

УДК 624.92(083.75)

Повышение надежности лифтов за счет снижения динамических нагрузок гасителями колебаний

Андреева Полина Олеговна,
аспирант

polina.andr.98@mail.ru

Степанов Михаил Алексеевич,
профессор, канд. техн. наук

masmias@mail.ru

Кафедра механизации, автоматизации и роботизации строительства,
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), Москва, Россия

Аннотация. Рост городского населения и в результате строительства высотных зданий требует создание надежного и безопасного внутреннего пассажирского транспорта. Лифт является сложным механическим устройством, поэтому при создании происходит внедрение инновационных технологий. Рассмотрен важный для лифтов вопрос снижение динамических нагрузок на кабину. Показаны основные направления повышения комфорта пассажиров. Исследованы причины и важные закономерности развития вибрационных процессов в установившемся режиме в реальных условиях эксплуатации. Разработана двухмассовая динамическая модель для лифта грузоподъемностью 630 кг, $v = 1,6$ м/с, а также гаситель вертикальных высокочастотных колебаний. Многочисленные эксплуатационные исследования лифтов позволили снизить колебания в разы, что повысило комфорт в кабине лифта. Исследовалось более 21 лифта, на нескольких из них в результате установки на раму лебедки гасителя уровень вибрации на кабину снизился и приобрел номинальные характеристики. Результаты подтверждены расчетами и графиками перемещений и скоростей в зависимости от этажности.

Ключевые слова: комфорт, надежность, лифт, динамические нагрузки, вибрации, уровень колебаний, динамический гаситель, перемещения и скорость, лебедка, рама лебедки, эксплуатационные исследования

Increasing elevator reliability by reducing dynamic loads with vibration dampers

Andreeva Polina Olegovna,
Graduate Student

polina.andr.98@mail.ru

Stepanov Mikhail Alekseevich,
Professor, Candidate of Technical Sciences

masmias@mail.ru

Department of Mechanization, Automation and Robotics of Construction,
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia

Abstract. The growth of urban populations and the subsequent construction of high-rise buildings necessitate the creation of reliable and safe internal passenger transport systems. Elevators are complex mechanical devices, which is why innovative technologies are implemented during their development. An important issue for elevators is the reduction of dynamic

loads on the cabin. Key directions for enhancing passenger comfort have been identified. The causes and significant patterns of vibrational processes in a steady-state mode under real operating conditions have been studied. A two-mass dynamic model for a 630 kg-capacity elevator, $v = 1,6 \text{ m/s}$, has been developed, along with a damper for vertical high-frequency vibrations. Numerous operational studies of elevators have significantly reduced vibrations, thereby increasing comfort within the elevator cabin. More than 21 elevators were investigated, and in several cases, the installation of dampers on the hoist frame reduced the vibration levels in the cabin to nominal characteristics. The results have been confirmed by calculations and graphs of displacements and velocities based on the number of floors.

Keywords: comfort, reliability, elevator, dynamic loads, vibrations, vibration level, dynamic damper, displacement and speed, winch, winch frame, operational research

Введение. Важным при росте городского населения является строительство высотных зданий, которые требуют разработки безопасного и надежного внутреннего грузового пассажирского транспорта. Лифт является сложным механическим устройством с применением средств автоматики и микропроцессорной техники. Важным для лифтов является вопрос повышения комфорта пассажиров во время эксплуатации [1, 2]. Отрицательно на организм человека влияет вибрация и шум, поэтому снижение их уровня является актуальной проблемой. Как транспорт лифт является сложной многомассовой динамической упругой системой, где во время эксплуатации возникают колебания различного уровня частот.

Спектр вибрации, действующий на организм человека, находится в пределах частот от 1 до 63 Гц. Причем главными источниками колебаний в лифтах являются вращающиеся части лебедки при смещении центра масс элементов. Значительными инерционными массами в лифте будут вращающиеся массы привода: шкив, КВШ, червяк и червячное колесо. Представляя лифт в виде упругой динамической системы, анализ колебаний проводят с учетом количества степеней свободы, которые находятся под действием движущихся сил от привода, сил тяжести противовеса и кабины [2–4].

Материалы и методы. В течение нескольких лет проводились экспериментальные исследования, которые были связаны с анализом вертикальных высокочастотных колебаний кабин пассажирских лифтов грузоподъемностью 400 кг, 630 кг, со скоростью $v = 1,6 \text{ м/с}$, в 25-этажных зданиях. Целью этих исследований было снижение вибрации, оказывающих вредное воздействие на организм пассажиров в кабине лифта, и разработке средств подавления этих колебаний. Объектом исследований были лифты (20), установленные в зданиях повышенной этажности, из них 10 лифтов были грузоподъемностью 400 кг, $v = 1,6 \text{ м/с}$, а остальные 10 — грузоподъемностью 630 кг, $v = 1,6 \text{ м/с}$. После инструментальных замеров уровня вибрации в норме оказались 6 лифтов из 10, а в остальных 4, наблюдалось значительное превышение уровня вибрации. Исследованию в эксплуатационных условиях подверглись 4 лифта в 25-этажных зданиях грузоподъемностью 630 кг, $v = 1,6 \text{ м/с}$. Замеры уровней перемещения и скоростей проводились в углу и в середине

потолка лифтов. В этих точках в режиме резонанса выделялась основная гармоника с частотой вращения двигателя.

Виброметром замерялись перемещения и скорости на каждом из 25 этажей при движении вверх и вниз. Теоретическая сторона исследований предполагала разработку динамической модели [2, 3]. Такая модель лифта включала: грузоподъемность, массу кабины, массу противовеса, массу тягового каната, массу цепей и массу кабеля. Определяли жесткости элементов модели, перемещение сосредоточенных масс, приведенных к валу КВШ, момент инерции привода, диаметр КВШ, коэффициент демпфирования и условное перемещение. Система предполагаемых дифференциальных уравнений модели лифта с прямой подвеской приобретала вид: 7-ми массовой системы и 7-ми линейных уравнений. Однако для лифтов, которые работали в реальных условиях, фиксация положения кабины по высоте — сложная задача. Многие параметры системы менялись в ходе работы лифта, поэтому целесообразно было создать модель нелинейной динамической системы, которая позволила бы установить характер и интенсивность колебательных процессов при движении кабины. Во многих работах уделялись попытки создания рациональных динамических моделей, но они имели свои недостатки.

Эксплуатация лифтов в 25-этажных зданиях в количестве 20 штук, которые были с частотно-регулируемым приводом, требовали решения задачи снижения вертикальных колебаний кабины. Анализ конструкций лифтов грузоподъемностью 630 кг показал, что M_d — масса лебедки, кг; M_k — масса кабины, кг; жесткость 4х резиновых опор рамы лебедки, дискретно представляющие канатную подвеску в виде блока $2c - m - 2c$, имеющую длину L , где продольная жесткость определялась через модель упругости каната и площади поперечного сечения при действующем гармоническом усилии от сил инерции вращающихся масс, $F \sin \omega t$, хочется дать положительный ответ. Такая модель больше подходит при решении задачи снижения вертикальных колебаний кабины лифта [2, 4, 5].

В некоторых работах представлены результаты теории динамических гасителей при гармонических случайных воздействиях. Гасители занимают особое место во время эксплуатации, они позволяют просто получить желаемый эффект уменьшения колебаний [5, 6]. Принцип динамического гасителя колебаний заключается в присоединении к раме лебедки дополнительного динамического звена, изменяющего характер колебаний в требуемом направлении, что реализуется динамическим гасителем колебаний. Разработанный пассивный динамический гаситель очень удачно вписался в динамическую двухмассовую модель лифта грузоподъемностью 630 кг.

Результаты. На рис. 1 представлены графики перемещений (S) 4 лифтов, которые обозначены: (№ 7, № 8, № 9, № 10), а скоростей (v) (рис. 2), этих же лифтов грузоподъемностью 630 кг, $v = 1,6$ м/с в зависимости от положения кабины по этажности. На рис. 3 представлена двухмассовая динамическая модель с установленным гасителем колебаний (M_r) лифта грузоподъемностью 630 кг.

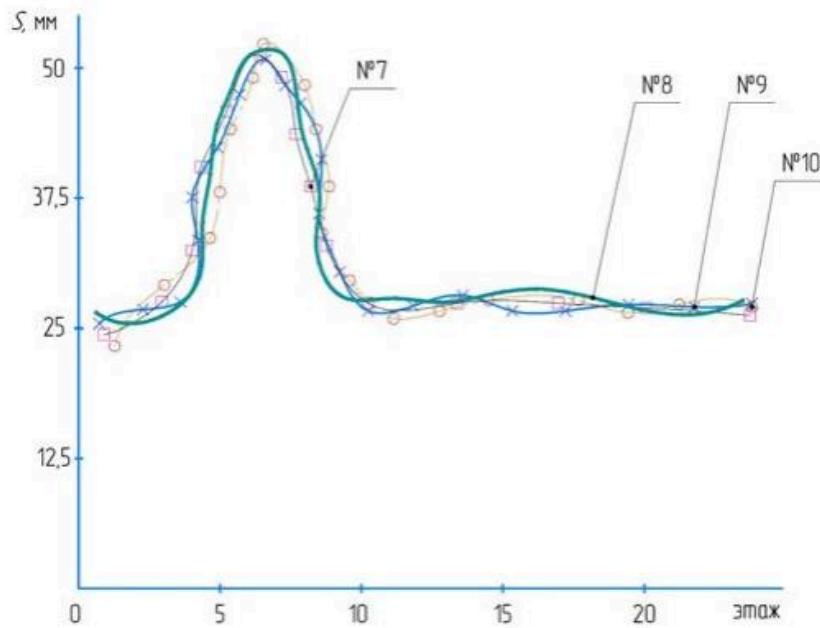


Рис. 1. Графики перемещений 4 лифтов, грузоподъемностью 630 кг, $v = 1,6$ м/с

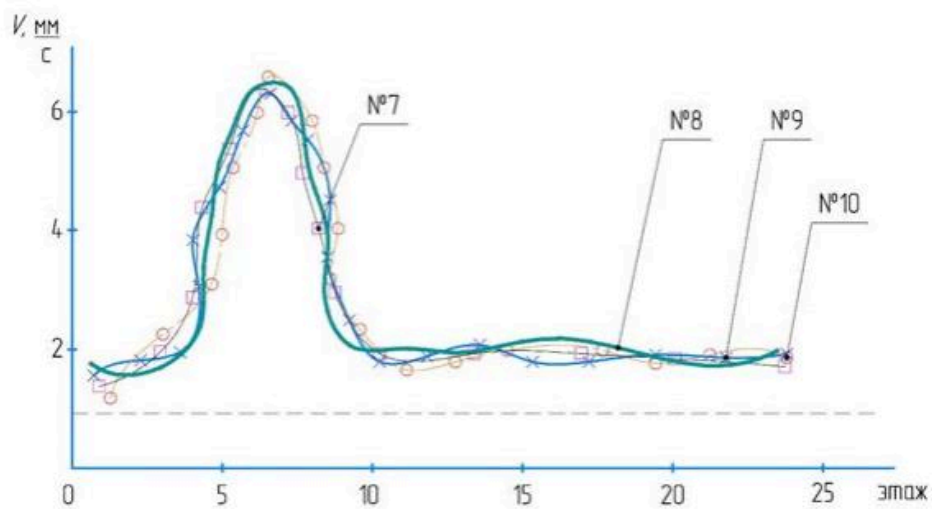


Рис. 2. Графики скоростей 4 лифтов, грузоподъемностью 630 кг, $v = 1,6$ м/с

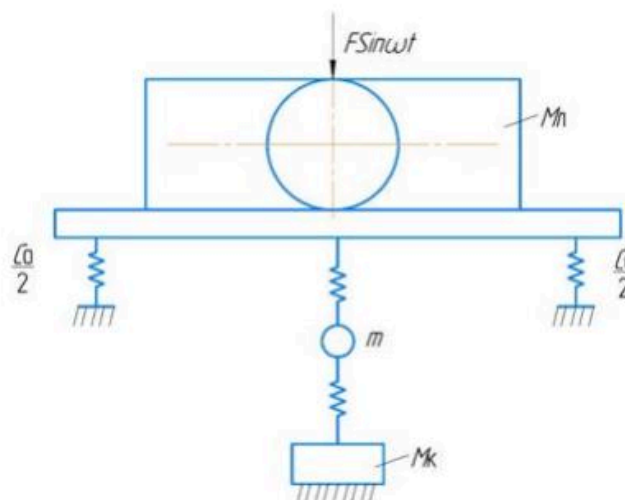


Рис. 3. Двухмассовая динамическая модель лифта грузоподъемностью 630 кг

Обсуждение. Наряду с виброизоляцией для уменьшения вертикальных высокочастотных колебаний кабины применяют динамические пассивные гасители колебаний (рис. 3). На, рис. 3, модель включает: массу кабины M_K ; массу лебедки M_L ; массу гасителя m_T ; усилие $F \sin \omega t$; массу m и дискретно представленную канатную подвеску $2c - m - 2c$. Эта модель в эксплуатационных условиях показала с наилучшей стороны, и далее на рис. 4 и рис. 5 представлены графики перемещений (S) и скоростей (v) с установленным гасителем и без него, для лифта грузоподъемностью 630 кг, $v = 1,6$ м/с. Эти кривые получены (рис. 4, 5) при установке на раму лебедки одного пассивного динамического гасителя, для 1 — без гасителя, а 2 — с гасителем [2, 5, 6].

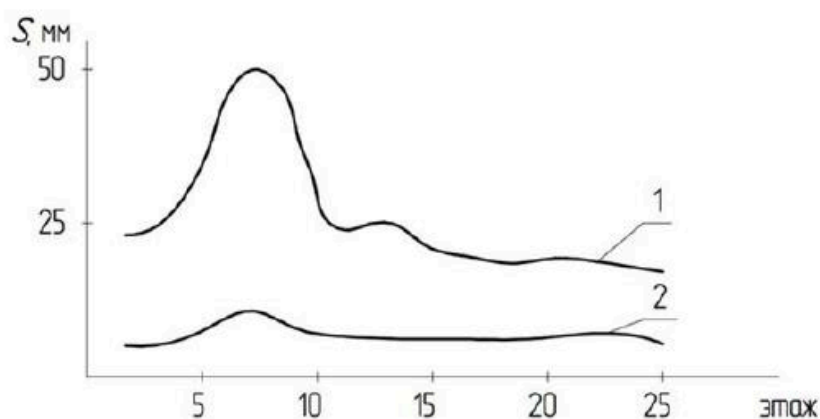


Рис. 4. Графики перемещений в зависимости от этажности

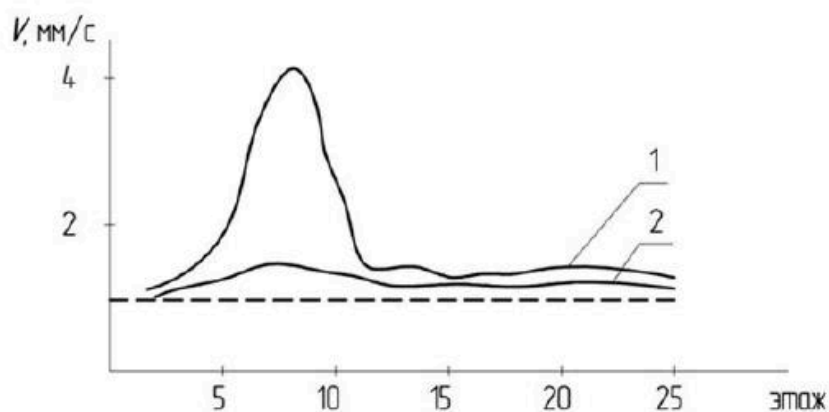


Рис. 5. Графики скоростей в зависимости от этажа

Заключение. Сравнительная оценка показала, что максимальные ординаты перемещений (S), рис. 4 снизились в 4,65 раза, а скорости (v), рис. 5 в 4,35 раза, кроме этого, отличие ординат v и S (кривые 2), отличались от номинальных значений на 0,5 %. Эксплуатационной организации нами предложены предложения по установке двух гасителей с меньшими массами, которые при испытании дали нормативные показатели уровня вибрации. Такой подход значительно повысил комфорт пассажиров в кабине лифтов.

Список источников

- [1] Архангельский Г.Г. Исследование вертикальных колебаний кабины лифта в зданиях повышенной этажности. *Строй профиль*, 2008, № 8, с. 134–136.
- [2] Черкасов В.А., Кайтуков Б.А. Определение уровня высокочастотных колебаний кабины лифта. *Механизация строительства*, 2011, № 11, с. 14–17.
- [3] Степанов М.А., Кайтуков Б.А., Андреева П.О. Снижение высокочастотных колебаний кабины лифта. *Системные технологии*, 2023, № 3 (48), с. 107–111.
- [4] Степанов М.А., Кайтуков Б.А., Андреева П.О. Экспериментальное исследование динамических нагрузок лифтов. *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*, 2023, № 20, с. 78–82.
- [5] Степанов М.А., Кайтуков Б.А., Андреева П.О. Повышение комфорта пассажиров при снижении динамических нагрузок лифтов. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2024, № 10, с. 668–672.
- [6] Степанов М.А., Кайтуков Б.А., Андреева П.О. Снижение динамических воздействий на пассажиров лифтов. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2025, № 5, с. 342–347.