяемая ротором двигателя лебедки

$$W_{\text{рдв}} = \frac{J_{\text{рдв}} \omega_{\text{рдв}}^2}{2}, \quad (24)$$

где $J_{\text{рдв}}$ и $\omega_{\text{рдв}}$ – момент инерции и угловая скорость ротора двигателя, соответственно, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$, рад/с.

Также, следует учесть и кинетическую энергию зубчатых колес редуктора и шкива электромагнитного тормоза, $W_{\text{ред}}$.

Работа двигателя за цикл $(A_{\text{дв}})_{\text{цикл}}$

$$(A_{\text{дв}})_{\text{цикл}} = \frac{A_{\text{кш}}}{\eta_{\text{дв}}} + 3(W_{\text{рдв}} + W_{\text{ред}}), \quad (25)$$

или

$$\left(A_{\text{дв}}\right)_{\text{цикл}} = \frac{\left(A_{\text{полезн}}\right)_{\text{цикл}} + W_{\text{кп}} + W_{\text{бл}} + W_{\text{кш}}}{\eta_{\text{кп}} \eta_{\text{р}} \eta_{\text{дв}}} + 3\left(W_{\text{рдв}} + W_{\text{ред}}\right) \quad (26)$$

Таким образом, КПД лебедки лифта за время пуска

$$\eta_{\text{лп}} = \left(\frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{дв}}}\right)_{\text{цикл}} = \dots \rightarrow \quad (27)$$

$$\rightarrow \dots = \frac{W_{\text{гр}} + A_{\text{гр}}}{\left(W_{\text{гр}} + A_{\text{гр}}\right) + W_{\text{кп}} + W_{\text{бл}} + W_{\text{кш}} + 3\left(W_{\text{рдв}} + W_{\text{ред}}\right)} \cdot \eta_{\text{кп}} \eta_{\text{р}} \eta_{\text{дв}}$$

Анализ выражения (27) показывает, что для повышения КПД лебедки лифта за время пуска необходимо уменьшать массу всех подвижных частей системы, диаметры блоков (а так же количество блоков) и канатоведущего шкива, ротора двигателя, зубчатых колес редуктора (либо отказаться от редуктора).

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонов, И. В. Теория механизмов и машин (основы проектирования по динамическим критериям и показателям экономичности) / И. В. Леонов, Д.И. Леонов. — М: «Юрайт-Издат.», 2009. — 239 с.
2. Андриющенко, О. А. Пассажирский лифт как электромеханическая система. Перспективы и проблемы совершенствования энергетических показателей / О. А. Андриющенко, В. В. Булгар, В. Ф. Семенюк // Подъемные сооружения. Специальная техника. — 2010. — № 2. — С. 23 — 28.