

## **СЕЙСМОИЗОЛЯЦИЯ ЗДАНИЯ С ДИНАМИЧЕСКИМ ГАСИТЕЛЕМ КОЛЕБАНИЙ**

Г.Ф. ПЕНЬКОВСКИЙ, *д-р техн. наук, профессор,*  
В.В. СЕВАСТЬЯНОВ, *канд. техн. наук, доцент*  
*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный*  
*университет, svvtpz@lan.spbgasu.ru,*

*Рассматриваются вопросы повышения сейсмостойкости зданий и сооружений с использованием сейсмоизоляции. В качестве варианта сейсмоизоляции предложено решение с подвеской здания на жестких тросах с использованием механического гасителя колебаний. Предложен численный дискретно-шаговый метод для расчета параметров колебаний здания. Показано, что применение гасителя колебаний позволяет существенно снизить амплитуду колебаний зданий, даже в случае резонанса.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сейсмостойкое здание, сейсмоизоляция, гаситель колебаний.

Опыт строительства зданий в сейсмоопасных районах показывает, что повышение сейсмостойкости зданий достигается как за счет повышения прочности их конструкций, так и посредством уменьшения сейсмических сил, действующих на здание при устройстве сейсмоизоляции [1,6,7]. В работах [2,5] приведено решение сейсмоизоляции маятникового типа с подвеской здания на жестких тягах, позволяющее снизить наиболее опасные горизонтальные силы, действующие на здание. Горизонтальные колебания здания при этом могут входить в резонанс с вынужденными колебаниями грунта основания, поскольку внешнее воздействие приложено к зданию в виде широкого спектра смещений с разными частотами и амплитудами. В этих условиях представляет интерес рассмотреть возможность применения механического гасителя колебаний, по типу применяемых в машиностроении [3].

На рис.1 показана конструктивная схема сейсмоизоляции здания маятникового типа с динамическим гасителем колебаний.

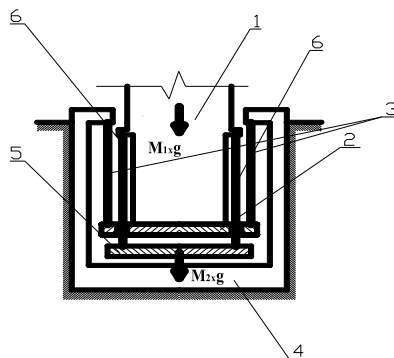


Рис. 1. Конструктивная схема системы маятникового типа

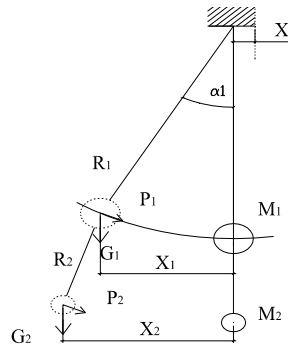


Рис. 2. Расчетная схема

2, подвешенной на жестких тягах 5 к стержню внешнего фундамента 4. Гаситель колебаний в виде плиты 5 подвешен на жестких тягах 6 к основному зданию. Силы, действующие на массу здания  $M_1$  и массу гасителя  $M_2$  показаны на расчетной схеме рис.2 Вес здания  $G_1 = M_1 g$  и гасителя  $G_2 = M_2 g$  создает усилие  $P_1$ , возвращающее массу  $M_1$  в равновесное положение.

$$P_1 = (M_1 + M_2)g \sin \alpha_1 = M_1(1 + m)g \frac{x_0 - x_1}{R_1}, \quad (1)$$

где  $m = M_2 / M_1$ ,  $x_0$  – вынужденное смещение точки подвеса;  $x_1$  – смещение массы здания  $M_1$ ;  $R_1$  – длина тяги подвески основного здания.

Аналогичное усилие для массы гасителя  $M_2$ :

$$P_2 = M_2 g \frac{x_1 - x_2}{R_2}, \quad (2)$$

где  $x_2$  – перемещения массы гасителя  $M_2$ ;  $R_2$  – длина тяги подвески гасителя.

На точки подвески действуют силы реакции  $-M_1 \ddot{x}_1$  и  $-M_2 \ddot{x}_2$  от их движения с ускорениями  $\ddot{x}_1$ ,  $\ddot{x}_2$ . Уравнение горизонтального движения массы  $M_1$  имеет вид:

$$M_1(1 + m)g \frac{x_0 - x_1}{R_1} - M_2 \ddot{x}_2 - M_1 \ddot{x}_1 = 0. \quad (3)$$

Для массы гасителя  $M_2$ : 
$$M_2 g \frac{x_1 - x_2}{R_2} - M_2 \ddot{x}_2 = 0. \quad (4)$$

Решение задачи взаимодействия основной массы системы с гасителем колебаний приведено в работах [3,4] для установившихся колебаний, когда основная масса становится неподвижной, а вся энергия колебаний передается гасителю. Для сейсмоизоляции важно проследить начальный неустановившийся процесс колебаний, поскольку при землетрясениях весь процесс взаимодействия массы сооружения с грунтом является стохастическим, неустановившимся [1,8]. В этом случае определить параметры движения масс  $M_1$  и  $M_2$  можно с применением прямого численного дискретно-шагового метода расчета, приведенного в работе [2] для расчета сейсмоизоляции маятникового типа. Алгоритм решения задачи аналогичен приведенному в упомянутой работе, но расширен для решения системы дифференциальных уравнений (3)-(4).

Ниже приводятся результаты расчета для характерных примеров. На рис. 1 приведены графики колебаний здания при резонансе и отсутствии гасителя.

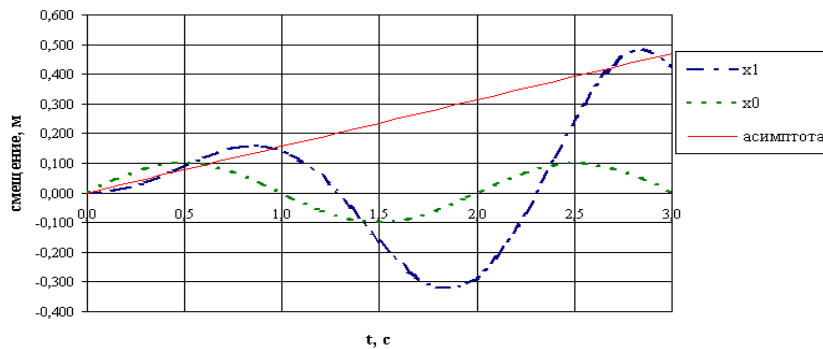


Рис.3 Колебания здания при резонансе без гасителя

Колебания совершаются при воздействии внешних колебаниях амплитудой  $x_0 = 0,1$  м при частоте, равной собственной частоте колебаний здания. Результаты расчета подтверждаются возрастанием амплитуды по известной теоретической асимптоте.

На рис.4 приведены результаты расчета при наличии гасителя и значении параметра  $m = 0,5$ . Из анализа графиков следует, что амплитуда колебаний здания при использовании гасителя по сравнению с резонансом уменьшается в  $\sim 3$  раза, а колебания передаются на гаситель.

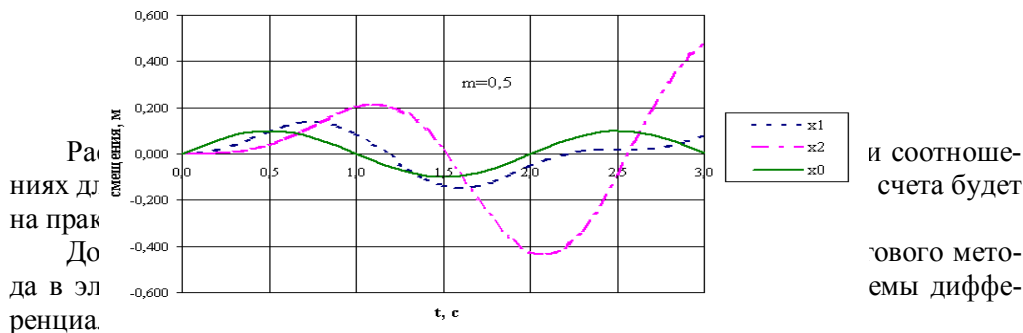


Рис.4 Колебания системы с гасителем

1. Повышение сейсмостойкости зданий и сооружений можно обеспечить как усилением конструкции, так и применением мер сейсмоизоляции.
2. В качестве варианта сейсмоизоляции предложено решение с подвеской здания на жестких тягах с использованием механического гасителя колебаний.
3. Приведен пример расчета параметров колебаний здания дискретно-шаговым методом с использованием программы Excel.
4. Результаты расчета предложенной модели проверены на частных случаях, описанных в теоретической литературе [4].

5. Применение гасителя колебаний позволяет существенно снизить амплитуду колебаний зданий даже в случае резонанса.

Л и т е р а т у р а

1. Сейсмостойкое строительство зданий. Под ред. И.Л. Корчинского – М., «Высшая школа», 1971. – 32 с.
2. Пеньковский Г.Ф., Севастьянов В.В. К расчету сейсмостойкого здания на жесткой подвеске// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – №1. – 2012. – С.58-61.
3. Справочник по динамике сооружений. Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1972. – 511 с.
4. Яблонский А.А., Нореико С.С. Курс теории колебаний. – СПб: Изд-во «Лань», 2003. – 256 с.
5. Пеньковский Г.Ф., Сахаров И.И., Ершов А.В. Сейсмостойкое здание. Патент на изобретение, №2383704 от 10.03.2010 г.
6. Shirai, K., Sano, T., Suzui, Y., Kageyama M., Kikuchi, M. Development of friction damper with displacement dependent variable damping force characteristics// *AIJ Journal of Technology and Design*. – 18 (38). – 2012. – P. 85-90.
7. Paganoni, S., D'Ayala, D. Experimental and computational validation of dissipative prototype for the seismic protection of heritage buildings// *Advanced Materials Research*. – 133-134. – 2010. – P. 831-836.
8. Li, B., Fu, H., Xiang, W. The computational analysis and evaluation on the seismic response of base isolated benchmark building// *Applied Mechanics and Materials*. – 204-208. – 2012. – P. 2387-2393.

R e f e r e n c e s

1. *Seismostoykoe Stroitelstvo Zdaniy* (1971), Red. I.L. Korchinskiy, M.: Visshaya shkola, 32 p.
2. Penkovskiy, G.F., Sevastyanov, V.V. (2012). On analysis of a seismic resistance building with rigid hanging, *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, №1, pp. 58-61.
3. *The Reference Book on Dynamic of Buildings* (1972). Adopted by B.G. Korenev, I.M. Rabino-vitch, Moscow: Stroyizdat, 511 p.
4. Yablonskiy, A.A., Noreyko S.S. (2003). *Course of Theory of Vibrations*, SPb: "Lan", 256 p.
5. Penkovskiy, G.F., Saharov, I.I., Ershov, A.V. (2010). *Seismostoykoe zdanie, Patent of RF*, № 2383704, March 10, 2010.
6. Shirai, K., Sano, T., Suzui, Y., Kageyama M., Kikuchi, M. (2012). Development of friction damper with displacement dependent variable damping force characteristics, *AIJ Journal of Technology and Design*, **18** (38), 85-90.
7. Paganoni, S., D'Ayala, D. (2010). Experimental and computational validation of dissipative prototype for the seismic protection of heritage buildings, *Advanced Materials Research*, 133-134, 831-836.
8. Li, B., Fu, H., Xiang, W. (2012). The computational analysis and evaluation on the seismic response of base isolated benchmark building, *Applied Mechanics and Materials*, 204-208, pp. 2387-2393.

**THE SEISMIC ISOLATION OF A BUILDING WITH DYNAMIC DAMPING OF VIBRATIONS**

Penkovskiy G.F., Sevastyanov V.V.

*Sankt-Peterburgskiy gosudarstvenniy arhitekturno- stroitelniy universitet, SPb*

The issues of seismic stability increase for the buildings and constructions implementing seismic insulation are investigated.

KEY WORDS: aseismic building, seismic stability, damping.