

УДК 692.66:62-83

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

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕБЕДОК ПАССАЖИРСКИХ ЛИФТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ДИАГРАММ

Как показывает анализ, необходимые параметры энергетических характеристик большинства современных применяемых лифтов, в свободном доступе, или отсутствуют, или имеют разрозненный характер [1,2]. Актуальной представляется задача, иметь общий не трудоемкий подход к комплексному анализу энергетических показателей элементов подъемного механизма, лебедки с двигателем и управляющего устройства, в целом. Это даст возможность проводить объективную сравнительную оценку энергетической эффективности лифтов с лебедками различного типа и производителей, а так же разрабатывать предварительные рекомендации по их применению.

Если лифтовый подъемный механизм и его электропривод рассматривать как сложную комплексную систему, то их энергетическую эффективность целесообразно рассчитывать при помощи энергетических диаграмм [3]. Подход заключается в разложении суммарной энергии, потребляемой из сети на отдельные составляющие, которые потребляются на приведение в движение кабины с грузом, противовеса, лебедки с двигателем и др. Это позволит выявить наиболее затратные, с точки зрения потребления энергии, элементы и режимы работы лифта и корректно оценить степень влияния на них предлагаемых конструктивных решений.

Общую оценку энергетической эффективности лифта можно разделить на две части:

- общие показатели качества и эффективности преобразования энергии в статических и динамических режимах, которые можно принять как базовые (паспортные данные энергетической эффективности конкретного типа лифта) и выразить через значение коэффициента полезного действия;

- оценка энергетической эффективности в виде потребляемой из сети энергии за определенный промежуток времени с учетом места размещения лифта и его графика нагрузки, определяемого пассажиропотоком.

Первая группа показателей позволяет объективно провести относительное сопоставление качеств лебедок различных типов с одинаковыми параметрами скорости и грузоподъемности. Второй показатель, кроме рекламных функций, служит в качестве технико-экономического показателя эксплуатации лифта [4].

Для расчета указанных энергетических показателей можно применять несколько методов [4,5]:

- аналитические упрощенные расчеты;
- математическое моделирование с максимальным учетом параметров и особенностей всех элементов лифта и особенностей пассажиропотока;
- экспериментальные статистические исследования потребляемой энергии, с учетом разделения на силовую часть, автоматику, освещение.

Для первой группы показателей важнейшим и объективным, при сопоставлении энергетической эффективности различных вариантов лебедок, является суммарный коэффициент полезного действия. Для анализа можно рекомендовать учитывать два режима: режим установившегося движения кабины с номинальной скоростью и динамический режим пуска двигателя лебедки, поскольку каждый из них имеет различное математическое описание.

Установившийся режим движения. В данном случае, полезной является мощность, которая тратится на перемещение груза с заданной скоростью с учетом действия противовеса и КПД всех преобразователей энергии [3]. Для однозначности предлагается использовать номинальные значения скорости, массы груза при подъеме и номинальные данные КПД отдельных составляющих лебедки и других составляющих механизма подъема (двигатель, редуктор, канатная передача и т.д.). Тогда полезная мощность в номинальном режиме будет определяться

$$P = V_{\text{кн}} \cdot k_y \cdot m_{\text{гн}} \cdot g \quad (1)$$

где $V_{\text{кн}}$ – номинальная скорость кабины, м/с; $m_{\text{гн}}$ – номинальная масса груза, кг; $k_y = \frac{m_{\text{п}} - m_{\text{к}}}{m_{\text{вн}}}$ – коэффициент уравнивания груза ($m_{\text{п}}$, $m_{\text{к}}$ – массы противовеса и кабины, соответственно, кг), по умолчанию $k_y = 0,5$ []; g – ускорение свободного падения, м/с².

Мощность, которая потребляется двигателем лебедки из сети с учетом допущения, определяется [6]

$$P_1 = \frac{P}{\eta_{\text{пр}} \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{р}} \eta_{\text{кп}}} \quad (2)$$

где $\eta_{\text{пр}}$, $\eta_{\text{дв}}$, $\eta_{\text{р}}$, $\eta_{\text{кп}}$ – номинальные значения коэффициентов полезного действия управляющего преобразователя, двигателя, редуктора, канатной передачи, соответственно.

Допущение заключается в учете только номинальных значений коэффициентов полезного действия (КПД) преобразователей энергии, принимая во внимание, что рассматривается режим подъема груза номинальной массы.

Таким образом, КПД в установившемся режиме

$$\eta_y = \frac{P}{P_1} 100\% \quad (3)$$

Динамические режимы работы. Их энергоэффективность можно оценить через усредненный КПД процесса пуска (или цикла пуск-торможение при перемещении на один этаж). Полезная энергия процесса пуска состоит из кинетической энергии, накопленной массой груза и работы силы веса груза во время разгона. Здесь, как и в установившемся режиме, для однозначности можно использовать номинальный вес груза и номинальную скорость в режиме подъема. Время и путь при пуске рассчитывается по упрощенным выражениям с учетом только ограничения ускорения. Лифты с управляемым электроприводом гарантированно отрабатывают заданные кинематические параметры [7], при этом время и путь разгона можно определить по выражениям

$$t_n \approx \frac{V_n}{a_n}; \quad h_n \approx \frac{V_n \cdot t_n}{2} \quad (4)$$

При применении неуправляемого электропривода, время и путь при пуске могут быть рассчитаны при помощи пускового момента двигателя, или для упрощения можно так же допустить, что пуск происходит с заданными параметрами ускорения. Кинетическая энергия при подъеме кабины с номинальным грузом, с номинальной скоростью при наличии противовеса [3]

$$W_{гк} = k_y \frac{m_g V_n^2}{2} \quad (5)$$

Аналогично, потенциальная энергия

$$W_{гп} = k_y \cdot m_g \cdot g \cdot h_n \quad (6)$$

Потребляемая энергия, состоит из общей кинетической энергии системы и потенциальной энергии по перемещению груза. При расчетах необходимо учитывать, что составляющие подъемного механизма лифта, лебедка с двигателем и преобразователем находятся на разной «удаленности» от источника питания, что обуславливает различное количество степеней преобразования энергии. Например, кинетическая энергия масс, движущихся поступательно, преобразуется, через тросовую передачу, редуктор, двигатель, полупроводниковый преобразователь. А кинетическая энергия двигателя лебедки, шкива электромагнитного тормоза, редуктора преобразуется, только через двигатель и полупроводниковый преобразователь. Поэтому при расчетах необходимо учитывать коэффициенты полезного действия соответствующих устройств

$$W_1 = \frac{W_{гп}}{\eta_{пр} \eta_{дв} \eta_{р} \eta_{кп}} + \frac{(m_г + m_к - m_п) V_к^2}{\eta_{пр} \eta_{дв} \eta_{р} \eta_{кп}} + \frac{(\sum J_{бл} + J_{квш}) \omega_{бл}^2}{2\eta_{пр} \eta_{дв} \eta_{р} \eta_{кп}} + \frac{(J_р + J_{дв} + J_{эт}) \omega_{дв}^2}{\eta_{пр} \eta_{дв}} \quad (7)$$

где $J_{квш}$, $J_р$, $J_{дв}$, $J_{эт}$ – моменты инерций канатоведущего шкива, редуктора, двигателя, электромагнитного тормоза, соответственно; $\sum J_{бл}$ - сумма моментов инерций всех вспомогательных блоков тросовой передачи.

Тогда, усредненный коэффициент полезного действия в динамическом режиме пуска может быть определен

$$\eta_{дин} = \frac{W_{гп} + W_{гк}}{W_1} \quad (8)$$

ВЫВОДЫ:

Описанный метод, основанный на анализе энергетических диаграмм путем разложения всей потребляемой энергии на отдельные составляющие, позволяет рассматривать механизмы подъема, лебедки с двигателями и управляющие устройства лифта как единую комплексную систему. Благодаря этому, появляется возможность:

- проанализировать влияние каждого из элементов на общую энергетическую эффективность лифта;
- корректно оценить степень влияния на энергетическую эффективность лебедок различных традиционных и инновационных решений.

- выявить наиболее затратные, с точки зрения потребляемой энергии, конструктивные элементы и режимы работы; Его недостатком можно считать погрешности расчетов в динамических режимах, вызванные принятым допущением о постоянстве КПД всех элементов и их независимости от текущей загрузки кабины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрющенко, О. А. Совершенствование энергетических показателей лифтовых лебедок. Критический анализ мировых достижений / О. А. Андрющенко, В.Ф. Семенюк., А. О. Бойко, А. Б. Кнюх // Научно-технический и производственный журнал Подъемные сооружения. Специальная техника. — 2012. — № 11 (129). — С. 26 — 29.
2. Семенюк, В. Ф. Критический анализ некоторых

инновационных решений в лифтовых подъемных механизмах / В. Ф. Семенюк, А. А. Бойко // Підйомна-транспортна техніка. №3 (39). — Одесса : Інтерпрінт, 2013. — С. 89 — 92.

3. Ключев, В. И. Теория электропривода [учеб. пособие для вузов] / В. И. Ключев. — 2-е изд. — М. : Энергоатомиздат, 1998. — 704 с.

4. Андрищенко, О. А. Анализ энергетической эффективности электроприводов пассажирских лифтов / О. А. Андрищенко, А. О. Бойко, О. Б. Бабийчук // Вісник національного технічного університету «ХПІ». — № 28. — Харків : [НТУ «ХПІ»], 2010. — С. 503 — 504.

5. Джина, Барни Эффективность использования энергии в лифтах предложение по классификации с точки зрения потребления энергии / Барни Джина // Лифт. — 2010. — № 5. — С. 25 — 29.

6. Лифты. Учебник для вузов / под общей ред. Д. П. Волкова. - М.: изд-во АСВ, 1999. - 480 с.

7. Макаров, Л. Н. Современный электропривод скоростных лифтов повышенной комфортности / Л. Н. Макаров // Электротехника. — 2006. — № 5. — С. 42 — 46.