

Расчет конструкций на действие сейсмических сил и оценка их сейсмостойкости

К РАСЧЕТУ СЕЙСМОСТОЙКОГО ЗДАНИЯ НА ЖЕСТКОЙ ПОДВЕСКЕ

Г.Ф. ПЕНЬКОВСКИЙ, *д-р техн. наук, профессор,*

В.В. СЕВАСТЬЯНОВ, *к.т.н., доцент*

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4

В статье изложена методика расчета сейсмоизоляции здания на жесткой подвеске. Использован прямой численный метод с дискретно-шаговой реализацией в электронных таблицах Excel.

Ключевые слова: сейсмоизоляция здания, жесткая подвеска, Excel.

Сложившиеся к настоящему времени принципы проектирования сейсмостойких зданий предполагают обеспечить прочность несущих конструкций зданий при действии инерционных сил, обусловленных смещением основания. Расчетная схема здания представляется в виде вертикального стержня с сосредоточенными массами на уровнях этажей. Главным возмущающим фактором считается горизонтальное смещение основания в месте заделки стержня. Расчет определяют усилия и перемещения в конструкциях в зависимости от формы и частоты собственных колебаний в расчетной схеме. При этом остается неясным, как получить максимальные усилия и перемещения в сечениях, поскольку возмущение от каждой формы колебаний приходит в каждую точку конструкции в разное время. Таким образом, расчет с определением форм и частот в значительной мере теряет смысл [1,2].

В последние годы в сейсмостойком строительстве получили развитие конструктивные меры, направленные на уменьшение связи с основанием [3] – здания с гибкими нижним этажом, здания на песчаной и «скользящей» подушке, здания с подвесными этажами. Идея сейсмоизоляции заложена также в предложениях автора [4,5]. Здание располагается на плите, подвешенной на жестких стальных тросах к опорам, передающим вес здания на грунт основания через внешний фундамент (рис.1).

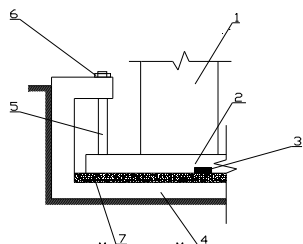


Рис.1 Фундамент сейсмостойкого здания. 1- здание; 2- плита; 3- датчик давления (мессдоза); 4- внешний фундамент; 5- тросы жесткой подвески; 6- гайки регулировки давления; 7- песчаный слой

внешний фундамент (рис.1).

В предложении [5] тросы снабжены гайками, позволяющими регулировать давление под плитой внутреннего фундамента с контролем мессдозой.

Максимальная горизонтальная сила, действующая на здание, не превысит силу трения по подошве внутреннего фундамента

$$P_t = kmg, \quad (1)$$

где k - коэффициент, учитывающий трение плиты по песчаному слою и снижение веса здания за счет передачи его на внешний фундамент регулировкой гаек на штангах подвески. При полной подвеске зданий $k = 0$.

При $k = 0$ здание получает колебания по маятниковой схеме для системы с одной степенью свободы, поскольку при подвеске все части здания получают одинаковые параметры движения. Для исключения возможного резонанса силу трения P_t целесообразно сохранить ($k > 0$) при регулировке давления, но свести к минимуму, обеспеченному прочностью здания.

На рис. 2 приведена схема сил, действующих на здание при горизонтальных смещениях фундамента. Силой, вызывающей движение массы m является тангенциальная составляющая проекции веса здания

$$G_t = mg \sin \alpha . \quad (2)$$

С учетом вынужденного смещения основания s_0

$$\sin \alpha = \frac{s - s_0}{l} , \quad (3)$$

где s - отклонение массы m от положения равновесия.

При неподвижном основании здание поднимается на высоту Δh , что и становится движущей силой маятника. Если сила трения $P_{тр}$ меньше тангенциальной составляющей G_t , то масса здания m получает движение по маятниковой схеме. Уравнение движения массы в данном случае имеет вид:

$$G_t - m\ddot{s} - P_t = 0 , \quad (4)$$

при этом сила сухого трения P_t всегда направлена против смещения массы относительно основания.

Из уравнения движения (4) находим ускорение \ddot{s} , скорость \dot{s} , и смещение s массы здания. При $k = 0$ ($P_{тр} = 0$) уравнение (4) получает вид:

$$g \frac{s_0 - s}{l} - \ddot{s} = 0 . \quad (5)$$

Радиальная составляющая G_r является центростремительной силой при движении массы вокруг точки подвеса:

$$G_r = \frac{(\dot{s})^2}{l} m , \text{ где } \dot{s} - \text{ окружная скорость движения массы.}$$

Решение уравнения (5) для гармонических колебаний имеет вид:

$$s = \frac{\dot{s}(t=0)}{\omega} \sin \omega t + s(t=0) \cos \omega t , \quad (6)$$

$$\omega = \sqrt{g/l} , \quad (7)$$

где ω - круговая частота колебаний маятника. Частота колебаний в герцах:

$$f = \omega / (2\pi) . \quad (8)$$

$$\text{Период собственных колебаний массы } T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} . \quad (9)$$

При наличии сухого трения в системе ($k > 0$) частота и период собственных колебаний не меняются, амплитуды колебаний уменьшаются во времени по логарифмическому закону.

Решение уравнения (4) для общего случая получить не представляется возможным, так как сейсмограмма вынужденных колебаний оснований $s_0(t)$ имеет стохастический характер. Она представляет собой последовательность импульсов смещения основания различной величины и продолжительности, где трудно выявить частоту колебаний. Но если есть сейсмограмма, типовая для заданного сейсмического района, то решение задачи можно получить прямым численным методом с дискретно-шаговой реализацией во времени. Метод на-

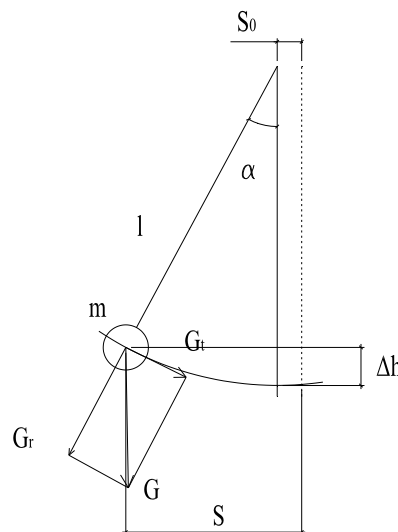


Рис. 2 Схема сил в маятнике.

зывается прямым потому, что параметры движения получаются непосредственно из уравнения движения для отдельных, достаточно малых промежутков времени dt . В работе [3] показано, что точность и устойчивость счета будет достаточной при величине $dt \leq T/6$, то есть промежуток времени dt должен быть не более $1/6$ от периода собственных или вынужденных колебаний системы.

Для проектирования сейсмостойкого здания на жесткой подвеске необходимо иметь типовую сейсмограмму для участка строительства, определить вес или массу здания, назначить длину тяги подвески и определить зазор между плитой и стенками внешнего фундамента, обеспечивающий безударное колебание плиты $\max(s_0 - s)$.

Ниже приведен алгоритм пошагового расчета для определения указанных параметров (рис.3):

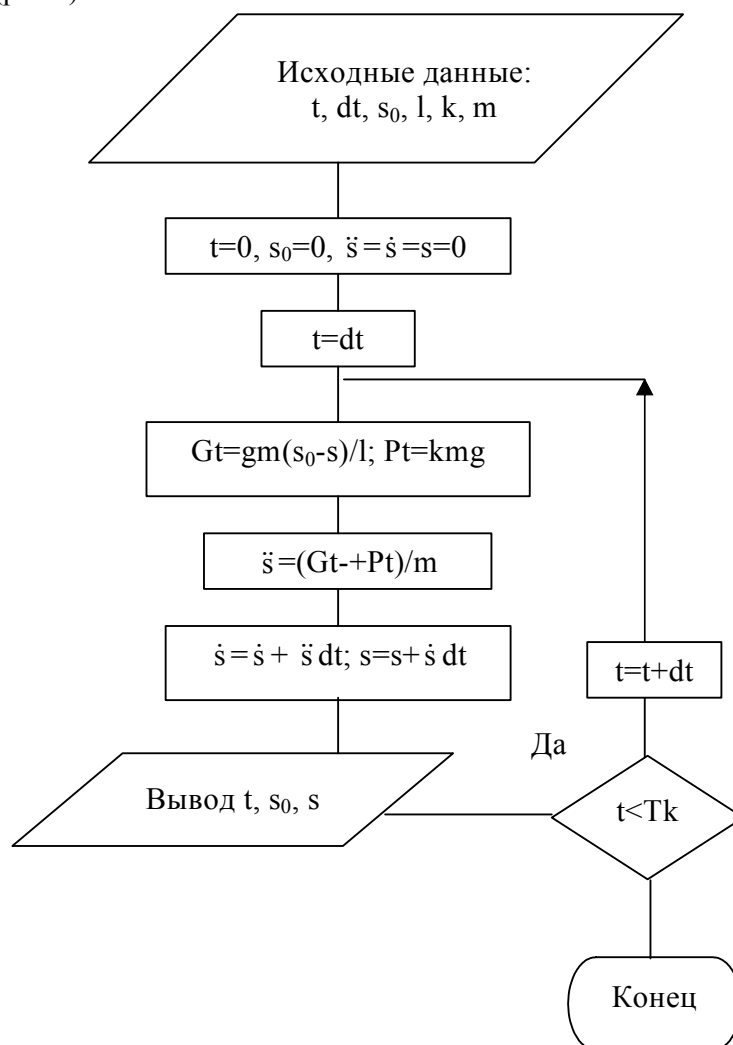
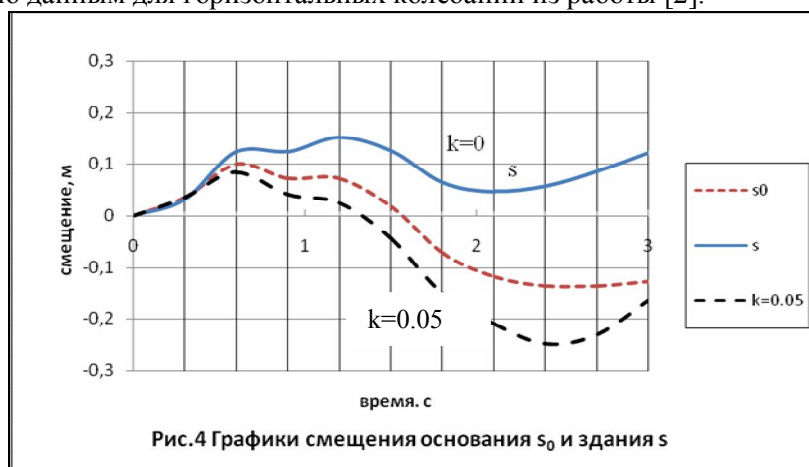


Рис.3. Алгоритм пошагового расчета параметров движения здания в маятниковой схеме

Расчеты по приведенному алгоритму удобно производить, используя программу Excel. Для расчета достаточно ввести исходные данные и заполнить одну строку с формулами. Далее расчет выполняется автоматически для всего заданного промежутка времени t . График строится с применением мастера диаграмм.

Для проверки работоспособности алгоритма в электронной таблице был построен график свободных колебаний массы с длиной штанги $l = 1$ м, $T = 2$ сек, $dt = 0,3$ сек, $k = 0$. Импульс смещения основания $s_0 = 0,1$ м длительностью 0,3 сек. График имеет вид синусоиды с амплитудой 0,1 м и периодом колебаний 2 сек. На рис. 4 приведены графики движения массы для сейсмограммы $s_0(t)$, построенной по данным для горизонтальных колебаний из работы [2].



Выводы:

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 регулировкой давления на основание, обеспечивающее снижение горизонтальных инерционных сил при землетрясении до заданной и контролируемой величины не более силы трения по подошве фундамента.
3. Изложен прямой численный метод расчета параметров движения здания, необходимых для проектирования предложенной схемы сейсмоизоляции.
4. Приведен пример расчета параметров колебаний здания с использованием программы Excel.

Л и т е р а т у р а

1. Киселев В.А. Строительная механика. Специальный курс – М.: Стройиздат, 1980. – 626 с.
2. Сейсмостойкое строительство зданий. Под ред. И.Л. Корчинского – М.: Высшая школа, 1971. – 32 с.
3. Сеницын А.П., Пеньковский Г.Ф. Управление напряженным состоянием балки на упругом основании при вынужденных динамических деформациях основания. // Строительная механика и расчет сооружений. – №1. – 1977. – С. 47–50.
4. Пеньковский Г.Ф. Дом на качелях// Изобретатель и рационализатор. – № 7. – 1972. – С. 35 (А.с. №326338 от 19.01.1972)
5. Пеньковский Г.Ф. Сейсмостойкое здание. – Патент на изобретение №2383704 от 10.03.2010.

ON CALCULATION OF SEISMIC-FIRM BUILDING ON HARD SUSPEND

G.F. Penkovskiy, V.V. Sevastianov

The paper contains a method of calculation of seismic isolation for building on hard suspend. The straight numeral method with discrete and step realization by electronic table Excel was used.

KEY WORDS: seismic isolation of building, hard suspend, Excel.