

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЛИФТОВ

*Степанов М.А., Кайтуков Б.А., Андреева П.О.*

*Национальный исследовательский московский государственный строительный университет, Москва*

**Ключевые слова:** лифт, комфортность, привод лифта, экспериментальные исследования, коэффициент динамичности, частота колебаний, резонанс, динамический гаситель колебаний.

**Аннотация.** Статья посвящена результатам экспериментальных исследований лифта грузоподъемностью 630 кг и скоростью 1,6 м/с. На основании аналитических и эксплуатационных исследований определены причины колебаний кабины лифта. В режиме резонанса исследуемого лифта, были выделены гармоники с частотой вращения установленного двигателя. В результате проведенных исследований выявлено, что частота боковых колебаний в 5-7 раз меньше других. Получены графики колебаний перемещения и скорости в зависимости от этажности здания. Исследования показали, что вертикальные высокочастотные колебания кабины при резонансе от действия инерционных сил редукторного привода лебедки оказались наиболее значительными. Для ограничения этих колебаний предложен пассивный динамический гаситель в виде рычага второго рода. Применение гасителя позволило в 4,5 раза снизить высокочастотные колебания.

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF DYNAMIC LOADS OF ELEVATORS

*Stepanov M.A., Kaitukov B.A., Andreeva P.O.*

*National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow*

**Keywords:** elevator, comfort, elevator drive, experimental studies, dynamic coefficient, vibration frequency, resonance, dynamic vibration dampener.

**Abstract.** The article is devoted to the results of experimental studies of an elevator with a lifting capacity of 630 kg and a speed of 1.6 m/s. On the basis of analytical and operational studies, the causes of vibrations of the elevator cab have been determined. In the resonance mode of the elevator under study, harmonics with the rotational speed of the installed engine were isolated. As a result of the conducted studies, it was revealed that the frequency of lateral oscillations is 5-7 times less than others. Graphs of movement and speed fluctuations depending on the number of storeys of the building are obtained. Studies have shown that vertical high-frequency vibrations of the cabin with resonance from the action of inertial forces of the winch gear drive were the most significant. To limit these fluctuations, a passive dynamic dampener in the form of a lever of the second kind is proposed, the use of a dampener allowed 4.5 times to reduce high-frequency oscillations.

### Введение

Во время эксплуатации к пассажирским лифтам различной грузоподъемности предъявляют высокие требования по безопасности и комфорту пассажиров [1-3]. Аналитические и эксплуатационные исследования показали, что в лифтах с редукторным приводом лебедки, из-за низкого качества изготовления появляются динамические нагрузки, которые вызывают шум и вибрацию в кабине [4, 5]. Эти негативные явления снижают комфорт, причем пассажиры во время эксплуатации лифта ощущают вредные вибрационные воздействия. Учитывая эти явления, актуальным представляется вопрос существенного снижения вредных воздействий на людей. Результаты ранее проведенных аналитических исследований, ориентированные на снижение динамических нагрузок в лифтах, способствовали интенсивности экспериментальных работ и в итоге целесообразности оценки причин снижения высокочастотных колебаний кабин при эксплуатации. Известны различные способы снижения динамических нагрузок [6-10], одним из которых является установка пассивного гасителя колебаний рычажного типа [11, 12]. Анализ различных конструкций гасителей, позволил нам предложить более простой по конструкции и установке механизм.

## Материалы и методы исследования

Эксперимент с гасителем предложенной конструкции проводили на лифте грузоподъемностью  $Q = 630$  кг, скоростью  $v = 1,6$  м/с, в здании высотой 25 этажей. Испытания проводили в различных режимах подъема и спуска лифта, фиксируя значения амплитуд колебаний прибором – ВК-5. Замеры амплитуд перемещений ( $S$ ) и скоростей ( $v$ ), выполняли в нескольких точках на раме лебедки, редуктора, двигателя, на потолке, подвесном полу и стенках кабины лифта. Они ( $S$  и  $v$ ), фиксировались в начале прохождения кабиной лифта каждого этажа. Полученные замеры на потолке кабины, позволили судить о суммируемых формах колебаний, где очень важной является их вертикальная составляющая. В режиме резонанса исследуемого лифта, выделили гармоники с частотой вращения установленного двигателя. Эксперименты позволили предположить, что при совместном рассмотрении параметров ( $S$  и  $v$ ), частоты боковых колебаний кабины лифта в 5 ...7 раз меньше других. Кривые перемещений ( $S$ ) и скоростей ( $v$ ), полученный по замерам амплитуд колебаний середины потолка кабины представлены на рисунке 1. По оси абсцисс (рис. 1) отложен этаж здания, где максимальные ординаты соответствуют 8 этажу. На участке от 10 до 25 этажа частота колебания фиксировалась постоянной – 6 Гц.

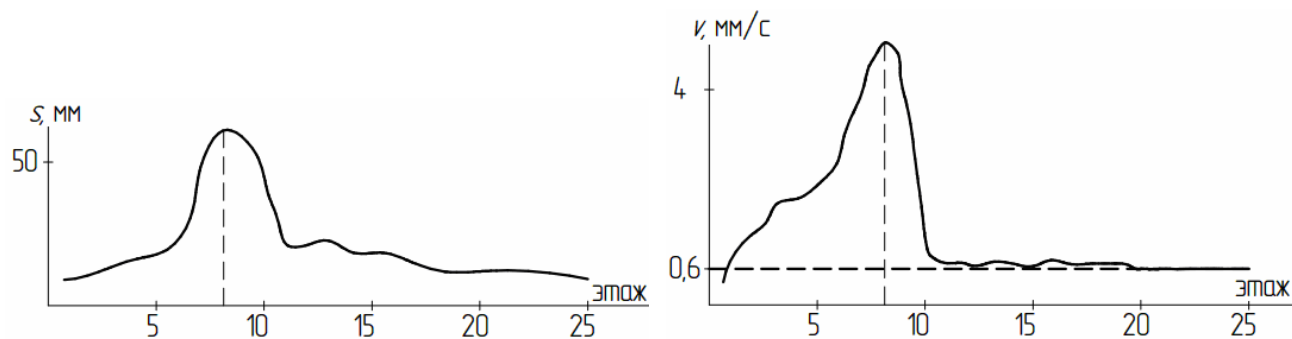


Рис. 1 Графики перемещений ( $S$ ) и скоростей ( $v$ )

Необходимо отметить, что колебания огибающих  $S$  и  $v$  (рис. 1) на принятом участке связаны с ударами в стыках направляющих лифта. На графике скорости ( $v$ ), пунктиром показали линию ограничения уровня амплитуд колебаний для лифтов,  $v = 0,6$  мм/с.

Промежуточные параметры и их значения, регистрируемые в поперечных направлениях при движении кабины показали, что колебания стенок зависят от состояния направляющих и работы пар – «направляющие – блоки башмаков». На рисунке 1 максимальные ординаты  $S$  и  $v$  примерно зафиксировали около 8 этажа здания, что подтверждает аналитические расчеты этого лифта. Существенный интерес представляли огибающие амплитуды перемещений ( $S$ ) и скоростей ( $v$ ) в функции этажа.

Для получения этих кривых, провели замеры в середине боковой стенки кабины лифта при  $Q = 630$  кг,  $v = 1,6$  м/с при движении вверх и вниз, которые представлены на рисунке 2, где кривые 1 и 2 для потолка кабины, а 3, 4 – стенки.

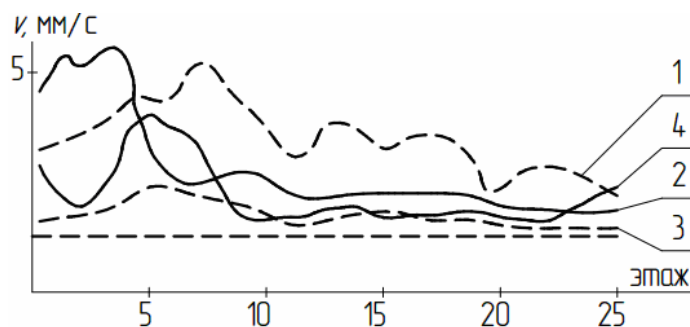


Рис. 2. Графики скорости от этажности

При обследовании лифтов грузоподъемности  $Q = 630$  кг,  $v = 1,6$  м/с, сделали предположение о небольшом разбросе высокочастотного возмущения со стороны лебедки с редукторным приводом. Если представить динамическую систему кабины в виде жесткого тела в направляющих и на подвеске, можно предположить, что систему можно рассмотреть как четыре независимые, где первая – описывающую вертикальные колебания по оси ОУ, вторую – колебания по оси ОХ и вокруг ОZ, третью по оси ОZ и вокруг ОУ. Причем импульсы, которые получили в результате эксперимента, являются в этом случае факторами нагружения динамических контуров. При прохождении стыков, импульсные воздействия на кабину лифта позволяют заключить, что они невелики.

Удары в стыках направляющих, вызывающие вертикальные колебания кабины лифта, получились соизмеримыми с колебаниями по другим формам. В результате исследования установили, что вертикальные колебания находятся около 14,5 Гц, а боковые примерно 7,5 Гц, причем частоты на всем пути движения кабины сохраняются. Для обследованных лифтов возбуждение вертикальных высокочастотных колебаний кабины при резонансе от действия инерционных сил редукторного привода лебедки оказались наиболее значительными. Поэтому мы пришли к выводу, что при ограничении этих колебаний рациональным представляется пассивный динамический гаситель. Гаситель выполнен в виде рычага второго рода, безззорный и большой разностью плеч, при небольшой общей массе. В качестве его рабочего органа применили упругое звено в виде полукольца, который выполняет роль опорной точки рычага. Устанавливается гаситель между подрамником и подвесной рамой лебедки и соединяется с внутренней точкой рычага в распор звеном, передающим осевое усилие с рамы на рычаг в соответствии с передаточным отношением рычага. Установили рычаг вблизи схода канатов шкива, где для рамы лебедки уменьшение колебаний было большим. Кривые амплитуд значений скоростей колебаний середины потолка кабины лифта при  $Q = 630$  кг,  $v = 1,6$  м/с представлены на рисунке 3, где а – при движении кабины вверх, б – вниз, причем, кривые 1, когда нет гасителя, а кривые 2 при установленном гасителе.

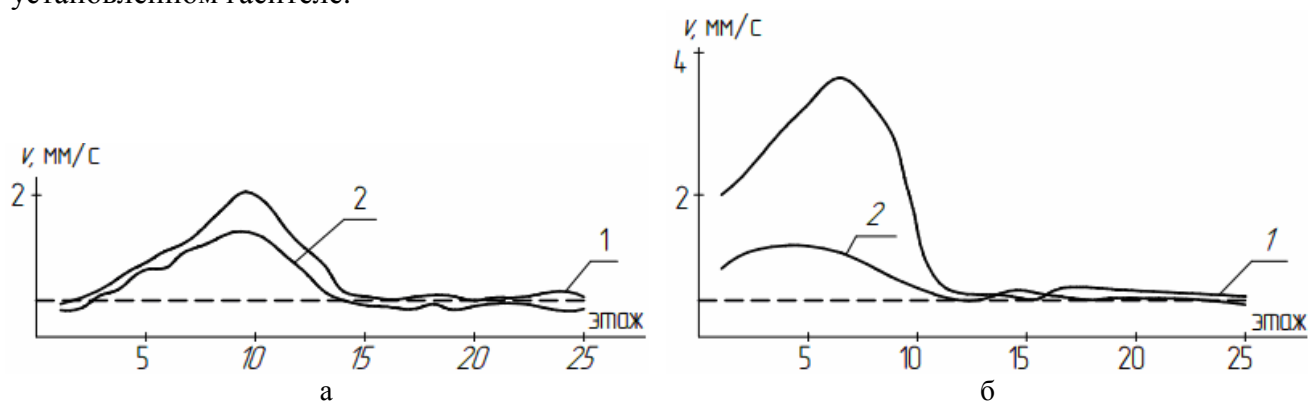


Рис. 3 Графики амплитуд скорости

### Результаты

Эффективность работы гасителя при движении вниз кабины заметно выше, что вызвано небольшим расхождением частоты возмущения и частоты колебаний гасителя. Важной причиной при снижении уровня колебаний кабины до 0 «нуля» то, что канаты подвески кабины лифта при их длине является «точечным» гасителем колебаний лебедки, перегружая кабину. Следует учитывать, что приведенная масса канатов в этом случае будет около 41 кг, составляя 38-41% от массы гасителя. При подавлении резонансных колебаний необходимо увеличить массу гасителя и решить проблему устранения резонанса кабины, улучшая ее функциональные характеристики гашения. На лифте ( $Q = 630$  кг,  $v = 1,6$  м/с), где собственная частота вертикальных колебаний рамы лебедки в 1,7...2 раза превышает частоту вращения ротора, рационально исследовать гаситель. Кроме этого, независимо от этажности здания возникает вопрос о воздействии привода лебедки на основание. Гасителями колебаний, как

показали эксперименты, можно успешно реализовать задачу минимизации высокочастотного динамического воздействия, если гаситель рычажного типа, чтобы динамическое воздействие высокой частоты от привода лебедки на основание через гаситель и опорные элементы будет снижено в 4,5 раз. Для этого важно выбрать места установки гасителей. При этом гаситель имеет рабочую массу не менее 21% массы лебедки и не менее 11% при рациональном подборе места установки и настройка гасителей. Следует заметить, что частота собственных колебаний рычажного гасителя может находиться в широких пределах, но сохранять эффективность работы во время эксплуатации.

#### Список литературы

1. Технический регламент Таможенного союза «Безопасность лифтов» (ТР ТС 011/2011).
2. Правила организации безопасного использования и содержание лифтов, подъемников для инвалидов, пассажирских конвейеров (движущихся пешеходных дорожек) и экскаваторов, за исключением экскалаторов в метрополитене (Утверждены постановлением Правительства РФ от 24 июня 2017 г. № 743).
3. Об утверждении Положения о федеральном государственном контроле (надзоре) в области безопасного использования и содержание лифтов, подъемников для инвалидов, пассажирских конвейеров (движущихся пешеходных дорожек) и экскаваторов, за исключением экскалаторов в метрополитене (Утверждены постановлением Правительства РФ от 16 февраля 2023 г. № 241).
4. Степанов М.А., Семенов А.Б., Андреева П.О. Некоторые вопросы снижения динамических нагрузок в лифтах // Строительные и дорожные машины. – 2022. – №12. – С. 54-56.
5. Черкасов В.А., Кайтуков Б.А. Определение уровня высокочастотных колебаний кабины лифта // Механизация строительства. – 2011. – № 11. – С. 14-17.
6. Бархаев С.Ю. Динамические уравнения ускоренного движения многоканатного подъемника (лифта) в пусковых режимах // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4. – С. 181-186.
7. Коваль А.С., Яшин В.С., Артеменко А.И. Моделирование двигательных и генераторных режимов работы безредукторного электропривода пассажирского лифта на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами // Вестник белорусско-российского университета. – 2020. – №1. – С. 86-93.
8. Danilin A.N., Kurbatov A.S., Zhavoronok S.I. Simulation of a multi-frequency stockbridge vibration damper oscillations with energy scattering hysteresis // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2020, vol. 16, no. 4, pp. 29-37.
9. Назарова М.К. Основы расчета лифтовых конструкций на динамические воздействия //Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. №8. 2019. С. 74-78.
10. Себешев В.Г., Гербер Ю.А. Регулирование динамическими гасителями колебаний напряженно-деформированного состояния и надежности систем с сосредоточенными массами при гармонических воздействиях // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 9(729). – С. 5-18.
11. Черкасов В.А., Кайтуков Б.А. Экспериментальные исследования высокочастотных колебаний кабины лифта // Механизация строительства. – 2011. – № 12. – С. 17-20.
12. Архангельский А.А., Овчинникова Ю.С. Исследование влияния параметров динамического гасителя на амплитуду колебаний // Механизация строительства. – 2011. – №1. – С. 6-10.

#### References

1. Technical Regulations of the Customs Union "Elevator Safety" (TR CU 011/2011).
2. Rules for the organization of safe use and maintenance of elevators, lifts for the disabled, passenger conveyors (moving footpaths) and excavators, with the exception of exscalators in the subway (Approved by Decree of the Government of the Russian Federation of June 24, 2017 No. 743).
3. On approval of the Regulations on Federal State Control (Supervision) in the Field of safe Use and maintenance of elevators, lifts for the disabled, passenger conveyors (moving Footpaths) and Excavators, with the exception of exscalators in the subway (Approved by Decree of the Government of the Russian Federation of February 16, 2023 № 241).
4. Stepanov M.A., Semenov A.B., Andreeva P.O. Some issues of reducing dynamic loads in elevators // Construction and road vehicles. 2022, no.12, pp. 54-56.
5. Cherkasov V.A., Kaitukov B.A. Determination of the level of high-frequency vibrations of the elevator cabin // Mechanization of construction. 2011, no. 11, pp. 14-17.
6. Barkhaev S.Yu. Dynamic equations of accelerated motion of a multichannel lift (elevator) in starting modes // Bulletin of MGSU. 2010, no. 4, pp. 181-186.
7. Koval A.S., Yashin V.S., Artemenko A.I. Modeling of motor and generator modes of operation of a gearless electric drive of a passenger elevator based on a synchronous motor with permanent magnets // Bulletin of the Belarusian-Russian University. 2020, no. 1, pp. 86-93.
8. Danilin A.N., Kurbatov A.S., Zhavoronok S.I. Simulation of a multi-frequency stockbridge vibration damper oscillations with energy scattering hysteresis // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2020, vol. 16, no. 4, pp. 29-37.

9. Nazarova M.K. Fundamentals of calculation of elevator structures for dynamic impacts // Actual problems of humanities and natural sciences. 2019, no. 8, pp. 74-78.
10. Sebeshev V.G., Gerber Yu.A. Regulation by dynamic dampers of vibrations of the stress-strain state and reliability of systems with concentrated masses under harmonic influences // News of higher educational institutions. Construction. 2019, no. 9(729), pp. 5-18.
11. Cherkasov V.A., Kaitukov B.A. Experimental studies of high-frequency vibrations of an elevator cabin // Mechanization of construction. 2011, no. 12, pp. 17-20.
12. Arkhangelsky A.A., Ovchinnikova Yu.S. Investigation of the influence of dynamic damper parameters on the amplitude of oscillations // Mechanization of construction. 2011, no. 1, pp. 6-10.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Степанов Михаил Алексеевич</b> – кандидат технических наук, профессор	<b>Stepanov Michael Alexeyevich</b> – candidate of technical sciences, professor
<b>Кайтуков Батраз Амурханович</b> – кандидат технических наук, доцент	<b>Kaitukov Batraz Amurkhanovich</b> – candidate of technical sciences, associate professor
<b>Андреева Полина Олеговна</b> – аспирант kaitukovba@mgsu.ru	<b>Andreeva Polina Olegovna</b> – postgraduate student

*Получена 05.06.2023*