

## РАСЧЕТ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С СИСТЕМОЙ АКТИВНОЙ СЕЙСМОЗАЩИТЫ

Марчук Н.И., Прасоленко Е.В.

*Инженерно-строительный институт Сибирского  
федерального университета*

Проектирование зданий и сооружений, предназначенных для строительства в сейсмических районах, ставят перед инженерами такие задачи, как обеспечение сохранности зданий и конструкций, возможности контроля прочности, жесткости и основных динамических характеристик конструкций зданий.

Использование систем пассивного и активного управления можно рассматривать как одно из решений вышеуказанных проблем.

Активные системы управления состоят из объекта управления (здания или сооружения) и управляющего модуля, связанного с компьютером и включающего в себя различные механизмы воздействия, например, в виде настраиваемых массовых, гидравлических, вязкозных демпферов, амортизаторов, импульсных толкателей и др.

Для динамической системы с  $n$  степенями свободы уравнение движения в матричной форме можно представить в виде:

$$M \cdot \ddot{y}(t) + C \cdot \dot{y}(t) + K \cdot y(t) = -m \cdot \ddot{y}_0(t) + H \cdot u(t), \quad (1)$$

где  $M, C, K$  - соответственно, диагональная матрица масс, демпфирования и жесткости размером  $(n \times n)$ ;  $y(t)$  -  $n$ -мерный вектор перемещения масс системы относительно основания;  $H$  -  $n$ -мерный вектор, указывающий точки приложения управляющих воздействий;  $m$  -  $n$ -мерный вектор масс сооружения, включая массу демпфера;  $\ddot{y}_0(t)$  - вектор ускорений основания здания;  $u(t)$  -  $n$ -мерный вектор управляющих воздействий.

Выбор соответствующих управляющих воздействий зависит от конкретного качества динамической системы, характеризуемого интегральной оценкой, включающей в себя переменные состояния и управляющие воздействия. Оптимальным считается такое управление, при котором минимизируется интеграл качества. При этом управляющее воздействие  $u(t)$  может быть определено с использованием различных алгоритмов активного управления.

Для замкнутой системы управления по линейному закону, управляющее воздействие на здание может быть представлено уравнением вида:

$$u(t) = G \cdot x(t), \quad (2)$$

где  $G$  - матрица неизвестных коэффициентов обратных связей размером  $n \times 2n$ , которые можно определить из условия обеспечения минимума оценки качества системы, представленной функционалом

$$J = \int_0^{t_f} [(x^T \cdot Q \cdot x) + u^T \cdot r \cdot u] \cdot dt, \quad (3)$$

Здесь  $x = [y, \dot{y}]^T$  - вектор состояния системы;  $Q$  - матрица весовых коэффициентов размером  $(2n \times 2n)$ , используется для оценки эффекта влияния динамической реакции конструкции на меру качества управления;

$r$  - весовой скалярный множитель управляющего воздействия;

Оценка имеет минимальное значение, если, например, матрицу обратной связи представить в виде

$$G = R^{-1} B^T \cdot P, \quad (4)$$

где  $P$  - решение матричного уравнения Риккати.

$$A^T \cdot P + P \cdot A - P \cdot B \cdot R^{-1} B^T P + Q = 0, \quad (5)$$

Для его решения можно использовать, например, систему MATLAB.

В качестве примера было рассмотрено реальное трехэтажное здание, расчетная схема которого принималась в виде консольного стержня с тремя сосредоточенными массами. Высота этажа  $h = 8,25$  м,  $A = 8,45$  м<sup>2</sup>,  $J = 5,9522$  м<sup>4</sup>,  $m_1 = m_2 = 802,4$  т;  $m_3 = 730,5$  т. Материал - бетон  $E = 3,25 \cdot 10^4$  Мпа,  $\mu = 0,2$ .

Расчет на сейсмические воздействия выполнялся по программному комплексу ANSYS на горизонтальное воздействие акселерограммы Спитакского землетрясения (оцифрована 411 парами точек время – ускорение; для расчета использовался самый интенсивный отрезок этой акселерограммы продолжительностью 5 сек). При расчете учитывалось затухание по методу Релея.

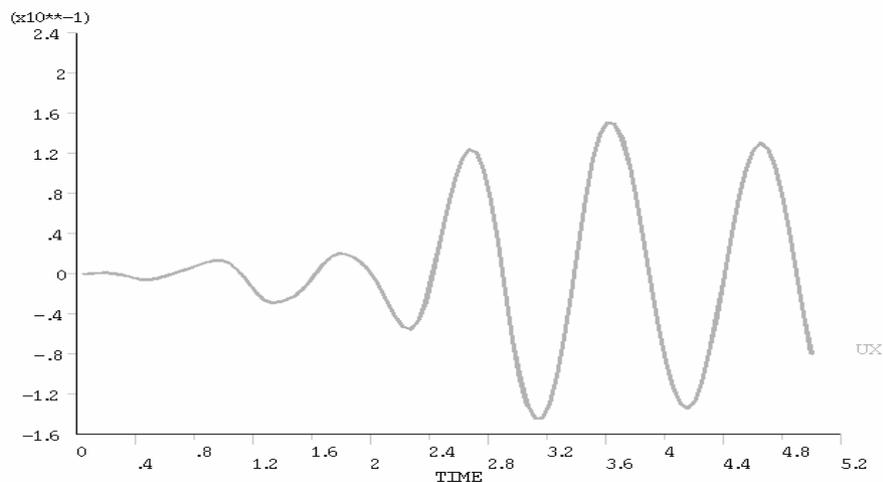


Рис. 1. Перемещение верхней точки консольного стержня (м) при действии акселерограммы Спитакского землетрясения.

Для управления колебаниями и динамической реакцией здания от горизонтального воздействия акселерограммы используем активный инерционный массовый демпфер, расположенный на верхнем этаже здания.

Используя систему MATLAB, выполнено компьютерное моделирование алгоритма активного управления сейсмической реакцией модели 3-х этажного здания в виде линейно-квадратичного регулятора.

В результате выполненного управления при приложении управляющего воздействия в верхнем этаже здания величина динамической реакции (величина максимального горизонтального перемещения) уменьшилась более чем в 2,5 раза.