

BASES OF CALCULATION OF ELEVATOR STRUCTURES FOR DYNAMIC IMPACTS

Ph.D., Assoc. Nazarova M.K.,

Ass. Maksudova G.A.,

Ass. Ibragimov N.M. (TASI)

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ЛИФТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

к.т.н., доц. Назарова М.К., асс. Максудова Г.А., асс. Ибрагимов Н.М. (ТАСИ)

Abstract: Modern multi – storey buildings are equipped with vertical vehicles to facilitate and accelerate the movement of people and goods to various levels in height. Their main advantages are the small area occupied by its equipment in the building/ Of all the types of lifts used in residential, administrative and industrial buildings, the most common elevators.

Keywords: mine, elevator, cabin, counterweight, guides, winch, ropes, earthquake resistance.

Аннотация: Современные многоэтажные здания для облегчения и ускорения перемещения людей и грузов на различные уровни по высоте оборудуют вертикальными подъемниками. Их основное преимущество – небольшая площадь, занимаемая ими внутри здания.

Из всех видов подъемников, используемых в жилых, административных и промышленных зданиях, наиболее распространенными являются **лифты**.

Ключевые слова: шахта, лифт, кабина, противовес, направляющие, лебедка, канаты, сейсмостойкость.

Изох: Замонавий кўп қаватли бинолар одамлар ва турли хил турдаги юқларни вертикал баландлик бўйлаб, ҳаракатланишини енгиллаштириш ва тезлаштириш учун вертикал кўтаргичлар билан жиҳозланган. Уларнинг асосий афзаллиги - бу бино ичида кичик майдонни эгаллагандир.

Турар-жой, маъмурий ва саноат биноларида ишлатиладиган барча турдаги кутаргичлардан энг кенг тарқалгани бу лифтлардир.

Калит сўзлар: шахта, лифт, кабина, мувозанат, йўналтирувчи, лебедка, канатлар, зилзилабардошлилик.

Лифтом называют стационарный подъемник прерывного действия с вертикальным движением кабины или платформы по жестким направляющим, установленным в огражденной со всех сторон шахте. Ими оборудуют жилые, административные и промышленные здания, помещения, в которых грузы или людей целесообразно доставлять на различные уровни механизированным способом.

Использование лифтов предусмотрено также и в зданиях небольшой высоты, например, в больницах, магазинах, библиотеках, товарных складах и т.п.

Огромные масштабы жилищного строительства в республике требуют оснащения зданий современными, комфортабельными, удобными в эксплуатации и лифтами.

К современным лифтам предъявляют следующие требования:

- повышенная безопасность и надежность работы;
- максимальные удобства для пассажиров;
- повышенная скорость движения кабин, попутный вызов кабины при движении вниз, двустороннее собирательное управление по вызовам, автоматическое открывание и закрывание дверей, точность остановки;
- современный эстетический вид кабины;
- увеличение эксплуатационного срока службы изнашивающихся механизмов и деталей;
- снижение уровня шума; совершенствование конструкции.

Исследование динамических процессов в системе **сооружение – лифт** при сейсмических воздействиях является весьма сложной задачей, зависящей от многих параметров системы. К ним относятся динамические характеристики сооружения (частота и форма собственных колебаний, коэффициенты диссипации), вес кабины или противовеса, жесткость последних в точке контакта и ряд других.

Многообразие сооружений, в которых эксплуатируются лифты усложняют задачу анализа тем, что колебательные процессы сооружений могут быть самыми различными. Естественно, возникает вопрос о выборе наиболее неблагоприятных параметров системы сооружения – лифт. В тоже время число лифтов, попадающих в подобную критическую ситуацию во время землетрясения, невелико.

Поэтому, излагая ниже методику и результаты детерминированного расчёта, рекомендуется провести в дальнейшем статистический анализ динамических параметров систем.

Исследования соответствуют общепринятой последовательности, в которую входят:

- а) построение динамических моделей, учитывающих конструктивные особенности системы;
- б) анализ результатов при динамических воздействиях гармонического характера с выявлением возможных эффектов поведения системы;
- в) анализ реакции моделей на воздействие представительной выборки акселерограмм;
- г) методика расчёта лифтовых конструкций на сейсмостойкость.

Динамическая модель сооружение-лифт

Рассмотрим простейшую модель системы (рис. 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

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

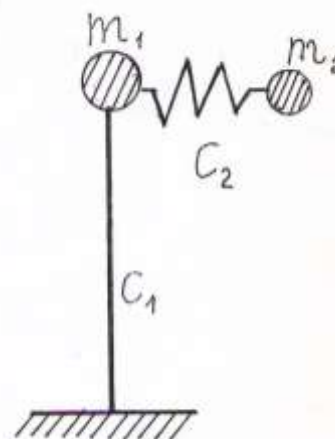


Рис.1. Динамическая модель сооружение-лифт И

Для системы с двумя степенями свободы приведём 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

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

Обозначим

$$m_1 \delta_{11} = \lambda^*, \quad \frac{1}{\rho_i^2} = \lambda_i \quad (4)$$

отсюда (2) с учётом (3) и (4)

$$\begin{vmatrix} (\lambda^* - \lambda_i) & \lambda^* \frac{m_2}{m_1} \\ \lambda^* & (\lambda^* - \lambda_i) \end{vmatrix} = 0 \quad (5)$$

$$\text{или } (\lambda^* - \lambda_i)^2 - \frac{m_2}{m_1} \lambda^{*2} = 0$$

Следовательно

$$\frac{\lambda_1}{\lambda} = 1 + \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}; \quad \frac{\lambda_2}{\lambda} = 1 - \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} \quad (6)$$

Определим формы колебаний при условии $X_{n,1} = 1$

$$X_{i,2} = \frac{\frac{1}{\rho_i^2} - m_1 \delta_{11}}{\delta_{12} m_2} = \frac{m_1}{m_2} \left(\frac{\lambda_i}{\lambda^*} - 1 \right)$$

где $X_{i,k}$ - перемещение по i -ой форме k -ой массы.
 отсюда следует

$$X_{1,2} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}} \quad X_{2,2} = -\sqrt{\frac{m_1}{m_2}} \quad (7)$$

т.е. при $m_1 \gg m_2$ $X_{i,2} \gg X_{i,1}$

коэффициенты форм колебаний (20)

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

где

$$\eta_{1,1} = 0,5 \left(1 + \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} \right) \quad \eta_{1,2} = 0,5 \left(1 + \sqrt{\frac{m_1}{m_2}} \right)$$

$$\eta_{2,1} = 0,5 \left(1 - \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} \right) \quad \eta_{2,2} = 0,5 \left(1 - \sqrt{\frac{m_1}{m_2}} \right) \quad (8)$$

здесь следует отметить, что при $m_1 \gg m_2$ нагрузки на лифт могут быть весьма значительны. Так например при $m_1/m_2=10^4$ и при $A=0,4$, $K_\psi=1$ [20], где A - отношение расчётного ускорения воздействия к ускорению свободного падения, K_ψ - коэффициент диссипативности, сила действующая на лифт в $15,84 \div 60,60$ раз превышает вес лифта (в предположении упругой работы конструкции).

На основании (8) запишем

$$\frac{\eta_{1,2}}{\eta_{1,1}} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}} \quad \frac{\eta_{2,2}}{\eta_{2,1}} = -\sqrt{\frac{m_1}{m_2}} \quad (9)$$

отсюда сейсмические нагрузки

$$\frac{S_{1,2}}{S_{1,1}} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} \quad \frac{S_{2,2}}{S_{2,1}} = -\sqrt{\frac{m_2}{m_1}} \quad (10)$$

Определим перемещения системы по первой формы колебаний

$$y_1 = \delta_{1,1} S_{1,1} + \delta_{1,2} S_{1,2} = \delta_{1,1} S_{1,1} \left(1 + \frac{S_{1,2}}{S_{1,1}} \right) = \delta_{1,1} S_{1,1} \left(1 + \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} \right)$$

$$y_2 = \delta_{2,1} \cdot S_{1,1} + \delta_{2,2} S_{1,2} = \delta_{1,1} S_{1,1} \left(1 + \frac{\delta_{2,2} S_{1,2}}{\delta_{1,1} S_{1,1}} \right) = \delta_{1,1} S_{1,1} \left(1 + \sqrt{\frac{m_1}{m_2}} \right)$$

отсюда

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1 + \sqrt{m_1/m_2}}{1 + \sqrt{m_2/m_1}} = \sqrt{m_1/m_2} \quad (11)$$

Соответственно при колебаниях по второй форме

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1 - \sqrt{m_1/m_2}}{1 - \sqrt{m_2/m_1}} = -\sqrt{m_1/m_2} \quad (12)$$

Результаты (11) и (12) свидетельствуют о возможности очень больших перемещений кабин (противовесов) и нагрузок на них. К тому же наличие зазора между направляющими и башмаками, а также влияние высших форм колебаний реальных сооружений может увеличить некоторым образом воздействия на лифты.

Вероятность выполнения условия (3) невелика, поэтому ниже мы приводим ряд случаев, выбранных из обширного численного анализа при $m_1 \delta_{1,1} \neq m_2 \delta_{2,2}$. Обозначим $m_2 \delta_{2,2} / m_1 \delta_{1,1} = n$

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

$$\lambda_1/\lambda^* = 1,00019992$$

$$\lambda_2/\lambda^* = 0,49980008$$

$$X_{12}/X_{11} = 1,9992$$

$$X_{22}/X_{21} = -5001,9992$$

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

$$\lambda_1/\lambda^* = 1,50019992$$

$$\lambda_2/\lambda^* = 0,99980008$$

$$X_{12}/X_{11} = 5001,9992$$

$$X_{22}/X_{21} = -1.9992$$

Следовательно и 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. Поэтому в дальнейшей разработке динамических моделей системы мы будем рассматривать движение сооружения, вызванное динамическими воздействиями, как движение основания по отношению к кабине или противовесу.

Реальные сооружения при землетрясениях в основном колеблются по первой форме собственных колебаний. Тем не менее определённое влияние оказывают и другие формы, в особенности вторая и третья. Учёт нескольких форм колебаний становится значительнее с увеличением высоты сооружения.

Сооружение в динамической модели 4 описывается наиболее общей моделью, в которой жесткость постоянна, а масса равномерно распределена по высоте сооружения. В подобных задачах вполне можно ограничиться учётом первых трёх форм колебаний сооружения, то есть сооружение представляется системой с тремя степенями свободы (рис.2).

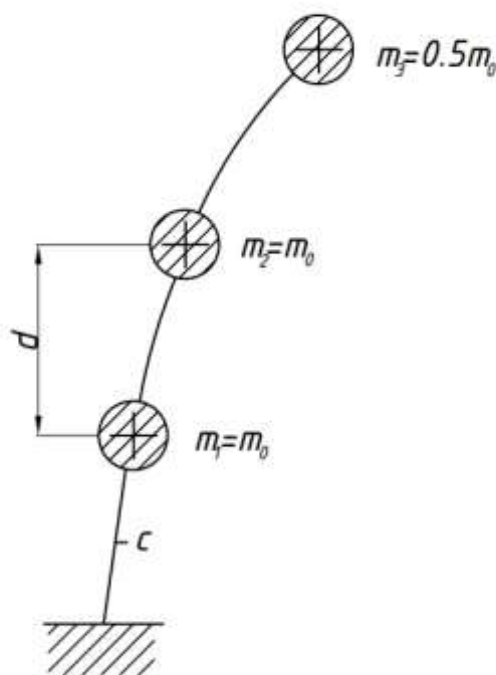


Рис. 2. Динамическая модель сооружение – лифт 4

Движение по собственным формам колебаний любой много массовой системы удобнее представить уравнениями движения в главных координатах. Ниже приводится приведение системы уравнение к главным координатам разложение нагрузки.

Обозначения приняты по [1].

Матрица податливости

$$B = \delta_0 \bar{B} = \begin{bmatrix} 2 & 5 & 8 \\ 5 & 16 & 28 \\ 8 & 28 & 54 \end{bmatrix} \cdot \frac{d^3}{6EI} \quad \delta_0 = \frac{d^3}{6EI}$$

Матрица масс

$$M = m_0 \bar{M} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 \end{bmatrix} \cdot m_0 \quad \delta_0 m_0 = \frac{m_0}{6EI} d^3$$

Произведение приведенных матриц податливости и масс

$$\bar{B} \bar{M} = \begin{bmatrix} 2 & 5 & 4 \\ 5 & 16 & 14 \\ 8 & 28 & 27 \end{bmatrix}$$

Частное уравнение

$$\begin{vmatrix} 2 - \lambda & 5 & 4 \\ 5 & 16 - \lambda & 14 \\ 8 & 28 & 27 - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

или $\lambda^3 - 45\lambda^2 + 69\lambda - 13 = 0$

Отсюда корни уравнения

$$\lambda_1 = 43,41768$$

$$\lambda_2 = 1,362574$$

$$\lambda_3 = 0,219744$$

Матрица собственных форм колебаний

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 3,338594 & 0,967314 & -0,715744 \\ 6,181178 & -1,368500 & 0,449616 \end{bmatrix}$$

$$Y^T M Y = \begin{bmatrix} 31,249691 & 0 & 0 \\ 0 & 2,872093 & 0 \\ 0 & 0 & 1,613367 \end{bmatrix}$$

Перенормируем матрицу собственных форм из условия

$$\bar{Y}^T M \bar{Y} = E \quad (1)$$

где E - единичная матрица

$$\bar{Y} = \begin{bmatrix} 0,178886 & 0,590066 & 0,787288 \\ 0,597229 & 0,570779 & -0,563497 \\ 1,105728 & -0,807505 & 0,353977 \end{bmatrix}$$

Проверяя решение, получим

$$\bar{Y}^T M \bar{Y} = \begin{bmatrix} 1 & -2,30 \cdot 10^{-9} & -4,36 \cdot 10^{-9} \\ -2,30 \cdot 10^{-9} & 1 & 1,12 \cdot 10^{-7} \\ -4,36 \cdot 10^{-9} & 1,12 \cdot 10^{-7} & 1 \end{bmatrix} \approx E$$

$$\bar{Y}^T \bar{M} \bar{B} = \begin{bmatrix} 7,776929 & 25,930287 & 48,008159 \\ 0,804009 & 0,777730 & -1,100286 \\ 0,173002 & -1,123825 & 0,077784 \end{bmatrix}$$

обозначим

$$\rho_1^2 = \frac{6EI}{43,41768 m_0 d^3}$$

и примем $\gamma_1 = 0,1$

Отсюда дифференциальные уравнения движения

$$\ddot{Z}_1 + 0,1 \rho_1 \dot{Z}_1 + \rho_1^2 Z_1 = -1,328979 \ddot{y}_0$$

$$\ddot{Z}_2 + 0,564486 \rho_1 \dot{Z}_2 + (5,644861 \rho_1)^2 Z_2 = -0,757093 \ddot{y}_0 \quad (2)$$

$$\ddot{Z}_3 + 1,405643 \rho_1 \dot{Z}_3 + (14,056429 \rho_1)^2 Z_3 = -0,400779 \ddot{y}_0$$

Наибольшие амплитуды движения соответствуют как правила верхней части сооружения. Движение m_3 определяется по решениям дифференциальных уравнений движения (2).

$$y_3 = 1,105728 Z_1 - 0,807505 Z_2 + 0,353977 Z_3$$

Соответствующим образом изменим коэффициенты при нагрузке в правой части уравнений (2)

$$1,469490 \ddot{y}_0 \quad 0,611357 \ddot{y}_0 \quad 0,141867 \ddot{y}_0$$

В таком случае $y_3 = Z_1 - Z_2 + Z_3$

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. www.студбоокс.нет
5. www.топреф.ру