

УДК 621.876

**ДИНАМИКА БАРАБАННЫХ ЛИФТОВЫХ ПОДЪЕМНИКОВ
КАК МНОГОМАССОВЫХ СИСТЕМ**

©Осипова Т. Н.

*Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про автора:**

Осипова Тетяна Миколаївна: ORCID: 0000-0002-1915-4734; tanya_338@mail.ru; асистент кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Проведен анализ литературных источников по изучению динамики лифтов и подъемных машин, которые весьма сходны с лифтами по своей конструкции. В основном рассматривалась динамика лифтов со шкивом трения, а в данной работе изучаются динамические процессы колебательного характера в канатах барабанных лифтовых подъемников.

Приведена конструкция лифтовой подъемной установки и ее динамическая схема с дискретными массами в моментах сил упругости. При построении эквивалентной динамической схемы лифта рассмотрен валопровод (подъемный барабан, муфты, редуктор, электродвигатель) лебедки с точки зрения построение одной дискретной массы в виду большой жесткости валов по сравнению с канатами.

Получено математическое описание динамических процессов колебательного характера в канатах лифта в виде аналитического дифференциального уравнения.

Ключевые слова: лифтовой подъемник; динамика; математическая модель; дифференциальное уравнение.

Осипова Т. М. «Динаміка барабаних ліфтових підійомників як багатомасових систем».

Проведений аналіз літературних джерел по вивченню динаміки ліфтів і підіймальних машин, які вельми схожі з ліфтами по своїй конструкції. В основному розглядалася динаміка ліфтів з шківом тертя, а в даній роботі вивчаються динамічні процеси коливального характеру в канатах барабаних ліфтових підійомників.

Приведена конструкція ліфтової підіймальної установки і її динамічна схема з дискретними масами в моментах сил пружності. При побудові еквівалентної динамічної схеми ліфта розглянутий валопровід (підіймальний барабан, муфти, редуктор, електродвигун) лебідки з точки зору побудови однієї дискретної маси з причини великої жорсткості валів в порівнянні з канатами.

Отриманий математичний опис динамічних процесів коливального характеру в канатах ліфта у вигляді аналітичного диференціального рівняння.

Ключові слова: ліфтовий підійомник; динаміка; математична модель; диференціальне рівняння.

Osypova T. “Dynamics drum elevator lifts as a multibody systems”.

The analysis of the literary sources for the study of the dynamics of lifts and lifting machinery, which are very similar to elevators in design. Focused on the dynamics of lifts with the pulley friction, and in this paper, we study the dynamic processes of oscillatory nature in the rope drum elevator lifts.

The design of the elevator hoist and its dynamic schema with discrete masses in the moments of the forces of elasticity. When constructing dynamic equivalent scheme of the considered elevator shafting (hoisting drum, coupling, reducer, motor) winch from the perspective of building a single discrete mass in view of the great rigidity of the shafts in comparison with the ropes.

The mathematical description of dynamic processes of oscillatory nature in the ropes of an elevator in the form of analytical differential equations.

Keywords: lift elevator, dynamics, mathematical model, differential equation.

1. Введение

Одной из разновидностей подъемных установок является лифт – стационарный подъемник периодического действия, в котором перемещение грузов или людей с одного уровня на другой производится в кабине, движущейся по направляющим, установленным в

Динаміка та міцність машин

огражденной со всех сторон шахте с запирающимися дверями для загрузки и разгрузки на обслуживаемых площадках. Лифты служат для вертикального перемещения в зданиях людей и грузов и состоят из лебедки, подъемных канатов, кабины, противовеса, направляющих, шахты с дверями, упоров, ограничителя, электрооборудования, машинного отделения [1–5].

2. Анализ литературных данных

Проблемы изучения работы лифта стоят на протяжении многих лет с момента изобретения Е. Г. Отисом безопасного лифта в 1852 г. [5]. В настоящее время основанная им компания обслуживает более 1,9 млн. лифтов по всему миру, что свидетельствует о важнейшей роли лифтов в современном хозяйстве.

Изучением динамики лифтов занимались такие отечественные специалисты, как Г. К. Корнеев [1, 6], М. Г. Коротков [1], П. И. Чутчиков [2], В. С. Ловейкин [7], С. Н. Кожевников [8], П. М. Соров [9] и другие. В работе [10] рассматривалась динамика лифтовой установки как многомассовой системы с упругими связями и шкивом трения и приводится система дифференциальных уравнений движения лифта. Вопросами изучения динамики барабанных подъемных машин, которые весьма сходны с лифтами по своей конструкции, занимались А. Н. Голубенцев [11], В. И. Дворников [12], А. Г. Степанов [13].

3. Цель и задачи исследования

Целью данной работы является изучение динамических процессов в канатах барабанных лифтовых подъемников.

Для достижения поставленной цели необходимо построить крутильную динамическую схему лифтового подъемника в моментах сил упругости и получить математическое описание динамических процессов колебательного характера в канатах лифта.

4. Построение динамической схемы лифтового подъемника

На рис. 1 показана схема лифтовой подъемной установки, на рис. 2 – оборудование лебедки.

При построении динамической эквивалентной схемы лифтового подъемника рассмотрим оборудование подъемной лебедки с точки зрения построения ее одной дискретной массы. Передаточное число редуктора, имеющего червячную передачу, равно 60. Червячный вал редуктора, расположен под червячным колесом и с помощью эластичной муфты соединен с электродвигателем. При приведении валопровода (подъемный барабан, муфты, редуктор, электродвигатель) лебедки к оси органа навивки жесткость валов, расположенных до редуктора (не на оси органа навивки), умножается на квадрат передаточного числа червячной пары 60^2 . Это приводит к тому, что приведенный вал имеет значительно большую жесткость по сравнению с жесткостью канатов. Это дает право объединить все приведенные дискретные массы валопровода в одну, считая жесткости валов бесконечными и абсолютно жесткими.

В результате преобразований динамическая эквивалентная схема лифтового подъемника может быть представлена трехмассовой схемой с канатами и суммарной массой валопровода (см. рис. 3).

Нас интересуют усилия в подъемных канатах лифта. Они могут быть определены по эквивалентной крутильной динамической схеме, представленной на рис. 4.

Динамические нагрузки канатов крутильной трехмассовой динамической модели лифта описываются следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами в моментах сил упругости:

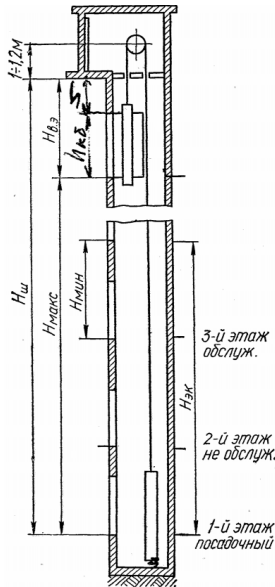


Рис. 1 – Схема лифтового подъемника

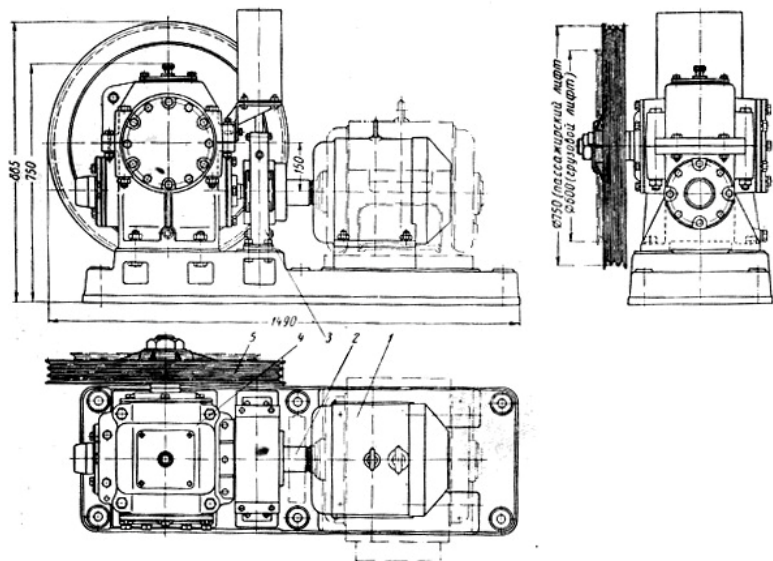


Рис. 2 – Унифицированная лебедка пассажирского лифта грузоподъемностью 350 кг:
1 – электродвигатель; 2 – упругая муфта;
3 – тормоз с электромагнитом; 4 – глобоидальный редуктор;
5 – канатоведущий шкив

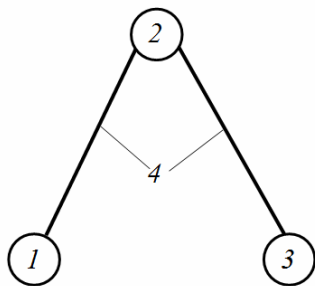


Рис. 3 – Эквивалентная динамическая схема лифтового подъемника:
1 – масса подъемного сосуда;
2 – суммарная масса приведенных дискретных масс валопровода;
3 – масса противовеса;
4 – подъемные канаты

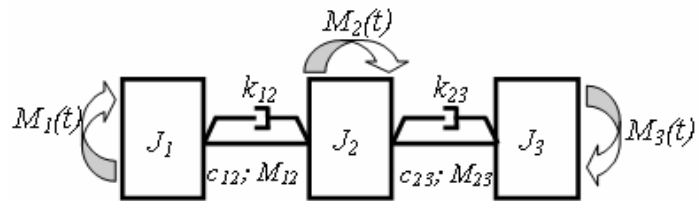


Рис. 4 – Эквивалентная крутильная динамическая схема лифтового подъемника в моменты сил упругости: c_{12}, c_{23} – приведенные крутильные жесткости канатов; M_{12}, M_{23} – приведенные моменты сил упругости в канатах; k_{12}, k_{23} – коэффициенты диссипации; J_1, J_2, J_3 – приведенные моменты инерции дискретных масс лифта; $M_1(t), M_2(t), M_3(t)$ – постоянные по величине приведенные к оси органа навивки внешние моменты

$$\left. \begin{aligned} \ddot{M}_{12} + k_{12} \left(\frac{1}{J_1} + \frac{1}{J_2} \right) \dot{M}_{12} + \beta_{12}^2 M_{12} - \frac{c_{12} k_{23}}{c_{23} J_2} \dot{M}_{23} - \frac{c_{12}}{J_2} M_{23} &= \frac{c_{12}}{J_1} M_1(t) - \frac{c_{12}}{J_2} M_2(t); \\ \ddot{M}_{23} + k_{23} \left(\frac{1}{J_2} + \frac{1}{J_3} \right) \dot{M}_{23} + \beta_{23}^2 M_{23} - \frac{c_{23} k_{12}}{c_{12} J_2} \dot{M}_{12} - \frac{c_{23}}{J_2} M_{12} &= \frac{c_{23}}{J_2} M_2(t) - \frac{c_{23}}{J_3} M_3(t), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $\beta_{12} = \sqrt{c_{12} \left(\frac{1}{J_1} + \frac{1}{J_2} \right)}$, $\beta_{23} = \sqrt{c_{23} \left(\frac{1}{J_2} + \frac{1}{J_3} \right)}$ – парциальные частоты свободных колебаний двухмассовых систем.

Получена система из двух дифференциальных уравнений вынужденных колебаний трехмассовой системы лифта в случае внезапного приложения постоянных внешних моментов. Общее решение системы неоднородных дифференциальных уравнений в случае

Динаміка та міцність машин

комплексных корней частотного уравнения равно сумме общего решения однородного уравнения и частного решения неоднородного уравнения, которое имеет вид:

$$\begin{aligned} M_{12} &= \overline{M}_{12} + \overline{\overline{M}}_{12} = e^{-\alpha_1 t} (B_{12}^{(1)} \cos \beta_1 t + C_{12}^{(1)} \sin \beta_1 t) + e^{-\alpha_2 t} (B_{12}^{(2)} \cos \beta_2 t + C_{12}^{(2)} \sin \beta_2 t) + \overline{\overline{M}}_{12}; \\ M_{23} &= \overline{M}_{23} + \overline{\overline{M}}_{23} = e^{-\alpha_1 t} (B_{23}^{(1)} \cos \beta_1 t + C_{23}^{(1)} \sin \beta_1 t) + e^{-\alpha_2 t} (B_{23}^{(2)} \cos \beta_2 t + C_{23}^{(2)} \sin \beta_2 t) + \overline{\overline{M}}_{23}; \end{aligned} \quad (2)$$

где $B_{12}^{(1)}, B_{12}^{(2)}, C_{12}^{(1)}, C_{12}^{(2)}, B_{23}^{(1)}, B_{23}^{(2)}, C_{23}^{(1)}, C_{23}^{(2)}$ – постоянные коэффициенты;
 $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ – коэффициенты корней характеристического уравнений;
 $\overline{M}_{12}, \overline{M}_{23}$ – общее решение системы уравнений;
 $\overline{\overline{M}}_{12}, \overline{\overline{M}}_{23}$ – частное решение системы уравнений.

Выводы

Получена трехмассовая крутильная динамическая схема лифтовой установки и составлена система дифференциальных уравнений колебаний канатов в моментах сил упругости как колебания трехмассовой механической системы. Решение системы уравнений приведено в аналитическом виде.

Список использованных источников:

1. Лифты пассажирские и грузовые / [Г. К. Корнеев, М. Г. Коротов, И. С. Моцохейн, Б. В. Жданов]. – М. : Машгиз, 1958. – 568 с.
2. Пассажирские лифты / [П. И. Чутчиков, Н. Е. Дроздов, А. А. Абрамов, В. Г. Ермишкин, А. В. Толмачев]; под ред. канд. техн. наук П. И. Чутчикова. – М. : Машиностроение, 1978. – 142 с.
3. Ушаков П. Н. Краны и лифты промышленных предприятий : справочник / П. Н. Ушаков, М. Г. Бродский. – М. : Metallurgiya, 1974. – 352 с.
4. Павлов Н. Г. Лифты и подъемники / Н. Г. Павлов. – М. : Машиностроение, 1965. – 204 с.
5. Продукция компании ОТИС [Электронный ресурс] / Сайт Otis Elevator Company. – Режим доступа: <http://www.otis.com/site/ua/Pages/Elevators.aspx?menuId=2>
6. Корнеев Г. К. Исследование ускорений движения кабины лифта / Г. К. Корнеев. – М. : Машгиз, 1954. – 254 с.
7. Ловейкин В. С. Оптимизация режимов движения механизмов грузоподъемных машин для транспортирования пассажиров / В. С. Ловейкин // Подъемн.-трансп. оборуд. : Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Киев, 1991. – Вып. 22. – С. 9–14.
8. Кожевников С. Н. Оптимизация переходного процесса во времени затухания в подъемном лифте / С. Н. Кожевников, П. М. Совов // Механика машин. – 1971. – Вып. 39-40. – С. 18–21.
9. Совов П. М. Исследование переходных процессов в механизмах подъема лифтов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.05 «Подъемно-транспортные машины» / П. М. Совов. – К., 1972. – 19 с.
10. Степанов А. В. Математическая модель динамики лифта с распределенной массой каната [Электронный ресурс]. – Донецк, 2009. <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2009/fema/stepanov/diss/index.htm>
11. Голубенцев А. Н. Динамика переходных процессов в машинах со многими массами / Александр Николаевич Голубенцев. – М. : Машгиз, 1959. – 146 с.
12. Шахтный подъем: научно-производственное изд. / В. Р. Бежок, В. И. Дворников, И. Г. Манец, В. А. Пристром; общ. ред. Б. А. Грядущий, В. А. Корсун. – Донецк : ООО «Юго-Восток ЛТД», 2007. – 624 с.
13. Степанов А. Г. Динамика машин / Анатолий Григорьевич Степанов. – Екатеринбург : УрО РАН, 1999. – 304 с.

References

1. Korneyev, G, Korotov, M, Motsokheyn, I & Zhdanov, B 1958, *Lifty passazhirskiy i gruzovyye*, Mashgiz, Moskva.
2. Chutchnikov, P, Drozdov, N, Abramov, A, Ermishkin, V & Tolmachev, A 1978, *Passazhirskiy lifty*, Mashinostroeniye, Moskva.
3. Ushakov, P & Brodskiy, M 1974, *Krany i lifty promyshlennykh predpriyatiy*, Metallurgiya, Moskva.
4. Pavlov, N 1965, *Lifty i podyemniki*, Mashinostroeniye, Moskva.
5. Otis, *Produktsiya kompanii OTIS*, viewed 30 November 2015, <<http://www.otis.com/site/ua/Pages/Elevators.aspx?menuId=2>>.
6. Korneyev, G 1954, *Issledovaniye uskoreniy dvizheniya kabiny lifta*, Mashgiz, Moskva.
7. Loveykin, V 1991, 'Optimizatsiya rezhimov dvizheniya mekhanizmov gruzopodyemnykh mashin dlya transportirovaniya passazhirov', *Podyemno-transportnoye oborudovaniye*, iss. 22, pp. 9–14.
8. Kozhevnikov, S, Sovov, P 1971, 'Optimizatsiya perekhodnogo protsessa vo vremeni zatukhaniya v podyemnom lifte', *Mekhanika mashin*, iss. 39-40, pp. 18–21.
9. Sovov, P 1972, 'Issledovaniye perekhodnykh protsessov v mekhanizмах podyema liftov', *Kand.tekh.n. abstract*, Kyiv.
10. Stepanov, A 2009, 'Matematicheskaya model dinamiki lifta s raspredelennoy massoy kanata', viewed 30 November 2015, <<http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2009/fema/stepanov/diss/index.htm>>.
11. Golubentsev, A 1959, *Dinamika perekhodnykh protsessov v mashinakh so mnogimi massami*, Mashgiz, Moskva.
12. Gryadushchiy, B, Korsun, V, Bezhok, V, Dvornikov, V, Manets, I & Pristrom, V 2007, *Shakhtnyy podyem: Nauchno-proizvodstvennoye izdaniye*, ООО "Yugo-Vostok Ltd", Donetsk.
13. Stepanov, A 1999, *Dinamika mashin*, UrO RAN, Ekaterinburg.

Стаття надійшла до редакції 25 листопада 2015 р.