



УДК 69.026.

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЛИФТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА
СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ
НАЗАРОВА М.К., ОЛИМХОН Х. О.**

Современные многоэтажные здания оснащаются вертикальными транспортными средствами для облегчения и ускорения перемещения людей и грузов на различные уровни. Их основное преимущество — минимальная площадь, занимаемая оборудованием в здании. Среди различных типов подъемников, применяемых в жилых, административных и промышленных зданиях, наиболее распространены лифты. Был рассмотрен вариант динамической модели системы "сооружение — лифт" для расчета сейсмостойкости лифтовых конструкций.

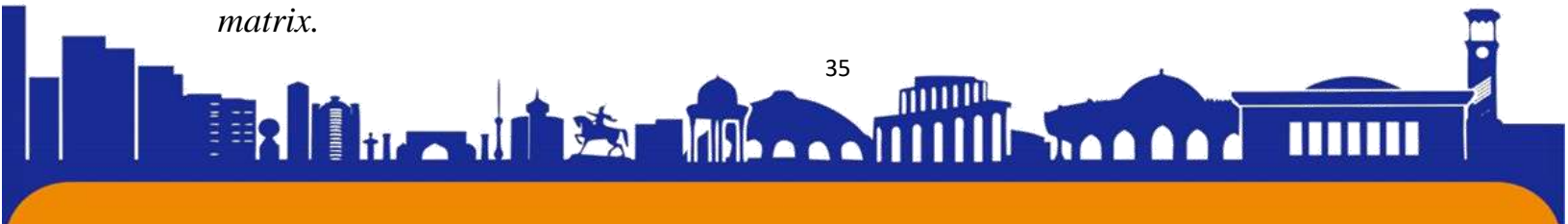
Ключевые слова: шахта, лифт, кабина, противовес, направляющие, лебедка, канаты, сейсмостойкость, жесткость, масса, динамическая модель, перемещения, уравнение, форма колебания, матрица.

Zamonaviy ko'p qavatli binolar odamlar va yuklarni turli qavatlariga tez va oson ko'tarish uchun vertikal transport vositalari bilan jihozlanadi. Ularning asosiy afzalligi – binoda egallaydigan minimal maydonidadir. Turar joy, ma'muriy va sanoat binolarida ishlatiladigan turli ko'tarish vositalari orasida eng ko'p tarqalgani liftlardir. Lift konstruksiyalarining seysmik bardoshlilikini hisoblash uchun "bino – lift" tizimi dinamik modeli ko'rib chiqildi.

Калит со'злар: shaxta, lift, kabina, qarshivozn, yo'llanma, vinch, arqonlar, seysmobarqarorlik, qattqlik, massa, dinamik model, siljish, tenglama, tebranish shakli, matritsa.

Modern high-rise buildings are equipped with vertical transportation systems to facilitate and expedite the movement of people and goods to various levels. Their main advantage is the minimal area occupied by the equipment within the building. Among the types of lifting devices used in residential, administrative, and industrial buildings, elevators are the most common. A dynamic model of the "structure–elevator" system was considered for calculating the seismic resistance of elevator constructions.

Keywords: shaft, elevator, cabin, counterweight, guides, hoist, ropes, seismic resistance, stiffness, mass, dynamic model, displacement, equation, vibration mode, matrix.





Исследование динамических процессов в системе «сооружение – лифт» при воздействии сейсмических колебаний является чрезвычайно сложной и многогранной задачей. Это обусловлено тем, что на поведение системы влияет широкий спектр параметров, каждый из которых вносит свою лепту в общий отклик лифтовой установки на сейсмическое воздействие. К числу таких параметров можно отнести: динамические характеристики самого здания (собственные частоты и формы колебаний, коэффициенты диссипации), вес кабины и противовеса, размер зазора между направляющими и башмаками, а также жесткость направляющих в точке контакта. Помимо перечисленных, в расчетах учитываются и другие факторы, которые в комплексе влияют на устойчивость и поведение системы.

Дополнительную сложность вносят разнообразие архитектурных решений и конструктивных особенностей зданий, в которых эксплуатируются лифты. Каждое здание уникально, и его колебательные процессы могут заметно отличаться от других строений, что требует глубокого анализа и индивидуального подхода к оценке характеристик системы «сооружение – лифт». Именно поэтому возникает необходимость выбора наиболее неблагоприятных параметров системы, которые могут привести к критическим условиям при сейсмических воздействиях. Тем не менее, следует отметить, что количество лифтов, попадающих в подобные критические условия в реальных условиях землетрясения, невелико.

В данной работе представлена методика детерминированного расчета, однако для достижения более полной картины рекомендуется также провести статистический анализ динамических параметров системы, чтобы учесть возможные вариации и снизить вероятность отказов оборудования при экстремальных нагрузках.

Процесс исследования соответствует общепринятой последовательности анализа, включающей в себя несколько ключевых этапов:

- 1. Построение динамических моделей**, которые учитывают конструктивные особенности системы «сооружение – лифт». Динамическая модель должна отражать все элементы конструкции, начиная с направляющих и заканчивая подвесными элементами лифта, чтобы учесть влияние каждого компонента на поведение системы в условиях вибрации.





2. **Методика расчета сейсмостойкости конструкций.** Здесь применяются аналитические методы и численные расчеты для определения устойчивости системы к сейсмическим воздействиям, что позволяет выявить критические узлы конструкции и оценить возможные риски при землетрясениях.

Таким образом, данное исследование нацелено на разработку универсального подхода, который позволит повысить сейсмостойкость лифтовых систем в различных зданиях и минимизировать риски при землетрясениях.

Рассмотрим простейшую динамическую модель системы сооружение – лифт (рис. 1).

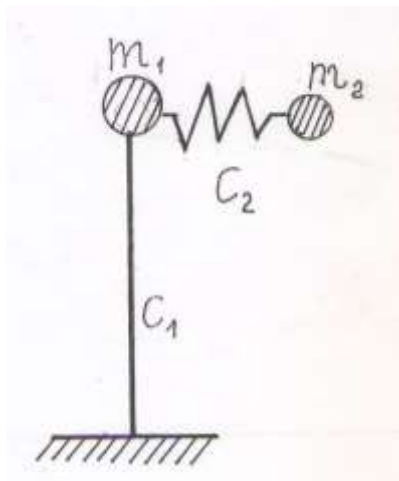


Рис.1. Динамическая модель сооружение - лифт 1.

C_1, m_1 - жесткость и масса сооружения,

C_2, m_2 - жесткость направляющей и масса кабины или противовеса.

Определяя единичные перемещения, отметим, что в данной системе

$$\delta_{11} = \delta_{12} \quad (1)$$

Для системы с двумя степенями свободы приведем частотное уравнение

$$\begin{vmatrix} \left(\delta_{11} m_1 - \frac{1}{\rho_i^2} \right) & \delta_{12} m_2 \\ \delta_{21} m_1 & \left(\delta_{22} m_2 - \frac{1}{\rho_i^2} \right) \end{vmatrix} = 0 \quad (2)$$



Для подобной системы весьма интересен случай равенства парциальных частот сооружения и лифта

$$m_1 \delta_{11} = m_2 \delta_{22} \quad (3)$$

коэффициенты форм колебаний [1](20)

$$\eta_{i,k} = \frac{X_{i,k} \sum Q_j X_{ij}}{\sum Q_j X_{ij}^2} = \frac{X_{i,k} \sum m_j X_{ij}}{\sum m_j X_{ij}^2}$$

Соотношение перемещения системы по первой и по второй форме колебания имеют вид:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1 + \sqrt{m_1 / m_2}}{1 + \sqrt{m_2 / m_1}} = \sqrt{m_1 / m_2} \quad (5)$$

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1 - \sqrt{m_1 / m_2}}{1 - \sqrt{m_2 / m_1}} = -\sqrt{m_1 / m_2} \quad (6)$$

Результаты (5) и (6) показывают о возможности очень больших перемещений кабин (противовеса) и нагрузок на них. К тому же наличие зазора между направляющими и башмаками, а также влияние высших форм колебаний реальных сооружений может увеличить воздействия на лифты.

Вероятность выполнения условия (3) невелика, поэтому ниже мы приводим ряд случаев, выбранных из обширного численного анализа при $m_1 \delta_{11} \neq m_2 \delta_{22}$. Обозначим $m_2 \delta_{22} / m_1 \delta_{11} = n$

При $\frac{m_1}{m_2} = 10^4$ и $n = 0,5$

$$\begin{aligned} \lambda_1 / \lambda^* &= 1,0 & \lambda_2 / \lambda^* &= 0,5 \\ \frac{X_{12}}{X_{11}} &= 2,0 & X_{22} / X_{21} &= -5002,0 \end{aligned}$$



При $\frac{m_1}{m_2} = 10^4$ и $n=1,5$

$$\lambda_1/\lambda^* = 1,5$$

$$\lambda_2/\lambda^* = 1,0$$

$$X_{12}/X_{11} = 5002,0$$

$$X_{22}/X_{21} = -2.0$$

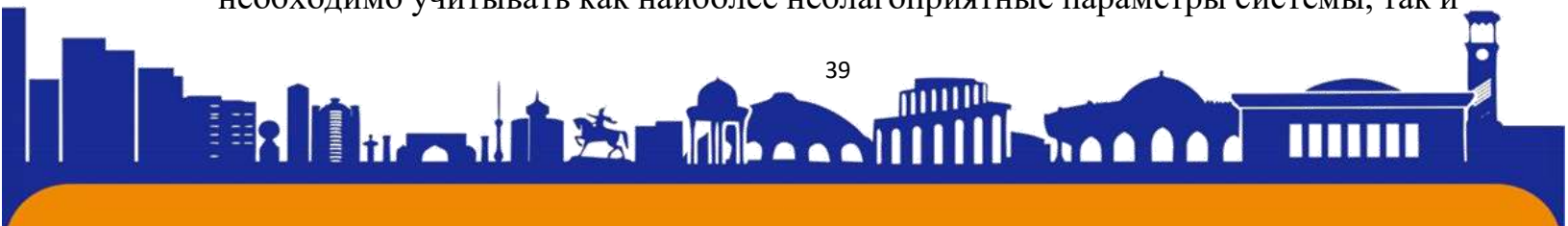
Следовательно, при отсутствии равенства парциальных частот возможны перемещения лифта, значительно превышающие перемещения сооружения.

Следует отметить, что при малых отношениях массы кабины или противовеса к массе сооружения возможны значительные погрешности при определении форм собственных колебаний системы вследствие плохой обусловленности уравнений. Об этом свидетельствуют приведенные выше численные результаты. Движение сооружения вполне допустимо рассматривать независимым от колебаний кабины или противовеса.

Исследование динамических процессов в системе «сооружение – лифт» при сейсмических воздействиях показало, что поведение лифтовых установок в условиях землетрясений является сложным и многопараметрическим процессом, где на движение влияют динамические характеристики сооружения, масса кабины или противовеса, жесткость направляющих и ряд других факторов. Проведенный анализ выявил возможность значительных перемещений кабины или противовеса при определенных соотношениях масс и жесткостей системы, что может представлять потенциальную угрозу для безопасной эксплуатации лифтов в условиях сейсмической активности.

Для учета всех параметров в проектировании сейсмостойких лифтовых систем целесообразно рассматривать не только детерминированные, но и статистические модели, которые позволят учесть случайные колебания параметров и минимизировать риски при резонансных взаимодействиях системы. Исследование также показало, что динамическое воздействие сооружения можно рассматривать как независимое от колебаний кабины и противовеса, что упрощает дальнейшее моделирование.

Таким образом, для обеспечения сейсмостойкости лифтовых систем необходимо учитывать как наиболее неблагоприятные параметры системы, так и





воздействие высших форм колебаний сооружения, что позволит значительно повысить надежность и устойчивость лифтов к сейсмическим воздействиям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. – М.:Высшая школа, 1986.
2. Нара Т. и др. Повышение сейсмостойкости ЛИФТОВ. Перевод с японского журнала “Хитати хёрон”, 1979, т. 61, № 7. Перевод № БП – 80 – 13721. – М., 1981.
3. Смирнов А.Ф. и др. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений. – М.: Стройиздат, 1982.
4. СНиП II – 7 – 81. Строительство в сейсмических районах. Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1982.
5. Справочник по динамике сооружений и. Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1972.
6. Chen, S., Darivandi, N., and Ghrib, F. The design of an optimal viscous damper for a bridge stay cable using energy-based approach, *Journal of Sound and Vibration*, 296, 4689–4704, (2010).
7. Zhou, Q., Nielsen, S. R. K., and Qu W. L. Semi-active control of three-dimensional vibrations of an inclined sag cable with magnetorheological dampers, *Journal of Sound and Vibration*, 329, 1–22, (2006).
8. W.D.Zhu and G.Y. Xu. Vibration of elevator cables with small bending stiffness. *Journal of Sound and Vibration*, 263:679–699, 2003.
9. Terumichi, Y., Kaczmarczyk, S., Turner, S., Yoshizawa, M., and Ostachowicz, W. Modelling, simulation and analysis techniques in the prediction of non-stationary vibration response of hoist ropes in lift systems, *Materials Science Forum*, 440–441, 497–504, (2003).
10. Ю.Л. Рутман, Н.В. Островская. Динамика сооружений: сейсмостойкость, сейсмозащита, ветровые нагрузки. Монография.СПбГАСУ. Санкт-Петербург, 2019.
11. Назарова М.К. Основы расчета лифтов на сейсмостойкость

