

УДК 621.876

И. И. Пирч, канд. техн. наук., доц., зав. кафедрой, 8 (0629) 44-66-72,  
pirchigor@gambler.ru (Украина, Мариуполь, ПГТУ),

С. Ф. Ключиков, мастер производственного обучения студентов,  
8 (0629) 44-65-47, andrewmariupol@gmail.com (ПГТУ)

## ТЯГОВАЯ СПОСОБНОСТЬ ЛИФТА

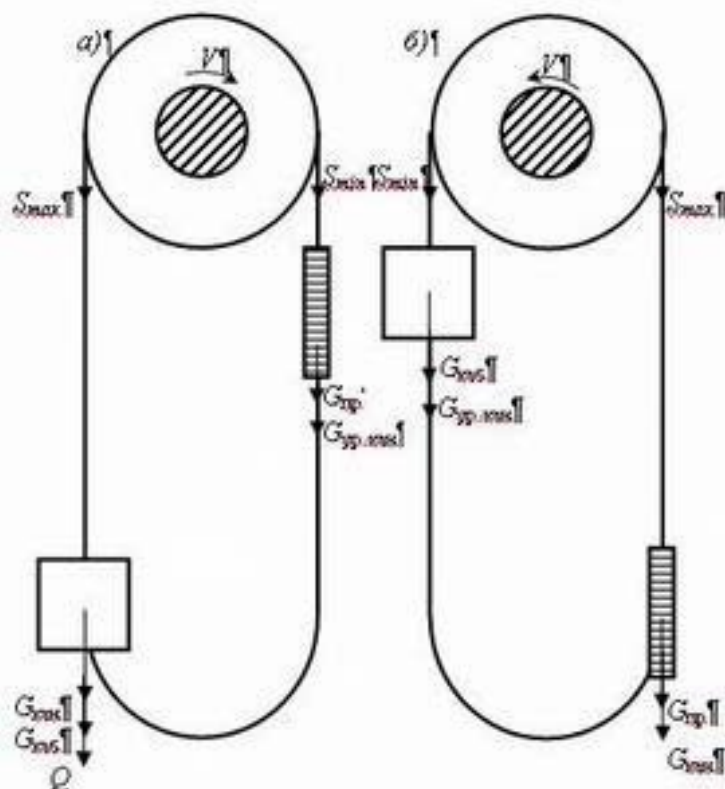
*Выполнен литературный обзор оценки тяговой способности лифтов и подъемников. Предложена модель, позволяющая упростить и единообразить теоретическое определение и практическую проверку тяговой способности выполнением четырех условий.*

*Ключевые слова: лифт, лебедка, кабина, канат, противовес, тяговая способность.*

Работоспособность лифта с канатоведущим шкивом обеспечивается отсутствием проскальзывания тяговых канатов по шкиву. В известной литературе это состояние оценивается «тяговым коэффициентом» [1], «тяговым усилием» [2], «предельным тяговым усилием» [3], «нагрузкой тяговой способности» [1] и, наконец, «тяговой способностью» [4]. Такое разнообразие терминов не способствует ясности представлений о важной характеристике лифтов, усложняет её практическое определение и приводит к ошибкам в теоретическом анализе.

Например, в [2] «тяговое усилие – это внешняя нагрузка, представляющая разность между усилиями в канате со стороны кабины и со стороны противовеса, уравновешенная силами трения между канатом и ручьём шкива». Прежде всего, уточним: «разность между усилиями в канате со стороны кабины и со стороны противовеса» - это лишь часть «внешней нагрузки», которая полностью описывается усилием в набегающей ветви тяговых канатов  $S_{\max}$  и усилием в сбегающей ветви тяговых канатов  $S_{\min}$  (рисунок).

В [4] предписывается проверять тяговую способность лифта во время его статического испытания нагрузкой, на 50...100 % превышающей номинальную грузоподъемность  $Q$ , простой «проверкой отсутствия проскальзывания канатов в ручьях канатоведущего шкива ... в нижнем положении кабины (рисунок а) в течении 10 минут». При этом безосновательно предполагается: если в таких условиях тяговая способность лифта будет обеспечена, то в любых других схемах нагружения – и подавно.



### Испытательные положения лифта:

*а – динамическое испытание; б – возврат порожней кабины*

В [2] рекомендуют регулировать оптимальную тяговую способность весом противовеса  $G_{пр}$ . «Для этого кабину устанавливают на середине шахты и загружают половиной грузоподъемности. Путём вращения маховика лебёдки (при отпущенных тормозах) определяют: одинаково ли усилие движения кабины вверх и вниз. Если при движении вниз – меньше, то  $G_{пр}$  догружают. Если при движении вверх оно меньше, то  $G_{пр}$  облегчают». Точность, научность и эффективность такой «оптимизации» тяговой способности, где «путём вращения маховика лебёдки... определяют, одинаково ли усилие» - легко оспорить.

В данном сообщении предлагается упростить и единообразить теоретическое определение и практическую проверку столь важной характеристики лифта.

В теории тяговая способность лифта  $S$  – это наибольшее усилие  $S_{max}$ , развиваемое без проскальзывания канатопроводящим органом в набегающей ветви тяговых канатов под воздействием на сбегающую ветвь тех же канатов усилия  $S_{min}$ .

Но это неправильно, так как  $S_{max}$  создаётся не только трением канатопроводящего органа о канаты, но также и перекачиванием канатов под усилием  $S_{min}$  по канатопроводящему органу, как по обычному блоку.

Ещё раз уточним: неправильно характеризовать тяговую способность «внешней нагрузкой», максимальным усилием  $S_{\max}$ , развиваемым канатоведущим шкивом (КВШ) в набегающей ветви канатов, так как в создании этого усилия участвует не только канатоведущий шкив, но и обязательное в наличии минимальное усилие  $S_{\min}$  в сбегающей ветви канатов. То есть, помимо непосредственного участия  $S_{\min}$  всей своей величиной в создании  $S_{\max}$  за счёт простого перекатывания канатов по шкиву, существует и опосредованное его участие созданием трения в контакте «канаты-шкив». И именно эта часть усилия  $S_{\max}$  («внешней нагрузки») представляет собой тяговую способность лифта – способность канатоведущего шкива именно «тянуть» канаты с грузом, а не просто «перекатывать» их, как обычный блок!

Таким образом, тяговая способность лифта – это усилие  $S$ , определяемое для любых схем нагружения лифта выражением

$$S = S_{\max} - S_{\min} \quad (1)$$

Тяговая способность лифта – это комплексное состояние лифта, его потенциальная готовность выполнить любую предназначенную работу правильно и – самое главное – без пробуксовки канатов в ручьях КВШ.

Леонард Эйлер, исследуя корабельную задачу «Какое предельное усилие  $S_{\max}$  на одном конце каната, навитого вокруг деревянной сваи, может удержать усилие  $S_{\min}$  на другом конце каната без проскальзывания каната по свае?», установил зависимость (2), впоследствии названную в его честь – коэффициентом Эйлера,

$$e^{\mu\beta} = \frac{S_{\max}}{S_{\min}}, \quad (2)$$

где  $e$  – основание натуральных логарифмов;

$\mu$  – коэффициент трения каната о сваю;

$\beta$  – угол обхвата сваи канатом, рад.

Этот коэффициент Эйлера лифтовики называли в свою честь «тяговым коэффициентом» и используют его в лифтовых задачах для определения тяговой способности лифта  $S$ , выполнив несложные преобразования выражения (1),

$$S = S_{\max} - S_{\min} = S_{\min} \frac{S_{\max} - S_{\min}}{S_{\min}} = S_{\min} \left( \frac{S_{\max}}{S_{\min}} - 1 \right) = S_{\min} (e^{\mu\beta} - 1) \quad (3)$$

Восстановим историческую справедливость и предложим называть величину  $e^{\mu\beta}$  – тяговым коэффициентом Эйлера. Как его определить для данного лифта?

Так как для разных схем нагружения лифта его тяговая способность разная (1), то и определять тяговый коэффициент Эйлера надо для каждой схемы нагружения.

На практике [1] «тяговую способность» определяют последовательностью практических работ непосредственно на действующем лифте, среди которых:

- установить динамометр на буфер (упор) противовеса;
- штурвалом лебёдки (при разомкнутом тормозе) опустить противовес на динамометр до момента проскальзывания всех канатов;
- снять показания динамометра;
- определить (цитата [1]) «нагрузку тяговой способности шкива расчётом для лифта с верхним расположением машинного помещения и кабины без компенсирующих цепей

$$Q_{\text{шк}} = f\Pi - K - G_{\text{к}}, \quad (4)$$

$$f = \frac{K + G_{\text{каб}}}{\Pi + G_{\text{к}} - P}, \quad (5)$$

где  $f$  – тяговый коэффициент;  $P$  – нагрузка на буфер противовеса, измеренная динамометром, при проскальзывании всех канатов в ручьях шкива, КГ;  $\Pi$  – масса противовеса, КГ;  $G_{\text{к}}$  – масса тяговых канатов, КГ;

$G_{\text{каб}}$  – масса кабелей, КГ;  $K$  – масса кабины, КГ» (конец цитаты).

Действительно, в описанный момент динамометр замерит «усилие  $P$ », в котором принимает участие и пресловутая «нагрузка тяговой способности», но кроме неё – ещё и половина грузоподъёмности лифта  $0,5Q$ , так как  $\Pi = K + 0,5Q$ , а также разность между весом тяговых и уравновешивающих канатов (при наличии последних). Можно согласиться и с методом определения «тягового коэффициента  $f$ » для исследуемого случая нагружения, когда  $S_{\text{max}} = K + G_{\text{каб}}$ , а  $S_{\text{min}} = \Pi + G_{\text{к}} - P$ . Но нельзя согласиться с прямолинейным переносом найденного «тягового коэффициента  $f$ » на другую схему нагружения согласно выражения (4), где  $S_{\text{max}} = Q_{\text{шк}} + K + G_{\text{к}}$ , а  $S_{\text{min}} = \Pi$ , и действует другая экспоненциальная зависимость. В завершении, такую сомнительную тяговую способность считают «положительной, если она больше нормативного значения». Что подразумевается под «нормативным значением», авторы [1] умалчивают.

Но, если определять тяговый коэффициент Эйлера только опытными значениями усилий  $S_{\text{max}}$  и  $S_{\text{min}}$  по классической формуле (2), то в лифтовых задачах он всё равно не будет «предельным», каким был в корабельной задаче Эйлера. Иными словами, при любой другой схеме нагружения лифта возможны другие значения тягового коэффициента Эйлера, также обеспечивающие отсутствие проскальзывания канатов в канатоподводящем шкиве.

В результате, даже опытное определение тягового коэффициента Эйлера лишь констатирует факт наличия тяговой способности лифта, но тоже – не определяет её.

При проектировании среди множества значений тягового коэффициента Эйлера для данного лифта наименьшим будет значение при наихудшей схеме нагружения (подобной схеме *a*, рис.) в условиях статического испытания лифта, специально для этого (с запасом) создаваемых. Назовём его допустимым значением тягового коэффициента Эйлера

$$[e^{\mu\beta}] = \frac{S_{\max}}{S_{\min}},$$

где  $S_{\max} = (1,5...2)Q + G_{\text{каб}} + G_{\text{кан}}$ , Н;

$S_{\min} = G_{\text{пр}} + G_{\text{ур.кан}}$ , Н.

Тогда, чтобы проверить работоспособность лифта при других возможных *i*-тых схемах нагружения, достаточно будет сравнить их «непредельные» тяговые коэффициенты Эйлера  $e_i^{\mu\beta}$  с допустимым и проверить выполнение условия

$$e_i^{\mu\beta} \geq [e^{\mu\beta}] \quad (6)$$

Условием (6) мы чётко и определённо ограничиваем «снизу» пока ещё неопределённую сущность – тяговую способность лифта. Однако, не имеет смысла проверять все возможные схемы нагружения лифта. Достаточно проверить только две – экстремальные и взаимно противоположные по условиям (см. рисунок):

а) динамическое испытание лифта – подъём кабины, гружёной  $0,5Q$ , с крайнего нижнего положения

$$S_{\max} = (1,1Q + G_{\text{каб}} + G_{\text{кан}})(1 + a/g);$$

$$S_{\min} = (G_{\text{пр}} + G_{\text{ур.кан}})(1 - a/g);$$

$$e_a^{\mu\beta} = \frac{S_{\max}}{S_{\min}} \geq [e^{\mu\beta}]$$

б) возврат порожней кабины с крайнего верхнего положения:

$$S_{\max} = (G_{\text{пр}} + G_{\text{кан}})(1 + a/g);$$

$$S_{\min} = (G_{\text{каб}} + G_{\text{ур.кан}})(1 - a/g);$$

$$e_b^{\mu\beta} = \frac{S_{\max}}{S_{\min}} \geq [e^{\mu\beta}]$$

где  $G_{\text{каб}}$  – вес кабины, Н;

$G_{\text{кан}}$  – вес подъёмных канатов, Н;

$G_{\text{пр}}$  – вес противовеса, Н;

$G_{\text{ур.кан}}$  – вес уравновешивающих канатов, Н;

$a$  – максимальное ускорение (замедление) кабины при нормальной работе лифта,  $\text{м/с}^2$ ;

$g$  – ускорение свободного падения тел,  $\text{м/с}^2$ .

Выполнением условия (6) для схем нагружения а и б мы чётко ограничиваем всё ещё неопределённую тяговую способность лифта «с боков», избавляясь от возможных разбросов её значений.

Так как схемы а и б представляют крайние и противоположные нагружения лифта, между которыми находятся все остальные, возможные при нормальной работе лифта, а усилие  $G_{\text{пр}}$  входит при схеме а – в знаменатель, а при схеме б – в числитель тягового коэффициента Эйлера, то предоставляется возможность теоретически (ещё на стадии проектирования лифта!) подобрать оптимальный  $G_{\text{пр}}$ , обеспечивающий выполнение нового условия

$$e_a^{\mu\beta} = e_b^{\mu\beta} \quad (7)$$

Уменьшая  $G_{\text{пр}}$  на вес одного из грузов его комплекта, мы увеличиваем  $e_a^{\mu\beta}$  и одновременно уменьшаем  $e_b^{\mu\beta}$  (и наоборот) вплоть до выполнения условия (7). Так будет обеспечена «золотая середина» тяговой способности лифта, оптимальной, как для подъёма нагруженных кабин, так и для опускания порожних. Выполнением условия (7) мы стабилизируем возможные изменения всё же оставшейся неопределённой тяговой способности лифта.

Окончательно ограничивает «сверху» (таки неопределённую) тяговую способность лифта её предельное значение  $S_{\text{пред}}$ , используемое в проверочных расчётах [3] уже выбранных электродвигателя и редуктора лифта. Оно определяется опять же по классической формуле Эйлера (4) и должно удовлетворять условию (8) для любой схемы нагружения лифта,

$$S_{\text{пред}} = S_{\text{min}}(e_p - 1) \geq (S_{\text{max}} - S_{\text{min}}), \quad (8)$$

где  $e_p = e^{\mu_p \beta}$  – результирующий тяговый коэффициент Эйлера;

$\mu_p = \mu_0 \cdot k_n$  – результирующий коэффициент трения, удерживаемый варьированием материалов канатоповодящего шкива ( $\mu_0 = 0,09; 0,105$  – коэффициент трения стали; чугуна) и формы профиля его ручьёв ( $k_n = 1,27; 2,58; 2,92$  – коэффициент профиля ручьёв: полукруглого; полукруглого с подрезом; клинового) в пределах

$$\frac{\lg[e^{\mu\beta}]}{\beta \cdot \lg e} = [\mu]_{\text{min}} \leq \mu_p \leq [\mu]_{\text{max}} = \mu_0 \frac{[p] D_{\text{шк}} d}{S_{\text{max}} / n},$$

где  $[p]$  – допустимое давление тяговых канатов, Н/мм<sup>2</sup>;  $D_{шк}$  – диаметр канатоведущего шкива, мм;  $d$  – диаметр тягового каната, мм;  $n$  – количество тяговых канатов, шт.

По предельному значению тяговой способности лифта  $S_{пред}$  определяется предельный тяговый момент  $M_{пред}$ , удовлетворяющий условию

$$M_{пред} = S_{пред} \frac{D_{шк}}{2} \geq [M_{кр}] \geq M_p, \quad (9)$$

где  $M_{кр}$  – допустимый крутящий момент лебёдки лифта, создаваемый выбранными электродвигателем и редуктором, Н·м;  $M_p$  – расчётный крутящий момент лебёдки лифта, необходимый для выполнения полезной работы лифта и преодоления всех сопротивлений движению его подвижных частей, Н·м.

Предложенная система выполнения четырёх условий (6)–(9) однозначно ограничивает со всех возможных сторон и оптимизирует внутри трудноуловимую сущность – тяговую способность лифта, чем гарантированно обеспечивает работоспособность лифта при любых схемах его нагружения, а также упрощает представление, опытное определение, проверку и регулирование этой жизненно важной характеристики лифта.

### Список литературы.

1. Федосеев В.Н., Гончаров Г.К. Безопасная эксплуатация лифтов: справ. пособие. М.: Стройиздат, 1987. 256 с.
2. Полковников В.С., Лобов Н.А., Грузинов Е.В., Бродский М.Г. Монтаж и эксплуатация лифтов. М.: Высш. шк., 1969. 344 с.
3. Павлов Н.Г. Лифты и подъемники. М. Л., Машиностроение, 1965. 204 с.
4. Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов. М.: Недра, 1971. 96 с.

*I. Pirch, S. Klyikov*

*The literary review of an estimation of lifts and hoists hauling ability is executed*

*The model, allowing to simplify and unify theoretical definition and practical check of a hauling ability by performance of four conditions is offered.*

Получено 07.04.09