

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 69.002.5

*НЕГОДИН АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ, ст. преподаватель,
semerka.82@mail.ru*

*ПОПОВ МИХАИЛ ЮРЬЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
pmu11@mail.ru*

*АНАНИН ВЛАДИМИР ГРИГОРЬЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор,
avg@tsuab.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ ЛИФТОВЫХ ЛОВИТЕЛЕЙ

Проведены исследования процесса торможения кабины в момент времени срабатывания лифтовых ловителей. Получены результаты значений силовых нагрузок на ловителях, и выведено уравнение энергии тормозящей кабины. Методом моделирования была проведена серия экспериментов, на основании уравнения построены графики ускорения и пути торможения кабины в зависимости от времени. Установлено, что на конечном участке пути торможения ускорение возрастает в 1,8 раза, временной интервал нарастания составляет 0,05 с.

Ключевые слова: кабина лифта; лифтовые ловители; ускорение замедления; энергия торможения; путь торможения.

*ALEKSANDR V. NEGODIN, Senior Lecturer,
semerka.82@mail.ru*

*MIKHAIL YU. POPOV, PhD, A/Professor,
pmu11@mail.ru*

*VLADIMIR G. ANANIN, DSc, Professor,
avg@tsuab.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

ANALYSIS OF BRAKING OF LIFT CATCHING DEVICES

The paper presents the research carried out into the braking process of the lift car during the operation of catching devices. The power load values are obtained for the lift catching devices and the energy equation is modeled for braking lift car. A series of experiments is carried out

using modeling method and the time dependences are constructed for the acceleration and deceleration of the braking path. It is shown that at the terminal braking path acceleration increases 1,8 times, the rise time being 0,05 s.

Keywords: lift car (balance); lift catcher; acceleration-deceleration; braking energy; braking path.

При эксплуатации высотных зданий особое внимание уделяется безаварийной работе лифтов. В аварийных ситуациях, связанных с отказами лифтового оборудования, лифт должен быть оснащён ловителями для обеспечения торможения и остановки на любом высотном участке движения кабины.

Ловители лифтов должны останавливать и удерживать на направляющих движущуюся вниз кабину при их включении от действия ограничителя скорости¹.

Принцип работы ловителей представляет собой процесс самозаклинивания за счёт соответствующей формы клиньев и разных коэффициентов трения их поверхностей с направляющей и колодкой. Для обеспечения торможения кабины требуется создать необходимое усилие на ловителях. Это усилие зависит от типа и конструкции ловителей, их геометрических характеристик и других параметров.

Считается, что тормозное усилие на ловителях реализуется с постоянной или линейно возрастающей тормозной силой [2].

Однако процесс торможения занимает некоторое время, в течение которого тормозная сила изменяется от нуля до своего максимального значения.

Выкопировки из осциллограмм кинематических параметров торможения кабин пассажирских лифтов [2] показывают, что записи ускорений при посадке на ловители не являются линейными. Это значит, что и силы, тормозящие кабину, также изменяются не линейно и не являются константой с какого-то момента после начала торможения и до его окончания.

Современные методы расчёта лифтовых ловителей сводятся к получению значения необходимой тормозной силы при известных значениях улавливаемой массы и скорости движения. Расчет ведется с помощью уравнения энергии движения кабины при посадке на ловители [3]

$$\frac{m_{\text{л}} V_{\text{н}}^2}{2} + m_{\text{л}} g S_{\text{т}} = KRS_{\text{т}}, \quad (1)$$

где $m_{\text{л}}$ – улавливаемая масса кабины, кг; $V_{\text{н}}$ – начальная скорость включения ловителей; R – тормозная сила ловителей, Н; V – скорость движения кабины, м/с; $S_{\text{т}}$ – путь торможения кабины, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; K – коэффициент, учитывающий зависимость тормозной силы от пути торможения ($K = 0,5$ – при линейном законе нарастания тормозной силы, $K = 1$ – при постоянной величине тормозной силы).

Из уравнения энергии определяется формула расчета тормозной силы

$$R = \frac{m_{\text{л}}}{K} \left(g + \frac{V_{\text{н}}^2}{2 S_{\text{т}}} \right) \quad (2)$$

¹ ТР ТС 011/2011 Технический регламент Таможенного союза «Безопасность лифтов».

и пути торможения кабины

$$S_T = \frac{m_{\text{л}} V_{\text{н}}^2}{2(KR - m_{\text{л}}g)}. \quad (3)$$

Ускорение замедления будет определяться тормозной силой ловителей

$$a = \frac{R - m_{\text{л}}g}{m_{\text{л}}}. \quad (4)$$

Соответственно этот метод расчёта даёт только максимальное значение требуемой тормозной силы R и длины пути торможения кабины S_T , исходя из ограничений по допускаемому ускорению.

При сертификации лифтов необходимо проводить испытания устройств безопасности.

При испытании ловителей среди прочей информации необходимо использовать: уравнения процесса торможения; графики нагрузки на упругие элементы ловителей; графики изменения усилия торможения в ловителях при улавливании различных масс² [1, 4].

Усилие торможения, развиваемое ловителями при использовании направляющих одного типа, определяется как величина средних усилий торможения, определённых в процессе проведения испытаний. Усилие торможения, развиваемое ловителями со ступенчатым или плавным регулированием, определяется соответственно для минимальной и максимальной улавливаемых масс [1].

Современные высокоскоростные лифты перемещаются со скоростью 7–12 м/с. Масса, улавливаемая ловителями, составляет 5000–10 000 кг. Кинетическая энергия движущейся кабины должна быть погашена в течение 1–4 с. При этом тормозной путь кабины не должен превышать 15–20 м. При создании ловителей, которые удовлетворяли бы указанным условиям, изменение тормозной силы с момента начала торможения и до его окончания должно учитываться.

Для этого необходимо иметь функцию силы нормального давления ловителей $R = f(t)$ на направляющую.

Имея такую зависимость, можно получить функции суммарной энергии движущейся кабины $E = f(R)$, скорости $V = f(E)$, ускорения $a = f(V)$ и пути торможения кабины $S = f(V, a)$.

Предлагается формулу (1) преобразовать к следующему виду:

$$E_{i+1} = \left(\frac{m_{\text{л}} V_i^2}{2} + m_{\text{л}} g S_i \right) - V_i R_i \varphi dt, \quad (5)$$

где E_i – суммарная энергия движущейся кабины на i -м временном интервале, Дж; V_i – скорость кабины на i -м временном интервале, м/с; S_i – путь, пройденный кабиной на i -м временном интервале, м; R_i – сила нормального давления на тормоз-

² ТР ТС 011/2011 Технический регламент Таможенного союза «Безопасность лифтов». ГОСТ Р 53781–2010 Лифты. Правила и методы исследований (испытаний) и измерений при сертификации лифтов. Правила отбора образцов. М.: Стандартинформ, 2010.

ную колодку, H ; φ – коэффициент трения между колодкой и направляющей. При достаточно малом значении dt и заданной функции $R = f(t)$ можно получить зависимости $E = f(t)$, $V = f(t)$, $a = f(t)$, $S = f(t)$:

$$V_{i+1} = \sqrt{2 \frac{E_{i+1}}{m_{\text{л}}}}, \quad (6)$$

$$a_{i+1} = \frac{V_{i+1} - V_i}{dt}, \quad (7)$$

$$S_{i+1} = S_i + \left(V_{i+1} dt + \frac{a_{i+1} dt^2}{2} \right). \quad (8)$$

Однако путь торможения S_i последовательно вычисляется из уравнения (4) на первом шаге итерации. Поэтому приращение пути торможения S_i необходимо выразить через известные на нулевом шаге итерации E_i и V_i :

$$S_i = \left(V_i dt + \frac{a_i dt^2}{2} \right), \quad (9)$$

$$S_i = \left(\sqrt{2 \frac{E_i}{m_{\text{л}}}} dt + \frac{\left(\sqrt{2 \frac{E_i}{m_{\text{л}}}} - \sqrt{2 \frac{E_{i-1}}{m_{\text{л}}}} \right) dt^2}{2 dt} \right). \quad (10)$$

Окончательно уравнение энергии тормозящей кабины запишется как

$$E_{i+1} = \left(\frac{m_{\text{л}} V_i^2}{2} + m_{\text{л}} g \left(\sqrt{2 \frac{E_i}{m_{\text{л}}}} dt + \frac{\left(\sqrt{2 \frac{E_i}{m_{\text{л}}}} - \sqrt{2 \frac{E_{i-1}}{m_{\text{л}}}} \right) dt}{2} \right) \right) - n V_i R_i \varphi dt, \quad (11)$$

где n – количество трущихся поверхностей.

Процесс трения рабочих элементов ловителей по направляющей (металл по металлу) является нестабильным и зависит от множества факторов, главным из которых является температура в зоне контакта трущихся поверхностей. Также значение коэффициента трения, принимаемого при расчёте тормозного усилия ловителей, определено приблизительно и изменяется в течение всего процесса. При моделировании процесса торможения кабины лифтовыми ловителями это явление также требует обязательного учёта.

Согласно исследованиям И.В. Крагельского, зависимость коэффициента трения от скорости скольжения для различных нормальных давлений приведена на рис. 1.

Если представить зависимость коэффициента трения от скорости скольжения и силы нормального давления в виде функции $\varphi = f(V, R)$, то уравнение (11) можно представить в виде

$$E_{i+1} = \left(\frac{m_n V_i^2}{2} + m_n g \left(\sqrt{2 \frac{E_i}{m_n}} dt + \frac{\left(\sqrt{2 \frac{E_i}{m_n}} - \sqrt{2 \frac{E_{i-1}}{m_n}} \right) dt}{2} \right) \right) - n V_i R_i f(V, R) dt. \quad (12)$$

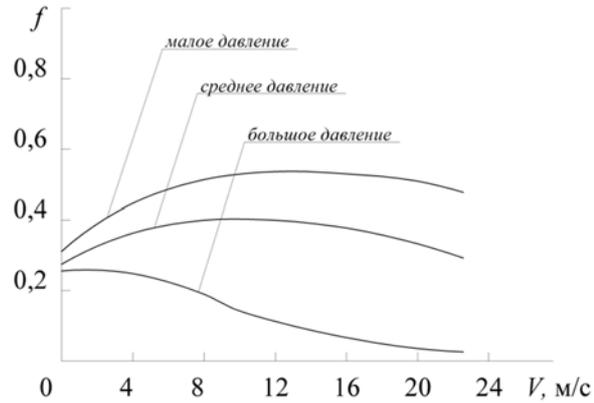


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от скорости скольжения для различных нормальных давлений (для стали) [2]

Представленные на рис. 2 и 3 графики ускорения и пути торможения кабины в зависимости от времени получены моделированием по формуле (12). Исходные данные: масса улавливаемого груза $m_n = 1000$ кг; сила нормального давления колодки на клин $R = 1200$ кг является постоянной со второго шага расчёта; скорость при срабатывании ловителей $V = 2,5$ м/с; количество трущихся поверхностей $n = 4$. Расчёт коэффициента трения принимался по зависимости (рис. 1) для большого давления. Из графиков видно, что максимальное ускорение $a = 9,1$ м/с², а путь торможения кабины $S_T = 0,631$ м.

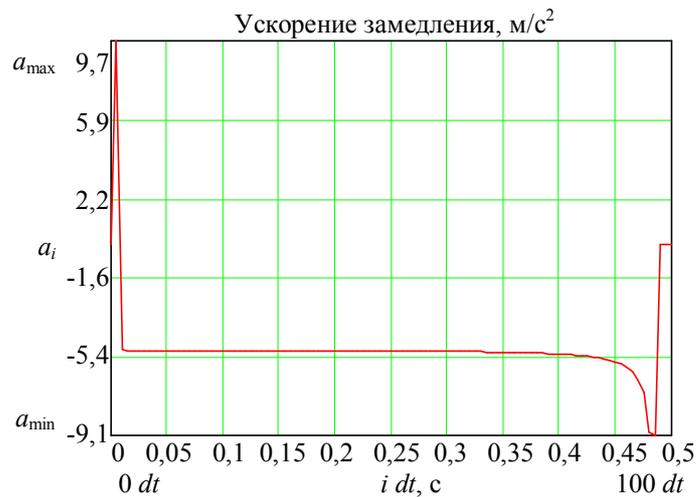


Рис. 2. График ускорения замедления в зависимости от времени

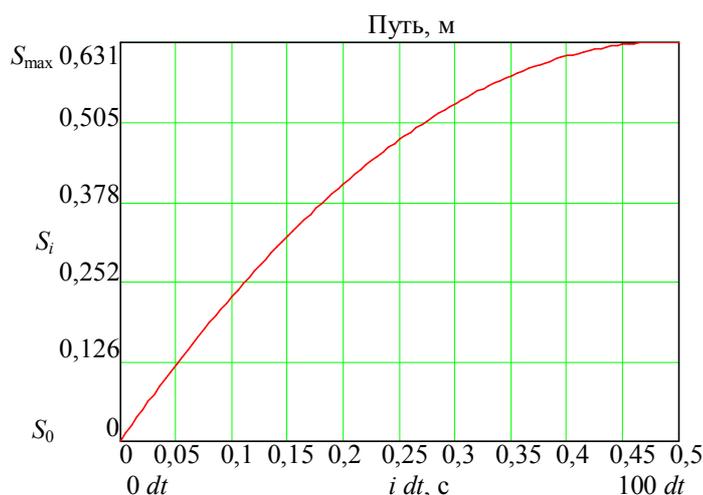


Рис. 3. Графики ускорения и пути торможения кабины в зависимости от времени

При заданных условиях значение пути торможения, полученное по формуле (3), составило $S_r = 0,638$ м, а ускорение $a = 4,9$ м/с². Сравнивая эти результаты, можно отметить, что они одинаковы по значению пути торможения. Величина ускорения в 1,8 раза больше начального значения. Из графика ускорения на рис. 2 видно, что среднее значение ускорения $a = 5,1$ м/с² действует на всём временном участке торможения, что близко результату, полученному по формуле (4). Исключение составляет конечный участок торможения, на котором наблюдается пик ускорения. Временной интервал нарастания составил приблизительно 0,05 с.

Выводы

1. Существующие методы расчёта лифтовых ловителей сводятся к получению максимального и минимального значения тормозной силы, создаваемой ловителями, исходя из этого минимального и максимального пути торможения кабины лифта.

2. Процесс торможения кабины лифта ловителями занимает определённое время, в течение которого тормозная сила изменяется от нуля до максимального значения, что при высоких скоростях движения кабины влияет на динамику изменения ускорения замедления и длину тормозного пути.

3. При моделировании процесса торможения лифтовыми ловителями необходимо учитывать характер изменения тормозной силы на этом интервале движения кабины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иоффе, Е.Я. Сертификация лифтов / Е.Я. Иоффе, В.Р. Глумов. – М. : Стройиздат, 1994. – 248 с.
2. Волков, Д.П. Лифты. / Д.П. Волков. – М. : Изд-во АСВ, 1999. – 480 с.
3. Способ определения параметров торможения лифтов и подъёмников на основе анализа потока фотоизображений / С.П. Осипов, М.Ю. Попов, Р.В. Федяев, А.А. Косач // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2011. – Вып. 4 (38). – 9 с.

4. Осипов, С.П. Многопараметрическая математическая модель процесса плавного торможения лифтов / С.П. Осипов, М.Ю. Попов, Р.В. Федяев // Механизация строительства. – 2012. – № 2. – С. 24–26.
5. Осипов, С.П. Алгоритмы оценки параметров торможения лифтов / С.П. Осипов, М.Ю. Попов, Р.В. Федяев // Подъемно-транспортные дело. – 2012. – № 1. – С. 2–4.
6. Математическая модель процесса торможения лифтов и подъемников с упругой связью / В.Г. Ананин, С.П. Осипов, М.Ю. Попов, Р.В. Федяев // Известия вузов. – 2012. – № 7–8. – С. 75–79.
7. Попов, М.Ю. Эксплуатационные дефекты лифтов и лифтового оборудования / М.Ю. Попов, Р.В. Федяев // Интерстроймех-2009 : материалы Межд. науч.-техн. конф. – Самара : СГАСУ, 2009. – № 1. – С. 249–250
8. Осипов, С.П. Обработка экспериментальных данных процесса посадки лифта на ловители плавного торможения / С.П. Осипов, М.Ю. Попов, Р.В. Федяев // Интерстроймех-2013 : материалы Межд. науч.-техн. конф. – Новочеркасск, 2013. – № 1. – С. 261–265.
9. Попов, М.Ю. Особенности эксплуатации лифтов и лифтового оборудования / М.Ю. Попов, Р.В. Федяев // Сборник науч. тр. ЛТИ. – Томск : ТГАСУ, 2009. – № 1. – С. 65–68.

REFERENCES

1. Ioffe E.Ya., Glumov V.R. Sertifikatsiya liftov [Lift certification]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1994. (rus)
2. Volkov D.P. Lifty [Lifts]. Moscow : ASV Publ., 1999. 480 p. (rus)
3. Osipov S.P. Sposob opredeleniya parametrov tormozheniya liftov i pod"emnikov na osnove analiza potoka fotoizobrazhenii [Parameter determination of lift brakes based on photographic images flow analysis]. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti*. 2010. No 4. Pp. 9. (rus)
4. Osipov S.P. Mnogoparametricheskaya matematicheskaya model' protsessa plavnogo tormozheniya liftov [Multiparameter mathematical model of smooth braking of lifts]. *Mechanization in Construction*. 2012. No. 2. Pp. 24–26. (rus)
5. Osipov S.P. Algoritmy otsenki parametrov tormozheniya liftov [Assessment algorithms of elevator braking parameters]. *Lift and Transportation Engineering*. 2012. No. 1. Pp. 2–4. (rus)
6. Ananin V.G. Matematicheskaya model' protsessa tormozheniya liftov i pod"emnikov s uprugoi svyaz'yu [Mathematical model of lift braking with elastic restraints]. *News of the Higher Institutions*. 2012. No. 7–8. Pp. 75–79. (rus)
7. Popov M.Yu. Eksploatatsionnye defekty liftov i liftovogo oborudovaniya [Operational defects of elevators and elevator equipment]. *Proc. Int. Sci. Conf. 'Interstroyemh-2009'*. 2009. No. 1. Pp. 249–250. (rus)
8. Osipov S.P. Obrabotka eksperimental'nykh dannykh protsessy posadki lifta na loviteli plavnogo tormozheniya [Experimental data processing on lift catcher braking process]. *Proc. Int. Sci. Conf. 'Interstroyemh-2013'*. 2013. No. 1. Pp. 261–265. (rus)
9. Popov M.Yu. Osobennosti ekspluatatsii liftov i liftovogo oborudovaniya [Lift operation and equipment]. *Collected Papers LTI*. 2009. No 1. Pp. 65–68. (rus)