

1. Петриян Г. Л., Анохин В. М., Симонян А. О. Расчет на прочность титановых трубчатых фильтров // Порошковая металлургия.—1984.—№ 7.—С. 57—60.
2. Петросян Г. Л. О критерии прочности пористых материалов // Докл. АН АрмССР—1983.—Т. 77, № 2.—С. 73—76.
3. Тучинский Л. И., Скорород В. В. Условие пластичности пористых тел // Порошковая металлургия.—1978.—№ 11.—С. 83—87.
4. Большой М. Ю. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна.—М.: Металлургия, 1972.—535 с.
5. Расчеты на прочность в машиностроении/ С. Д. Пономарев, В. Л. Бидерман, К. К. Ляхарев и др.—М.: Машгиз, 1956.—881 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. ХLI, № 2, 1988

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Р. О. СААКЯН, Э. С. САРКИСЯН

ИЗГИБНО-КРУТИЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЗДАНИЙ СТВОЛЬНОЙ  
 КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ  
 СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Настоящая работа посвящена разработке методики расчета многоэтажных зданий ствольной конструктивной системы (рис. 1) при сейсмических воздействиях с учетом изгибно-крутильных колебаний, когда основание совершает движение по заданной акселерограмме реальных землетрясений.

В расчетах принимается, что плиты перекрытий являются недеформируемыми, а масса здания равномерно распределена по высоте и по плану здания. Ядро жесткости принимается как цельный консольный бурс, жестко заделанный в основание. Контур сечения ядра считается недеформируемым. В расчетах сдвиговыми деформациями ядра жесткости и податливостью основания пренебрегают.

При составлении уравнений сейсмических колебаний системы принята гипотеза фойгта в ее эквивалентной форме, т. е. компоненты силы внутреннего трения, соответствующие поперечным и крутильным колебаниям, принимаются в виде:

$$F_{\text{тр } y}^{\text{изг.}} = -EI_x \frac{\gamma_{\text{изг.}}}{\omega} \frac{d^2 y}{dz^2 dt}; \quad (1)$$

$$F_{\text{тр}}^{\text{кр.}} = -GI_x \frac{\gamma_{\text{кр.}}}{\omega} \frac{d^2 \theta}{dz^2 dt}. \quad (2)$$

Проведенные вибрационные испытания натуральных 9-, 12-, 16-этажных зданий ствольной конструктивной системы, возводимых методом подъема в г. Ереване [1], показали, что логарифмические декременты затуханий при малых изгибных и крутильных колебаниях практи-

чески имеют одинаковые значения, поэтому в дальнейшем в расчетах принимается, что

$$\gamma_{xy} = \gamma_{yx} = \gamma.$$

В работе рассматривается случай, когда эксцентриситет находится на одной из осей симметрии поперечного сечения. При этом принимается, что ось симметрии проходит через центры жесткости и масс (рис. 1). Дифференциальные уравнения совместных изгибно-крутильных колебаний ствольной конструктивной системы при сейсмических воздействиях будут иметь следующий вид:

$$\begin{cases} EI_x \frac{\partial^4 y}{\partial z^4} + EI_x \frac{\gamma}{\omega} \frac{\partial^4 y}{\partial z^2 \partial t^2} + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - ma \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = -mY_0 \\ GI_d \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + GI_d \frac{\gamma}{\omega} \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2 \partial t^2} + ma \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - mr^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = -maY_0 \end{cases} \quad (3)$$

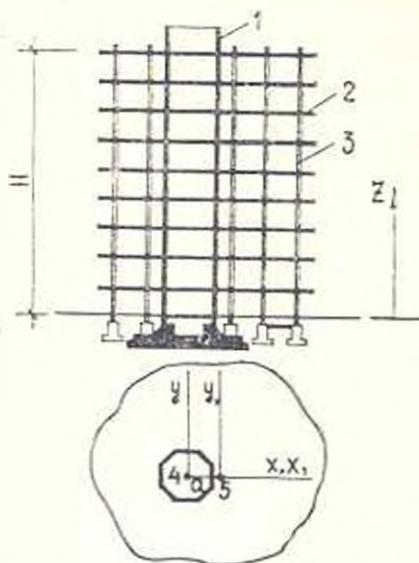


Рис. 1. Конструктивная схема многоэтажного здания ствольной системы: 1 — ядро жесткости; 2 — плита перекрытия; 3 — колонна; 4 — центр жесткости; 5 — центр масс.

где  $y$  — перемещение центра жесткости ядра в направлении оси  $oy$ ;  $\theta$  — угол поворота сечений ядра жесткости;  $E, G$  — начальные модули упругости и сдвига материала ядра;  $I_x$  — момент инерции сечения ядра относительно оси  $ox$  (рис. 1);  $m$  — погонная масса здания;  $a$  — проекция радиуса-вектора, соединяющего центр жесткости и центр массы;  $\omega$  — собственная круговая изгибно-крутильная частота системы;  $I_d$  — крутильный момент инерции системы;  $r$  — радиус инерции плана здания;  $Y_0$  — ускорение поступательного движения основания здания.

Величина  $r$  определяется из выражения:

$$r^2 = \frac{I_{x,0} + I_{y,0}}{F_n} + a^2, \quad (4)$$

где  $I_{x,0}, I_{y,0}$  — соответственно моменты инерций плана здания относительно главных осей, проходящих через центр масс и параллельных осям  $ox$  и  $oy$  (рис. 1);  $F_n$  — площадь плана здания. Решение системы уравнений (3) представим в виде:

$$y(z, t) = \sum_{i=1}^n Y_i(z) T_i(t); \quad \theta(z, t) = \sum_{i=1}^n \theta_i(z) T_i(t). \quad (5)$$

где  $Y_k(z)$ ,  $\theta_k(z)$  — ординаты форм  $k$ -го тона собственных изгибно-крутильных колебаний системы, определяемые из решений однородной части системы уравнений (3);  $T_k(r)$  — нормальная координата  $k$ -го тона собственных колебаний, подлежащая определению.

Начальные условия задачи принимаются нулевыми:

$$y(z, 0) = \dot{y}(z, 0) = 0; \quad \theta(z, 0) = \dot{\theta}(z, 0) = 0. \quad (6)$$

Подставляя (5) в систему уравнений (3), получим:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^n \left( EI_x Y_k^{IV} T_k + EI_x \frac{1}{\omega_k^2} Y_k^{IV} T_k + m Y_k T_k - m a \theta_k T_k \right) = -m Y_0 \\ \sum_{k=1}^n \left( GI_d \theta_k T_k + GI_d \frac{1}{\omega_k^2} \theta_k T_k + m a Y_k T_k - m r^2 \theta_k T_k \right) = -m a Y_0 \end{cases} \quad (7)$$

Применяя метод разделения переменных и предполагая, что система совершает колебания одной из нормальных форм, из решения однородной части системы уравнений (3) для  $k$ -й формы собственных изгибно-крутильных колебаний получим:

$$\begin{cases} EI_x Y_k^{IV} - m \omega_k^2 (Y_k - a \theta_k) = 0 \\ GI_d \theta_k^{IV} - m \omega_k^2 (a Y_k - r^2 \theta_k) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

С учетом значений  $Y_k^{IV}$  и  $\theta_k^{IV}$ , полученных из (8), система уравнений (7) примет следующий вид:

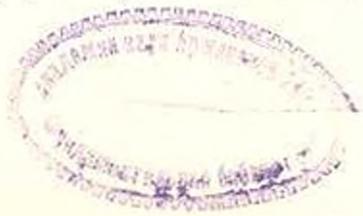
$$\begin{cases} \sum_{k=1}^n (Y_k - a \theta_k) (T_k + \gamma \omega_k T_k + \omega_k^2 T_k) = -Y_0 \\ \sum_{k=1}^n (a Y_k - r^2 \theta_k) (T_k + \gamma \omega_k T_k + \omega_k^2 T_k) = -a Y_0 \end{cases} \quad (9)$$

Умножив первое уравнение системы (9)  $V_i$ , второе уравнение на  $\theta_i$ , а затем вычитывая из первого уравнения второе, получим:

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^n [Y_k Y_j - a (\theta_k Y_j - Y_k \theta_j) + r^2 \theta_k \theta_j] \times \\ & \times (T_k + \gamma \omega_k T_k + \omega_k^2 T_k) = - (Y_j - a \theta_j) Y_0. \end{aligned} \quad (10)$$

Интегрируя (10) от 0 до  $n$  по переменной  $z$  и используя условие ортогональности:

$$\begin{aligned} & \int_0^n [Y_k Y_j - a (\theta_k Y_j - Y_k \theta_j) + \\ & + r^2 \theta_k \theta_j] dz = \begin{cases} 0 & \text{при } k \neq j, \\ \int_0^n (Y_k^2 - 2a \theta_k Y_k + r^2 \theta_k^2) dz & \text{при } j = k, \end{cases} \end{aligned}$$



получим:

$$\ddot{T}_k + \gamma \omega_k \dot{T}_k + \omega_k^2 T_k = -D_k Y_0 \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \quad (12)$$

где

$$D_k = \frac{\int_0^H (Y_k - \alpha \Theta_k) dz}{\int_0^H (Y_k^2 - 2\alpha \Theta_k Y_k + r^2 \Theta_k^2) dz}. \quad (13)$$

Выражения (12) представляют собой независимые дифференциальные уравнения для определения нормальных координат  $T_k$ . Не приводя выкладок, непосредственно запишем частные решения этих уравнений, удовлетворяющие нулевым начальным условиям:

$$T_k(t) = -\frac{D_k}{\omega_k} \int_0^t Y_0(\tau) e^{-\frac{\gamma}{2} \omega_k (t-\tau)} \sin \omega_k (t-\tau) d\tau; \quad (k = 1, 2, 3, \dots). \quad (14)$$

Тогда, согласно (5), решение системы дифференциальных уравнений (3) будет иметь вид:

$$y(z, t) = -\sum_{k=1}^n Y_k(z) \frac{D_k}{\omega_k} \int_0^t Y_0(\tau) e^{-\frac{\gamma}{2} \omega_k (t-\tau)} \sin \omega_k (t-\tau) d\tau; \quad (15)$$

$$\theta(z, t) = -\sum_{k=1}^n \Theta_k(z) \frac{D_k}{\omega_k} \int_0^t Y_0(\tau) e^{-\frac{\gamma}{2} \omega_k (t-\tau)} \sin \omega_k (t-\tau) d\tau. \quad (16)$$

Выражения (15), (16) представляют собой решения задачи изгибно-крутильных колебаний многоэтажных зданий рассматриваемой конструкции при сейсмических воздействиях. Они полностью решают поставленную задачу, поскольку позволяют определить все кинематические и силовые факторы изгибно-крутильных колебаний многоэтажных зданий ствольной конструктивной системы.

По разработанной методике составлена программа расчета на ЭВМ ЕС 1022 и выполнены расчеты для 16-этажного здания с ядром жесткости, возводимого методом подъема, при различных акселерограммах реальных 7-балльных землетрясений.

Характеристики использованных акселерограмм землетрясений приведены в [2]. Для каждой акселерограммы землетрясений определялись прогибы ускорения, сейсмические силы, углы поворота сечений, изгибающие и крутящие моменты, перерезывающие силы и другие параметры по высоте ядра жесткости (рис. 2). Анализ полученных результатов показывает, что усилия в ядре жесткости суще-

ственно зависят от величины эксцентриситета. Причем, крутящие моменты по мере увеличения эксцентриситета резко возрастают, а изгибающие моменты, наоборот, несколько уменьшаются.

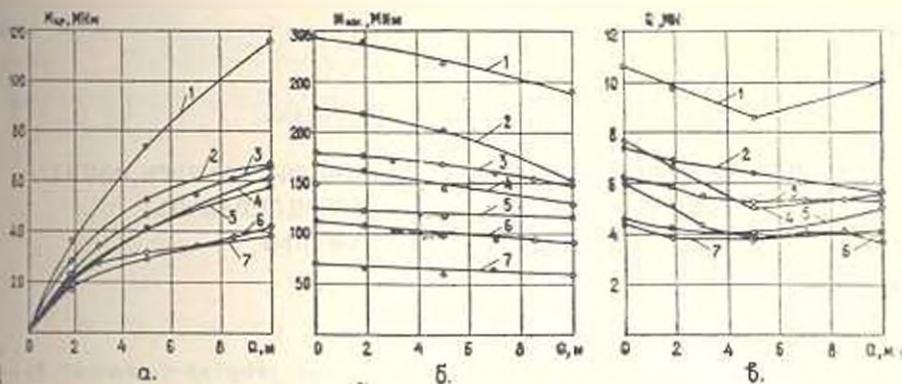


Рис. 2. Изменение крутящего (а), изгибающего (б) моментов и перерезывающей силы (в) в сердечке ядра жесткости 16-этажного здания в зависимости от величины эксцентриситета: 1. Акс. № 28 - 7 - А; 2. Акс. № 9 - 7 - А; 3. Акс. № 36 - 7 - Я; 4. Акс. № 20 - 7 - Я; 5. Акс. № 25 - 7 - Я; 6. Акс. № 16 - 7 - А; 7. Акс. № 42 - 7 - А.

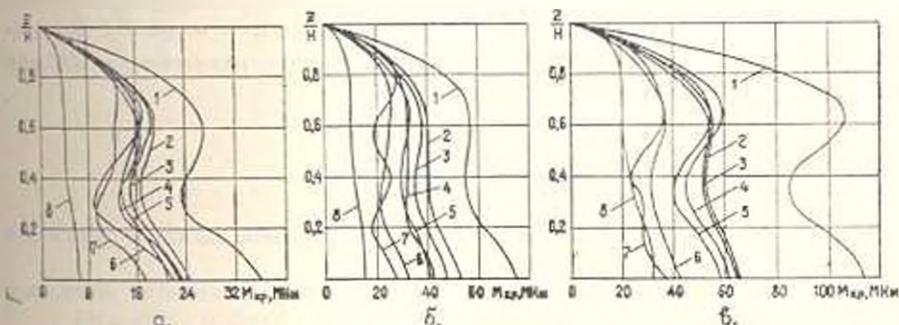


Рис. 3. Изменение крутящего момента по высоте ядра жесткости 16-этажного здания при различных значениях эксцентриситета: а -  $a = 1,85$  м; б -  $a = 5,4$  м; в -  $a = 10$  м. 1. Акс. № 28 - 7 - А; 2. Акс. № 9 - 7 - А; 3. Акс. № 36 - 7 - Я; 4. Акс. № 20 - 7 - Я; 5. Акс. № 25 - 7 - Я; 6. Акс. № 16 - 7 - А; 7. Акс. № 42 - 7 - А; 8. По СНиП П - 7 - 81.

Сопоставление приведенных на рис. 3 данных свидетельствует, что крутящие моменты в ядре жесткости, полученные из расчета здания с учетом изгибно-крутильных смещений в несколько раз превышает аналогичные результаты, вычисленные в соответствии с рекомендациями СНиП П-7-81.

Проведенное исследование показывает, что изменение эксцентриситета существенным образом влияет на параметры напряженно-деформированного состояния многоэтажных зданий с ядрами жесткости.

Использование разработанной методикки позволяет выполнить расчеты многоэтажных зданий ствольной конструктивной системы на сейсмические воздействия с применением ЭВМ.

ВПЭКТІ

7. IX. 1988

Թ. Ն. ՍԱԼԱՀՅԱՆ, Է. Ս. ՍԱՐԿՅԱՆ

ՀԻՄՆԱՆՅՔԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՇԵՆՔԵՐԻ ՍԽՄԱՆ  
ԵՎ ՈՂՈՐՄԱՆ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԸ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԱԿԱՆ  
ԱԶԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԳԵՊՔՈՒՄ

Ս. մ փ ո փ ա ռ մ

Բերվում է կոշտության միջուկով բարձրահարկ շենքերի համատեղ ծրարման և ոլորման տատանումների հաշվարկային մեթոդ Երկրաշարժական ազդեցությունների դեպքում: Կազմված և լուծված է շենքերի երկրաշարժական տատանումների դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգը, որտեղ սերբին ուժերի շփումը հաշվի է առնված ըստ Ֆոյխտի հիպոթեզի: ԷԷՄ-ի վրա կատարված է 16 հարկանի շենքերի հաշվարկներ բնորոշ երկրաշարժերի ակտերուպրամներով:

Հետազոտությունը ցույց է տալիս, որ դանդաղածների և կոշտության կենտրոնների համընկնելիության պայմանի խախտումը կապես ազդում է կոշտության միջուկով բարձրահարկ շենքերի դեֆորմացիոն-լարվածային վիճակի վրա:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Саакян А. О., Саакян Р. О., Шихназарян С. Х. Возведение зданий и сооружений методом подъема.—М.: Стройиздат, 1982.—551 с
2. Назаров А. Г., Дарбинян С. С. Основы количественного определения интенсивности сильных землетрясений—Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1974.—165 с

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XI.1, № 2, 1988

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

В. М. ДОРОФЕЕВ, О. К. ПОГОСЯН

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ  
СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Большое внимание в теории сейсмостойкости уделяется вопросам статистического метода расчета сооружений. В общем случае реальные сейсмические воздействия представляются в виде нестационарных случайных процесса  $Z_k(t)$ . В частности, для представления таких