

УДК 62-83:621

А. С. Коваль, А. И. Артеменко

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПАССАЖИРСКИХ ЛИФТОВ С РЕГУЛИРУЕМОЙ НОМИНАЛЬНОЙ СКОРОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ КАБИНЫ ЛИФТА

UDC 62-83:621

A. S. Koval, A. I. Artemenko

ON THE SELECTION OF SPEED CONTROLLER PARAMETERS AND THE FORMATION OF MOTION TACHOGRAMS IN ELEVATOR ADJUSTABLE DRIVES

Аннотация

Вопросы повышения эффективности работы лифтов при использовании регулируемых электроприводов в массовых лифтах постоянно привлекают внимание. Эффективность работы лифтов определяется в том числе и их производительностью. Показано, что увеличение номинальной скорости перемещения кабины лифта при работе двигателя привода лифта в рекуперативном режиме вместе с возможным уменьшением общего энергопотребления за среднестатистическую круговую поездку (спуск-подъем кабины) создает предпосылки и для повышения производительности лифтов с безредукторными частотно-регулируемыми электроприводами переменного тока.

Ключевые слова:

лифт, регулируемый электропривод, энергосбережение, производительность лифта, рекуперативный режим работы, круговая поездка, повышение производительности лифта, скорость перемещения лифта.

Abstract

The control strategy for adjustable drives in elevators is determined by the need to provide comfortable ride characteristics. It is shown that the required tachograms of the elevator car movement are formed by the speed selectors with response speed of the control system limited by settings of the speed loop, whose parameters are determined based on the amplitude-frequency criterion with the cutoff frequency of the designed system lower than the minimum resonance frequency of the mechanical subsystem of the electric drive.

Keywords:

elevator, elastic properties of ropes, transient processes in the mechanical subsystem of elevators, transfer functions, speed controller, mechanical subsystem, resonant frequencies.

На сегодняшний день частотно-регулируемый ЭП переменного тока – основной тип регулируемого привода в лифтах [1]. Особенностью приводов лифтов является работа с меняющейся нагрузкой, что обеспечивает работу привода как в двигательных режимах, так и в генераторных (рекуперативное торможение). Последние режимы привлекают все больше внимания, т. к. позволяют экономить потребляемую энер-

гию, а в лифтах, эксплуатирующихся в жилых зданиях, порядка 30 % энергопотребления связано с работой электропривода. Если в редукторных приводах лифтов, с учетом КПД редуктора, использование генераторных режимов малоэффективно, то в безредукторных регулируемых приводах появляется возможность более эффективного использования рекуперированной энергии. Генераторные режимы работы лифта мо-



гут прогнозироваться с учетом загрузки кабины лифта и направления её движения. Типовые варианты таких режимов работы: подъем пустой кабины, спуск полностью груженной кабины. Как уже отмечалось, работе лифтов свойственна постоянно меняющаяся загрузка кабины лифта, которая определяется случайным характером пассажиропотока как в жилых, так и в административных зданиях [2]. Усредненная загрузка кабины лифта в жилых зданиях, вычисленная по приведенным одно- и четырехчасовым пиковым графикам, составляет от 0,37 до 0,33 номинальной, что близко к режиму движения с уравновешенной кабиной [3] и для которого рекуперативное торможение двигателя тоже вероятно. Величина рекуперированной двигателем привода лифта энергии определяется и скоростью перемещения кабины лифта. Максимальный эффект использования генераторных режимов работы может быть достигнут, если номинальная скорость перемещения кабины лифта возрастет для всех тех поездок, где возможен такой режим работы. Ограничением увеличения скорости для электропривода лифта, рассчитанного на заданную номинальную скорость перемещения, являются характеристики применяемых двигателей [4]. Например, лифтовый синхронный двигатель пере-

менного 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 и для роста 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 загрузке, меньшей номинальной (рекуперативное торможение двигателя привода наиболее вероятно). Исходные данные для расчета приведены в табл. 1. Методика расчета изложена 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.

Табл. 1. Исходные данные для расчета

H_b , м	h , м	N_n	N_c	t_n , с	t_c , с	k_t
33,6	2,5	12,71	8,02	35,4	10	1,05

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

Производительность лифта при двустороннем пассажиропотоке [5]

$$P = \frac{3600(y_n + y_c)}{T}, \quad (1)$$

где y_n , y_c – коэффициенты заполнения кабины при подъеме и спуске; T – время кругового рейса.

Обозначим следующее:

$$3600(y_n + y_c) = Y.$$



Тогда (1) имеет вид:

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

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

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

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

Подставив (3) в (1), получим

$$P = \frac{YV}{a_1 + bV}.$$

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 $V_c = kV$ (k – коэффициент увеличения скорости при спуске):

$$T_1 = T_{\Pi} + T_C = \frac{H_B + h(N_{\Pi} + 0,5)}{V} \times k_t [t_0(N_{\Pi} + 0,5) + 0,5t_{\Pi}] + \frac{H_B + h(N_C + 0,5)}{V_c} \times k_t [t_0(N_C + 0,5) + 0,5t_{\Pi}]. \quad (4)$$

Преобразуем выражение (4) к виду

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

Выражение для T_1 можно представить как

$$T_1 = \frac{a}{kV} + b, \quad (6)$$

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

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

$$P_1 = \frac{Y}{T_1} = \frac{YkV}{a + kbV}.$$

Изменение в производительности лифта

$$\Delta P = P_1 - P = \frac{YkV}{a + kbV} - \frac{YV}{a_1 + bV} = \frac{YV(ka_1 - a)}{(a_1 - bV)(a + kbV)}.$$

В процентном соотношении изменение производительности

$$\Delta P = \frac{P_1 - P}{P} \cdot 100\% = [(k-1)[H_B + h(N_C - 0,5)] / [H_B(k+1) + h[0,5(k+1) + kN_{\Pi} + N_C] + kVk_t[t_0(N_{\Pi} + N_C + 1) + t_{\Pi}]].$$

Результаты расчета изменения производительности для лифта (см. табл. 1) при изменении скорости спуска в диапа-



зоне (1,1...1,3) $V_{ном}$ приведены в табл. 2.

Для лифта с номинальной скоростью перемещения 1,6 м/с увеличение скорости кабины лифта в круговой поездке при спуске от 10 до 30 % от номинальной сопровождается ростом произ-

водительности лифта от 0,9 до 2,26 %. Для этого же примера, но с номинальной скоростью лифта 1 м/с, такое же увеличение скорости при спуске дает рост производительности от 1,2 до 3,2 %.

Табл. 2. Изменение производительности лифта

$V_{ном}$	$kV_{ном}$	$\Delta P, \%$
1,6 м/с	$V = 1,1V_{ном}$	0,9
	$V = 1,2V_{ном}$	1,62
	$V = 1,3V_{ном}$	2,26
1,0 м/с	$V = 1,1V_{ном}$	1,2
	$V = 1,2V_{ном}$	2,3
	$V = 1,3V_{ном}$	3,2

В рассматриваемом примере круговая поездка – это подъем с нижнего этажа на верхний и обратно. Как и загрузка кабины лифта, этажность круговой поездки пассажирских лифтов 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 9 м, а при спуске – 11,7 м. Рассмотрим 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 $V = kV_{ном}$, сделаем замену:

$$T_2 = \frac{a_1}{kV} + b = \frac{a_1 + kbV}{kV}.$$

Получим два выражения для времени кругового рейса T : T первоначальное и T_2 при увеличенной скорости перемещения вниз: $V = kV_{ном}$.

Тогда производительность лифта при времени круговой поездки T_2

$$P_2 = \frac{Y}{T_2} = \frac{YkV}{a_1 + kbV}.$$

Изменение производительности лифта

$$\begin{aligned} \Delta P_2 = P_2 - P &= \frac{YkV}{a_1 + kbV} - \frac{YV}{a_1 + bV} = \\ &= \frac{YVa_1(k-1)}{(a_1 + bV)(a_1 + kbV)}. \end{aligned}$$

Изменение производительности лифта в процентах

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

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



Табл. 3. Исходные данные для расчета

$H_b, \text{ м}$	$h, \text{ м}$	$N_n = N_c$	$t_n, \text{ с}$	$t_o, \text{ с}$	k_t
9	2,5	3	17,7	10	1,05

Табл. 4. Изменение производительности лифта

v	$kV_{\text{ном}}$	$\Delta P, \%$
1,6 м/с	$V = 1,1V_{\text{ном}}$	1,7
	$V = 1,2V_{\text{ном}}$	3,3
	$V = 1,3V_{\text{ном}}$	4,6
1 м/с	$V = 1,1V_{\text{ном}}$	2,5
	$V = 1,2V_{\text{ном}}$	4,8
	$V = 1,3V_{\text{ном}}$	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 1 м/с – от 2,5 до 6,8 %;

– при номинальной скорости перемещения кабины лифта 1,6 м/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 роста общей производительности лифта.

Выводы

С целью повышения энергоэффективности пассажирских лифтов с безредукторной лебедкой возможно увеличе-

ние 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 повышения общей производительности лифта. Для лифта с номинальной скоростью перемещения 1,6 м/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 1 м/с, такое же увеличение скорости при спуске дает рост 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 1 м/с – от 2,5 до 6,8 %;

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коваль, А. С.** Электромеханическая система лифтов со скоростью до 2 м/с / А. С. Коваль, А. В. Шваяков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2009. – № 4. – С. 113–120.
2. **Гайдукевич, В. И.** Случайные нагрузки силовых электроприводов / В. И. Гайдукевич, В. С. Титов. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 159 с.
3. **Бойко, А. А.** Особенности расчета загрузки пассажирских лифтов / А. А. Бойко // Підйомно-транспортна техніка. – 2014. – Вып. 1 (41). – 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. Белорус.-Рос. ун-та. – 2015. – № 1. – С. 96–102.
5. Лифты : учебник для вузов / Г. Г. Архангельский [и др.] ; под общ. ред. Д. П. Волкова. – Москва : Изд-во Ассоц. строит. вузов, 1999. – 479 с.
6. Справочное пособие к СНиП 2.08–01–89 / Проектирование жилых зданий. Объемно-планировочные решения. – Москва : Стройиздат, 1991.

Статья сдана в редакцию 16 ноября 2018 года

Александр Сергеевич Коваль, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.
E-mail: etf@bru.by.

Александр Игоревич Артеменко, аспирант, Белорусско-Российский университет.

Aleksandr Sergeyevich Koval, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.
E-mail: etf@bru.by.

Aleksandr Igorevich Artemenko, PhD student, Belarusian-Russian University.