

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ЛИФТОВ ПРИ РЕГУЛИРУЕМОЙ НОМИНАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ КАБИНЫ ЛИФТА

Сегодня частотно-регулируемый ЭП переменного тока основной тип регулируемого привода в лифтах [1]. Особенностью приводов лифтов является работа с меняющейся нагрузкой, что обеспечивает функционирование привода как в двигательных режимах, так и в генераторных (рекуперативное торможение). Если в редукторных приводах лифтов, с учетом к.п.д. редуктора, использование генераторных режимов малоэффективно, то в безредукторных регулируемых приводах появляется возможность использования рекуперированной энергии. Генераторные режимы работы лифта могут прогнозироваться с учетом загрузки кабины лифта и направления её движения. Величина рекуперированной двигателем привода лифта энергии определяется и скоростью перемещения кабины лифта. Максимальный эффект использования генераторных режимов работы возможен, если номинальная скорость перемещения кабины лифта будет увеличена для всех тех поездок, где возможен такой режим работы [2]. Ограничением увеличения скорости для электропривода лифта, рассчитанного на заданную номинальную скорость перемещения, являются характеристики используемых двигателей [4]. Например, лифтовый синхронный двигатель переменного тока с поверхностным расположением магнитов (СДПМ) допускает увеличение скорости ориентировочно на 20%-30% от номинальной. Увеличение скорости перемещения в пределах круговой поездки (подъем – спуск кабины) кабины лифта в генераторных режимах выше номинальной также формирует предпосылки для увеличения и производительности лифта, которая непосредственно связана со скоростью движения кабины. Оценим, например, возможное изменение в производительности лифтов при работе в круговой поездке с увеличенной номинальной скоростью перемещения кабины до 30% в режиме подъема кабины при её нагрузке меньше номинальной (рекуперативное торможения двигателя привода наиболее вероятно). Исходные данные для расчета указаны в таблице 1. Методика расчета приведена в [5]. Пример для расчета взят из [6]. Рассматриваем режимы:

- круговая поездка совершается с постоянной номинальной скоростью движения кабины;
- круговая поездка совершается с увеличенной номинальной скоростью перемещения кабины, например, только при спуске кабины (генераторный режим).

Второй режим создает предпосылки для увеличения производительности лифта. Рассчитаем возможное изменение в этом случае производительности лифта.

Производительность лифта при двустороннем пассажиропотоке [5]:

$$P = \frac{3600 \cdot (y_{\Pi} + y_c)}{T} \quad (1)$$

Здесь: y_{Π}, y_c - коэффициенты заполнения кабины при подъеме и спуске;
 T - время кругового рейса .

Обозначим: $3600 \cdot (y_{\Pi} + y_c) = Y$. Тогда (1) имеет вид:

$$P = \frac{Y}{T}$$

Единственная величина, зависящая от скорости лифта - время кругового рейса кабины:

$$T = \frac{2 \cdot H_B + h \cdot (N_{\Pi} + N_C + 1)}{V} + k_t \cdot [t_0 \cdot (N_{\Pi} + N_C + 1) \cdot t_{\Pi}] \quad (2)$$

где: H_B - вероятная высота подъема кабины лифта; h – путь движения кабины с неустановившейся скоростью при разгоне и замедлении;
 N_{Π}, N_C – число вероятных остановок кабины при подъеме и спуске;
 V – расчетная скорость установившегося движения кабины; k_t – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты времени; t_0 – затраты времени на ускорение, замедление и пуск лифта, на открытие и закрывание дверей кабины; t_{Π} – затраты времени на вход и выход пассажиров при движении вверх и вниз.

Время кругового рейса T можно представить в виде:

$$T = \frac{a_1}{V} + b \quad (3)$$

где: $a_1 = 2 \cdot H_B + h \cdot (N_{\Pi} + N_C + 1)$; $b = k_t \cdot [t_0 \cdot (N_{\Pi} + N_C + 1) \cdot t_{\Pi}]$

Подставив (3) в (1) получим: $P = \frac{Y \cdot V}{a_1 + b \cdot V}$. Если считать величины: h, t_0, k_t ,

входящие в выражение (3) неизменными и равными этим значениям при движении кабины лифта с постоянной скоростью вверх и вниз, то время кругового цикла при движении с разными скоростями вверх - вниз можно разделить на сумму времени подъема T_{Π} и времени спуска T_c со скоростью $V_C = k \cdot V$ (k – коэффициент увеличения скорости при спуске):

$$T_1 = T_{\Pi} + T_c = \frac{H_B + h \cdot (N_{\Pi} + 0,5)}{V} + k_t \cdot [t_0 \cdot (N_{\Pi} + 0,5) + 0,5 \cdot t_{\Pi}] + \frac{H_B + h \cdot (N_C + 0,5)}{V_C} + k_t \cdot [t_0 \cdot (N_C + 0,5) + 0,5 \cdot t_{\Pi}] \quad (4)$$

Преобразуем выражения (4) к виду:

$$T_1 = \frac{(k+1) \cdot H_B + h \cdot [0,5 \cdot (k+1) + k \cdot N_{\Pi} + N_C]}{k \cdot V} + k_t \cdot [t_0 \cdot (N_C + N_{\Pi} + 1) + t_{\Pi}] \quad (5)$$

Выражение для T_1 можно представить в виде:

$$T_1 = \frac{a}{k \cdot V} + b \quad (6)$$

где: $a = (k+1) \cdot H_B + h \cdot [0,5 \cdot (k+1) + k \cdot N_{\Pi} + N_C]$.

Подставив (6) в (1) получим выражение производительности лифта с увеличенной скоростью спуска:

$$P_1 = \frac{Y}{T_1} = \frac{Y \cdot k \cdot V}{a + k \cdot b \cdot V}$$

Изменение в производительности лифта:

$$\Delta P = P_1 - P = \frac{Y \cdot k \cdot V}{a + k \cdot b \cdot V} - \frac{Y \cdot V}{a_1 + b \cdot V} = \frac{Y \cdot V \cdot (k \cdot a_1 - a)}{(a_1 + b \cdot V) \cdot (a + k \cdot b \cdot V)}$$

В процентном соотношении изменение производительности:

$$\Delta P = \frac{P_1 - P}{P} \cdot 100\% = \frac{(k-1) \cdot [H_B + h \cdot (N_C - 0,5)]}{H_B \cdot (k+1) + h \cdot [0,5 \cdot (k+1) + k \cdot N_{II} + N_C] + k \cdot V \cdot k_t \cdot [t_0 \cdot (N_{II} + N_C + 1) + t_{II}]} \cdot 100\%$$

Результаты расчета изменения производительности для лифта (таблица 1) при изменении скорости спуска в диапазоне (1,1-1,3) \square $V_{НОМ}$ приведены в таблице 2.

Таблица 1. Исходные данные для расчета.

H_B , м	h , м	N_{II}	N_C	t_{II} , сек.	t_0 , сек.	k_t
33,6	2,5	12,71	8,02	35,4	10	1,05

Таблица 2. Изменение производительности лифта.

$V_{НОМ}$	$k \square V_{НОМ}$	ΔP , %
1,6м/с	$V=1,1 \square V_{НОМ}$	0,9
	$V=1,2 \square V_{НОМ}$	1,62
	$V=1,3 \square V_{НОМ}$	2,26
1,0м/с	$V=1,1 \square V_{НОМ}$	1,2
	$V=1,2 \square V_{НОМ}$	2,3
	$V=1,3 \square V_{НОМ}$	3,2

Для лифта с номинальной скоростью перемещения 1,6м/с увеличение скорости кабины лифта в круговой поездке при спуске от 10% до 30% от номинальной сопровождается ростом производительности лифта от 0,9% до 2,26%. Для этого же примера, но с номинальной скоростью лифта 1м/с такое же увеличение скорости при спуске дает увеличение производительности от 1,2% до 3,2%.

В рассматриваемом примере круговая поездка - это подъем с нижнего этажа на верхний и обратно. Также, как и загрузка кабины лифта, этажность круговой поездки пассажирских лифтов тоже определяется случайным пассажиропотоком, что не отражено в проведенном расчете.

В [3] в качестве среднестатистической поездки в жилых зданиях для лифтов определена круговая поездка, для которой среднее расстояние при подъеме составляет 9м, а при спуске - 11,7м. Рассмотрим и для этого случая круговой рейс кабины с увеличенной номинальной скоростью перемещения движения только вниз.

В этом случае, при допущении одинаковой высоты подъема и спуска, производительность лифта определяется выражением (1).

В формуле расчета времени кругового рейса T с учетом нового значения номинальной скорости движения $V=k \cdot V_{\text{НОМ}}$ сделаем замену:

$$T_2 = \frac{a_1}{k \cdot V} + b = \frac{a_1 + k \cdot b \cdot V}{k \cdot V}$$

Получаем два выражения для времени кругового рейса T :

T первоначальное и T_2 , при увеличенной скорости перемещения вниз: $V=k \cdot V_{\text{НОМ}}$.

Тогда производительность лифта при времени круговой поездки T_2 запишем в виде:

$$P_2 = \frac{Y}{T_2} = \frac{Y \cdot k \cdot V}{a_1 + k \cdot b \cdot V}$$

Изменение производительности лифта:

$$\Delta P_2 = P_2 - P = \frac{Y \cdot k \cdot V}{a_1 + k \cdot b \cdot V} - \frac{Y \cdot V}{a_1 + b \cdot V} = \frac{Y \cdot V \cdot a_1 \cdot (k - 1)}{(a_1 + b \cdot V) \cdot (a_1 + k \cdot b \cdot V)}$$

Изменение производительности лифта в процентах

$$\Delta P = \frac{P_2 - P}{P} \cdot 100\% = \frac{a_1 \cdot (k - 1)}{a_1 + k \cdot b \cdot V} \cdot 100\%$$

Результаты расчета изменения производительности для лифта (таблица 3) приведены в таблице 4.

Таблица 3. Исходные данные для расчета.

$H_{\text{в}}, \text{м}$	$h, \text{м}$	$N_{\text{п}} = N_{\text{с}}$	$t_{\text{п}}, \text{сек.}$	$t_{\text{о}}, \text{сек.}$	k_t
9	2,5	3	17,7	10	1,05

Таблица 4. Изменение производительности лифта.

V	$k \cdot V_{\text{НОМ}}$	$\Delta P, \%$
1,6м/с	$V=1,1 \cdot V_{\text{НОМ}}$	1,7
	$V=1,2 \cdot V_{\text{НОМ}}$	3,3
	$V=1,3 \cdot V_{\text{НОМ}}$	4,6
1м/с	$V=1,1 \cdot V_{\text{НОМ}}$	2,5
	$V=1,2 \cdot V_{\text{НОМ}}$	4,8
	$V=1,3 \cdot V_{\text{НОМ}}$	6,8

Для среднестатистической круговой поездки увеличение номинальной скорости от 10% до 30% при движении кабины в одну сторону (вниз) дает расчетное увеличение производительности лифта:

- при номинальной скорости перемещения кабины лифта 1м/с от 2,5% до 6,8%;

- при номинальной скорости перемещения кабины лифта 1,6м/с от 1,7% до 4,6%.

Приведенные расчеты показывают, что наряду с возможным повышением энергоэффективности пассажирских лифтов за круговую поездку за счет увеличения номинальной скорости перемещения кабины лифта в режиме рекуперативного торможения (требует отдельной оценки), увеличение номинальной

скорости перемещения кабины лифта в этих режимах создает предпосылки и для увеличения общей производительности лифта.

Выводы.

С целью повышения энергоэффективности пассажирских лифтов с безредукторной лебедкой возможно увеличение номинальной скорости движения кабины лифтов в пределах круговой поездки в режимах, при которых вероятен генераторный режим работы двигателя. Это увеличение номинальной скорости определяется возможностями используемого двигателя (СДПМ с поверхностным расположением магнитов на роторе – ориентировочно на 20% - 30%). Увеличение номинальной скорости перемещения кабины лифта в пределах круговой поездки создает предпосылки и для увеличения общей производительности лифта. Для лифта с номинальной скоростью перемещения 1,6м/с увеличение скорости кабины лифта в круговой поездке при спуске от 10% до 30% от номинальной сопровождается ростом производительности лифта от 0,9% до 2,26%. Для этого же примера, но с номинальной скоростью лифта 1м/с такое же увеличение скорости при спуске дает увеличение производительности от 1,2% до 3,2%.

Для среднестатистической круговой поездки увеличение номинальной скорости от 10% до 30% при движении кабины в одну сторону (вниз) дает расчетное увеличение производительности лифта:

- при номинальной скорости перемещения кабины лифта 1м/с от 2,5% до 6,8%;

- при номинальной скорости перемещения кабины лифта 1,6м/с от 1,7% до 4,6%.

Литература

1. Коваль, А.С. Электромеханическая система лифтов со скоростью до 2 м/с / А.С. Коваль, А.В. Шваяков // Вестн. Беларус. – Рос. ун-та. – 2009. – N4 – С.113-120.
2. Гайдукевич В.И. Случайные нагрузки силовых электроприводов/ В.И. Гайдукевич, В.С. Титов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 159
3. Особенности расчета загрузки пассажирских лифтов/А.А.Бойко// Науково-технічний та виробничий журнал «Підйомно-транспортна техніка». -Вып.1 (41).-Одеса:Інтерпрінт,2014.-С.90-93.
4. Коваль, А.С. К вопросу разработки электропривода пассажирских лифтов с регулируемой номинальной скоростью движения кабины лифта А.С. Коваль, Е.В.Ефименко// Вестн. Беларус. – Рос. ун-та. – 2015. – N1 – С.96-102.
5. Лифты: учеб. для вузов/ Г.Г. Архангельский [и др.]; под общей редак. Д.П. Волкова. – М.: изд-во Ассоц. строит. вузов, 1999. – 479 с.
6. Справочное пособие к СНиП2.08-01-89/ Проектирование жилых зданий. Объемно-планировочные решения.М.: Стройиздат.1991г.