УДК 624.04

ОДНА ИЗ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПО ЗАДАННОЙ АКСЕЛЕРОГРАММЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Егупов К.В., *к.т.н, доц***., Зюкин Ю.П.**, *к.т.н., проф***., Бондаренко А.С.**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина

Наряду со спектральным методом расчета зданий и сооружений на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмических воздействий (см. ДБН В.1.1-12:2006 «Строительство в сейсмических районах Украины») производится обязательный расчет, для некоторых типов сооружений [1], основанный на использовании имеющихся записей ускорений грунта при землетрясениях, а также синтезированных акселерограмм.

Представляет интерес разработка метода определения величины сейсмической нагрузки при ускорении грунта, которое задано в виде акселерограммы землетрясения.

Рассмотрим расчетную схему сооружения в виде невесомой консоли с точечной массой на конце при действии сейсмической нагрузки (рис. 1).

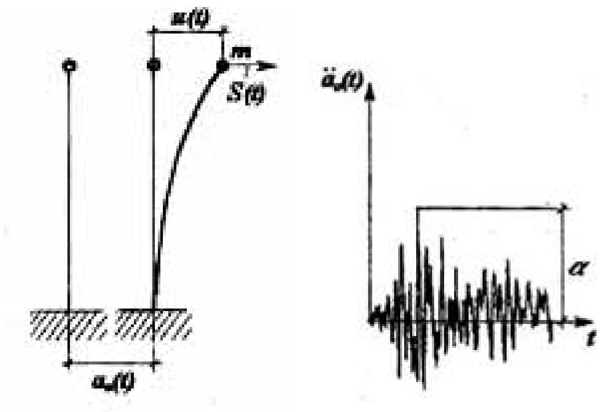

Рис. 1. Расчетная схема сооружения в виде невесомой консоли при действии сейсмической нагрузки (определяемой акселерограммой).

Аналогичная расчетная схема часто используется для динамического расчета различного типа сооружений (водонапорные башни, одноэтажные рамы и др.). В нашем случае расчетная схема при поперечных колебаниях является линейно-деформируемой системой с одной степенью свободы. Выражение для изменяющейся во времени инерционной силы (сейсмической нагрузки), действующей на консоль, определяется по формуле [2]:

$$S(t) = m\alpha \cdot \beta(t) \qquad (1)$$

где

$$\beta(t) = -\omega\int_0^t f(\tau)\cdot e^{-\xi\omega(t-\tau)}\sin\omega(t-\tau)d\tau$$

$$f(t) = \ddot{a}(t)/\alpha$$

$f(t)$

$\beta(t)$

$f(t)$

$f(t)$

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{K=1}^{K}(a_k \cos kt + b_k \sin kt)$$

$a_o,\ a_k,\ b_k$

$\beta(t)$

$$\overline{\beta}(t) = \int_0^t f(\tau)\cdot e^{-\xi\omega(t-\tau)}\cdot\sin\omega(t-\omega)\cdot d\tau =$$

$$= \int_0^t f(\tau)\cdot e^{-\xi\omega t}\cdot e^{\xi\omega\tau}\cdot[\sin\omega t\cdot\cos\omega\tau - \cos\omega t\cdot\sin\omega\tau]\cdot d\tau =$$

$$= e^{-\xi\omega t}\cdot\sin\omega t\cdot\int_0^t f(\tau)\cdot e^{\xi\omega\tau}\cdot\cos\omega\tau\cdot d\tau - e^{-\xi\omega t}\cdot\cos\omega t x$$

$$x\int_0^t f(\tau)\cdot e^{\xi\omega\tau}\cdot\sin\omega\tau\cdot d\tau$$

$\beta(t)$

$$\overline{\beta}(t)=\varphi_1(t)\cdot \mathrm{I}_1(t)-\varphi_2(t)\cdot \mathrm{I}_2(t) \tag{5}$$

где

$$\begin{aligned}\mathrm{I}_1(t)&=\frac{a_0}{2}\left[A_2(t)-\frac{\varsigma\omega}{\varsigma^2\omega^2+\omega^2}\right]+\\&+\sum_{K=1}^{K}a_k\left\{\frac{\omega^2-k^2}{\omega^2}\left[\frac{1}{\omega}m_1(t)-\frac{\varsigma\omega}{\omega}\overline{A}_3(t)-\frac{k}{\omega^2\overline{m}_1(t)}+\frac{\varsigma\omega k}{\omega^2}A_3(t)\right]\Bigg|_0^t\right\}+\\&+b_k\left\{A_3(t)\Big|_0^t\right\}\end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}\mathrm{I}_2(t)&=\frac{a_0}{2}\left[A_1(t)+\frac{\omega}{\varsigma^2\omega^2+\omega^2}\right]+\\&+\sum_{K=1}^{K}a_k\left\{\frac{\omega^2-k^2}{\omega^2}\left[\frac{1}{\omega}m_1(t)-\frac{\varsigma\omega}{\omega}\overline{A}_3(t)-\frac{k}{\omega^2\overline{m}_1(t)}+\frac{\varsigma\omega k}{\omega^2}A_3(t)\right]\Bigg|_0^t\right\}+\\&+b_k\left\{A_3(t)\Big|_0^t\right\}\end{aligned} \tag{7}$$

При построении зависимостей (6) и (7) были использованы известные интегралы [2], а также интегралы, полученные интегрированием по частям, а именно:

$$\begin{aligned}&\int e^{\varsigma\omega t}\cos kt\cdot\cos\omega t=\\&=\frac{\omega^2-k^2}{\omega^2}\cdot\left[M_1(t)-\frac{\varsigma\omega}{\omega}\cdot\overline{A}_3(t)-\frac{k}{\omega^2}\cdot\overline{M}_1(t)+\frac{\varsigma\omega k}{\omega^2}\cdot A_3(t)\right.\end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}&\int e^{\varsigma\omega t}\sin kt\cdot\sin\omega t\cdot dt=\\&=\frac{\omega^2+k^2}{\omega^2}\cdot\left[-\frac{1}{\omega}\cdot\overline{M}_1(t)+\frac{\varsigma\omega}{\omega}\cdot A_3(t)+\frac{k}{\omega^2}\cdot M_1(t)-\frac{\varsigma\omega k}{\omega^2}\cdot\overline{A}_3(t)\right]\end{aligned} \tag{9}$$

где

$$A_1(t)=\int e^{\varsigma\omega t}\cdot\sin kt\cdot dt=\frac{e^{\varsigma\omega t}\cdot(\varsigma\omega\cdot\sin kt-k\cdot\cos kt)}{\varsigma^2\omega^2+k^2} \tag{10}$$

$$A_2(t)=\int e^{\varsigma\omega t}\cdot\cos kt\cdot dt=\frac{e^{\varsigma\omega t}\cdot(\varsigma\omega\cdot\cos kt+k\cdot\sin kt)}{\varsigma^2\omega^2+k^2} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}A_3(t)&=\int e^{\varsigma\omega t}\cdot\sin kt\cdot\cos\omega t\cdot dt=\frac{\varsigma\omega\cdot e^{\varsigma\omega t}}{2}\cdot\left[\frac{\sin(k+\omega)t}{\varsigma^2\omega^2+(k+\omega)^2}+\frac{\sin(k-\omega)t}{\varsigma^2\omega^2+(k-\omega)^2}\right]-\\&-\frac{e^{\varsigma\omega t}}{2}\cdot\left[\frac{(k+\omega)\cdot\cos(k+\omega)t}{\varsigma^2\omega^2+(k+\omega)^2}+\frac{(k-\omega)\cdot\cos(k-\omega)t}{\varsigma^2\omega^2+(k-\omega)^2}\right]\end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned}\overline{A}_3(t)&=\int e^{\varsigma\omega t}\cdot\sin\omega t\cdot\cos kt\cdot dt=\frac{\varsigma\omega\cdot e^{\varsigma\omega t}}{2}\cdot\left[\frac{\sin(\omega+k)t}{\varsigma^2\omega^2+(\omega+k)^2}+\frac{\sin(\omega-k)t}{\varsigma^2\omega^2+(\omega-k)^2}\right]-\\&-\frac{e^{\varsigma\omega t}}{2}\cdot\left[\frac{(\omega+k)\cdot\cos(\omega+k)t}{\varsigma^2\omega^2+(\omega+k)^2}+\frac{(\omega-k)\cdot\cos(\omega-k)t}{\varsigma^2\omega^2+(\omega-k)^2}\right]\end{aligned} \tag{13}$$

$$M_1(t)=\mathrm{e}^{\varsigma\omega\mathrm{t}}\cdot\cos kt\cdot\sin qt\ , \tag{14}$$

$$\overline{M}_1(t)=\mathrm{e}^{\varsigma\omega\mathrm{t}}\cdot\cos\omega t\cdot\sin pt\ . \tag{15}$$

$A_1(t),\ A_2(t),\ A_3(t),\ \overline{A}_3(t)$

Функции представляют собой комбинации элементарных функций и могут быть легко вычислены.

Значения $\beta(t)$ позволяют получить величину сейсмической нагрузки в любой момент времени при колебательных движениях всей консоли.

Вопрос о выборе количества слагаемых в выражении (3), т.е. значение К, выбиралось путем численного эксперимента по критерию инженерной точности вычислений. Используя стандартные методы математической статистики было получено К=3, что вполне достаточно для инженерных расчетов.

Результаты по предложенной методике сравнивались с результатами расчета одномассовой системы с одной степенью свободы (рис. 2) в программном комплексе Scad на сейсмическое воздействие (метод конечных элементов).

Величина сейсмической силы, посчитанная с использованием программного комплекса Scad (S = -3.99т) и по формуле (5) (S = -3.99т) совпадает.

Вывод. Таким образом, предложенная методика является аналитическим способом определения величины сейсмической нагрузки при расчете одномассовой системы с одной степенью свободы на акселерограммы землетрясений.

Рис. 2. Расчетная схема сооружения в виде невесомой консоли

SUMMARY

The definition technique is offered by analytical way of size of seismic loading at calculation of one-mass system with one degree of freedom on set акселерограмму earthquakes.

ЛИТЕРАТУРА

1. Константинов И.А., Лалин В.В., Лалина И.И. Динамика сооружений. Применение программы SCAD для решения задач динамики сооружений. Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 92 с.

2. Смолянский М.Л.. Таблицы неопределенных интегралов. 2-е изд., испр. – М.: Гос. изд. физ-мат. лит., 1963. – 112с.