Известия НАН РА, Науки о Земле, 1998, **LI**, *№1-2, 104-113*

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ

© 1998 г. Э. Е. Хачиян

Институт геологических наук НАН РА
375019 Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения

Поступила в редакцию 19.09.97.

Статья посвящена разработке методики повышения уровня сейсмической безопасности существующих малоэтажных зданий и сооружений, которые не имеют достаточного уровня сейсмобезопасности в связи с изменением карты сейсмического зонирования и требований новых норм по сейсмостойкому строительству.

В большинстве городов сейсмоактивных стран мира имеется значительное количество зданий старой постройки, не имеющих достаточного запаса прочности в случае сильных землетрясений. Эти здания, имеющие отличные архитектурные облики и комфортабельные условия для жильцов или работы (офиса), были запроектированы и возведены 20-30 лет тому назад по старым нормам, в которых уровень сейсмического воздействия предполагался значительно ниже, чем по современным нормам сейсмостойкого строительства. В случае сильных землетрясений в этих зданиях возможны большие повреждения, которые станут причиной гибели людей и потери материальных ценностей. Проблема усиления этих зданий имеет большое социально-экономическое и психолого-нравственное значение. Известно, что во многих странах имеются национальные программы реконструкции и усиления таких зданий.

При усилении существующих зданий главными аспектами проблемы являются временная эвакуация жильцов и сохранение существующего архитектурного облика. Временная эвакуация жильцов – главная проблема при усилении. Она очень болезненна, так как связана с большими материальными затратами, психологической неподготовленностью людей, особенно для многоэтажных зданий, в которых проживает большое количество разных семей. Как показывает опыт многих стран по реконструкции и усилению домов старой постройки, городским властям приходится тратить немало усилий и времени для получения согласия всех жильцов на временную эвакуацию и их размещение в других домах.

Главное преимущество разработанного в данной работе способа заключается в том, что он осуществляется без эвакуации жильцов и без дополнительного усиления несущих элементов конструкций.

Сущность предлагаемого способа в том, что обеспечение сейсмической безопасности существующего здания осуществляется не путем дополнительного увеличения его прочности, как при традиционных способах усиления, а путем изменения его конструктивного решения. При этом добиваются сохранения (не увеличения) того уровня горизонтального сейсмического воздействия на здание при последующих более сильных землетрясениях, на который оно первоначально было запроектировано.

В предлагаемом способе повышения уровня сейсмической безопасности изменение конструктивного решения здания осуществляется путем жесткого соединения верха здания со специально построенным вне здания вспомогательным сооружением с определенными динамическими

характеристиками, которое берет на себя значительную часть воздействия инерционных сил при землетрясении.

Рассмотрим поведение двух однотипных зданий небольшой высоты. Пусть одно из них представляет собой обыкновенное здание без дополнительных связей (рис.1а), а второе – то же самое здание, но наверху соединенное (жестко или упруго-податливо) с отдельно стоящим вне здания очень жестким сооружением (рис.1б). Известно, что характер деформирования большинства малоэтажных каменных, кирпичных и крупнопанельных зданий во время землетрясения аналогичен характеру деформирования простого консольного бруса, имеющего жесткое защемление в основании и подвергающегося только деформациям сдвига [2,3,4]. Дифференциальное уравнение сейсмических колебаний такого бруса с учетом затухания описывается уравнением [4]

$$k'FG\frac{\partial^2 y}{\partial^2 x}-\frac{q}{g}\cdot\frac{\partial^2 y}{\partial^2 t}+\frac{\alpha}{\omega}k'FG\frac{\partial^3 y}{\partial^2 x\partial t}=-\frac{q}{g}y_0''(t) \qquad (1)$$

где F – площадь сечения бруса, G – приведенный модуль сдвига, k' – коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения, α – коэффициент внутреннего трения, ω – круговая частота свободных колебаний, q – вес единицы длины бруса, $y_0''(t)$ – акселерограммы движения грунта. Решение (1) состоит из 2-х частей:

$$y(x,t)=y_1(x,t)+y_2(x,t) \qquad (2)$$

где $y_1(x,t)$ – общее решение без правой части, $y_2(x,t)$ – частное решение с правой частью. Общее решение $y_1(x,t)$ ищем в виде:

$$y_1(x,t)=Y_i(x)\varphi_i(t) \qquad (3)$$

где $Y_i(x)$ – ординаты свободных колебаний без учета внутреннего трения, т.е. решение следующего уравнения:

$$\begin{gathered} Y_i''(x)+\psi_i^2 Y_i(x)=0,\ \ \psi_i^2=\frac{q\omega^2}{gk'FG}, \\ \varphi_i''(t)+\omega_i^2\varphi(t)=0, \\ Y_i(x)=A_i\sin\psi_i x+B_i\cos\psi_i x \end{gathered} \qquad (4)$$

Рассмотрим решение уравнения (4) при следующих двух граничных условиях, показанных на рис.1:

$$\begin{array}{lll} \text{а.} & x=0 & Y_i(0)=0 \\ & x=l & Y_i'(l)=0 \\ \text{б} & x=0 & Y_i(0)=0 \\ & x=l & Y_i(l)=0 \end{array} \qquad (5)$$

Удовлетворяя граничным условиям (5) для $Y_i(x)$ и частоты ω_i соответственно, получим:

• для обычных зданий со свободным верхом (случай *а*)

$$Y_i^a(x)=A\sin\frac{2i-1}{2}\cdot\frac{\pi x}{l},\ \omega_i^a(x)=\frac{2i-1}{2l}\pi\sqrt{\frac{k'FGg}{q}}, \qquad (6)$$

• для зданий с опертым верхом (случай *б*)

$$Y_i^б(x) = A\sin\frac{i\pi x}{l},\ \omega_i^б = \frac{\pi i}{l}\sqrt{\frac{k'FGg}{q}}\ . \qquad (7)$$

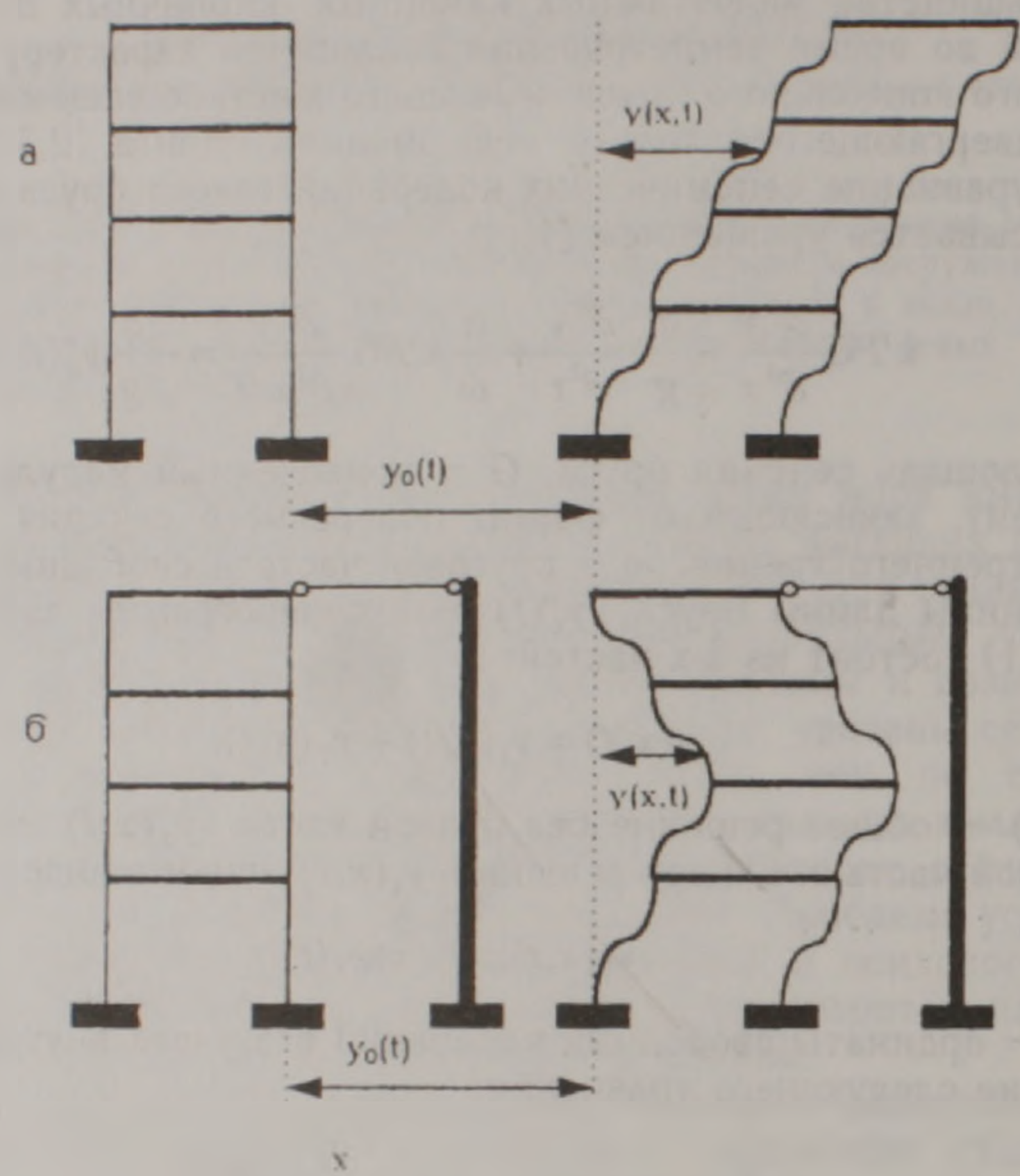

Рис. 1

Обычно для малоэтажных жестких зданий главную роль при сейсмических воздействиях играет первая форма колебаний, поэтому на рис.1 показана первая форма колебаний здания:

$$Y_1^а(x) = A\sin\frac{\pi x}{2l},\ \omega_1^а = \frac{\pi}{2l}\sqrt{\frac{k'FGg}{q}}\ , \qquad (8)$$

$$Y_1^б(x) = A\sin\frac{\pi x}{l},\ \omega_1^б = \frac{\pi}{l}\sqrt{\frac{k'FGg}{q}}\ . \qquad (9)$$

Частное решение $Y_2(x,t)$ ищем в следующем виде:

$$y_2(x,t) = \sum_{i=1}^{\infty} Y_i(x)\Phi_i(t)\ . \qquad (10)$$

Подставляя выражение (10) в основное уравнение (1) и учитывая (4), получим:

$$\sum_{i=1}^{\infty}\left[-\psi_i^2 Y_i(x)k'FG\Phi_i(t)-\frac{q}{g}Y_i(x)\Phi_i''(t)-\frac{\alpha}{\omega_i}k'FG\psi_i^2 Y_i(x)\Phi_i(t)\right]=-\frac{q}{g}y_0''(t) \quad (11)$$

или

$$\sum_{i=1}^{\infty}Y_i(x)[\Phi_i''(t)+\alpha\omega_i\Phi_i'(t)+\omega_i^2\Phi_i(t)]=y_0''(t)\ . \quad (12)$$

Умножая обе части этого уравнения на $Y_k(x)dx$ и интегрируя от 0 до l в силу ортогональности функций $Y_i(x)$, получим:

$$\Phi_i''(t)+\alpha\omega_i\Phi'(t)+\omega_i^2\Phi(t)=H_i(t)\ , \quad (13)$$

где

$$H_i(t)=y_0''(t)\frac{\int_0^l Y_i(x)dx}{\int_0^l Y_i^2(x)dx}\ . \quad (14)$$

Решение (13) будет

$$\Phi_i(t)=\frac{1}{\omega_i}\int_0^t H_i(u)e^{-(\alpha/2)\omega_i(t-u)}\sin\omega_i(t-u)du\ . \quad (15)$$

Таким образом, общее решение задачи при нулевых начальных условиях ($t=0$, $y_i=0$, $y_i'=0$) будет:

$$y(x,t)=\sum_{i=1}^{\infty}Y_i(x)\frac{1}{\omega_i}\int_0^t H_i(u)e^{-(\alpha/2)\omega_i(t-u)}\sin\omega_i(t-u)du\ . \quad (16)$$

Сейсмическая инерционная распределенная сила $S(x,t)$ будет:

$$S(x,t)=\frac{q}{g}\left[y_0''+\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}\right]. \quad (17)$$

Подставляя в (17) значение $\frac{\partial^2 y}{\partial^2 t}$ из уравнения (16) после несложных преобразований при $\alpha << \omega$, получим

$$S(x,t)=\frac{q}{g}\sum_{i=1}^{\infty}\eta_i(x)\frac{2\pi}{T_i}\int_0^t y_0''(u)e^{-(\alpha\pi/T)(t-u)}\sin\frac{2\pi}{T_i}(t-u)du\ , \quad (18)$$

где принято обозначение

$$\eta_i(x)=Y_i(x)\frac{\int_0^l Y_i(x)dx}{\int_0^l Y_i^2(x)dx}\ . \quad (19)$$

Учитывая (6) и (7), для коэффициентов $\eta_i(x)$ соответственно получим:

$$\eta_i^{а}(x) = \frac{4}{\pi(2_i - 1)} \sin \frac{2i-1}{2l} \pi x \qquad \text{для случая } a \tag{20}$$

$$\eta_i^{б}(x) = \frac{4}{\pi i} \sin \frac{\pi i}{l} x \ , \quad i = 1, 2, .. \text{ для случая } б. \tag{21}$$

Поперечная инерционная сила $Q^{а}(x,t)$ для случая *а* будет:

$$Q^{а}(x,t) = \int_x^l S(x,t)dx = \frac{ql}{g} \sum_{i=1}^{\infty} f_i^{а} \frac{2\pi}{T_i^{а}} \int_0^t y_0''(u) e^{-(\alpha\pi/T_i^{а})(t-u)} \sin \frac{2\pi}{T_i^{а}}(t-u)du \ , \tag{22}$$

где

$$f_i^{а}(x) = \frac{8}{\pi^2(2_i - 1)^2} \cos \frac{2i-1}{2l} \pi x \ .$$

Поперечная инерционная сила $Q^{б}(x,t)$ (для случая *б*), будет:

$$Q^{б}(x,t) = -N_б + \int_x^l S(x,t)dx = -\frac{1}{2}\int_0^l S(x,t)dx + \int_x^l S(x,t)dx \ , \tag{23}$$

где $N_б$ – реакция верхней опоры.

Или

$$Q^{б}(x,t) = \frac{ql}{g} \sum_{i=1}^{\infty} f_i^{б} \frac{2\pi}{T_i^{б}} \int_0^t y_0''(u) e^{-(\alpha_б\pi/T_i^{б})(t-u)} \sin \frac{2\pi}{T_i^{б}}(t-u)du \ , \tag{24}$$

где

$$f_i^{б}(x) = \frac{4}{\pi^2 i^2} \cos \frac{\pi i x}{l} \ . \tag{25}$$

Принимая обозначение

$$\tau(T,\alpha,t) = \frac{2\pi}{T} \int_0^t y_0''(u) e^{-(\alpha\pi/T)(t-u)} \sin \frac{2\pi}{T}(t-u)du \ , \tag{26}$$

которое представляет собой спектр реакции землетрясения с акселерограммой $y_0''(u)$, для поперечной силы по первой форме колебаний получим:

• для обычного здания (без усиления):

$$Q^{а}(x) = \frac{ql}{g} \frac{8}{\pi^2} \cos \frac{\pi x}{2l} \tau_{\max}(T_1^{а}, \alpha_а) \ , \tag{27}$$

• для здания с опертым концом (усиленного):

$$Q^{б}(x) = \frac{ql}{g} \frac{4}{\pi^2} \cos \frac{\pi x}{l} \tau_{\max}(T_1^{б}, \alpha_б) \ . \tag{28}$$

Спектр реакции при $\alpha_а = \alpha_б = const$ для большинства землетрясений имеет следующий общий вид (рис.2):

имеет следующий общий вид (рис.2):

$$\tau_{\max}(T,\alpha) = y''_{0_{\max}}\beta(T)$$

$$\beta(T) = 1 + \frac{T}{T_c}(\beta_{\max} - 1) \qquad 0 < T < T_c$$

$$\beta(T) = \beta_{\max} \qquad T_c < T < T_d \tag{29}$$

$$\beta(T) = \left(\frac{T_d}{T}\right)^{\nu}\beta_{\max} \qquad T > T_d$$

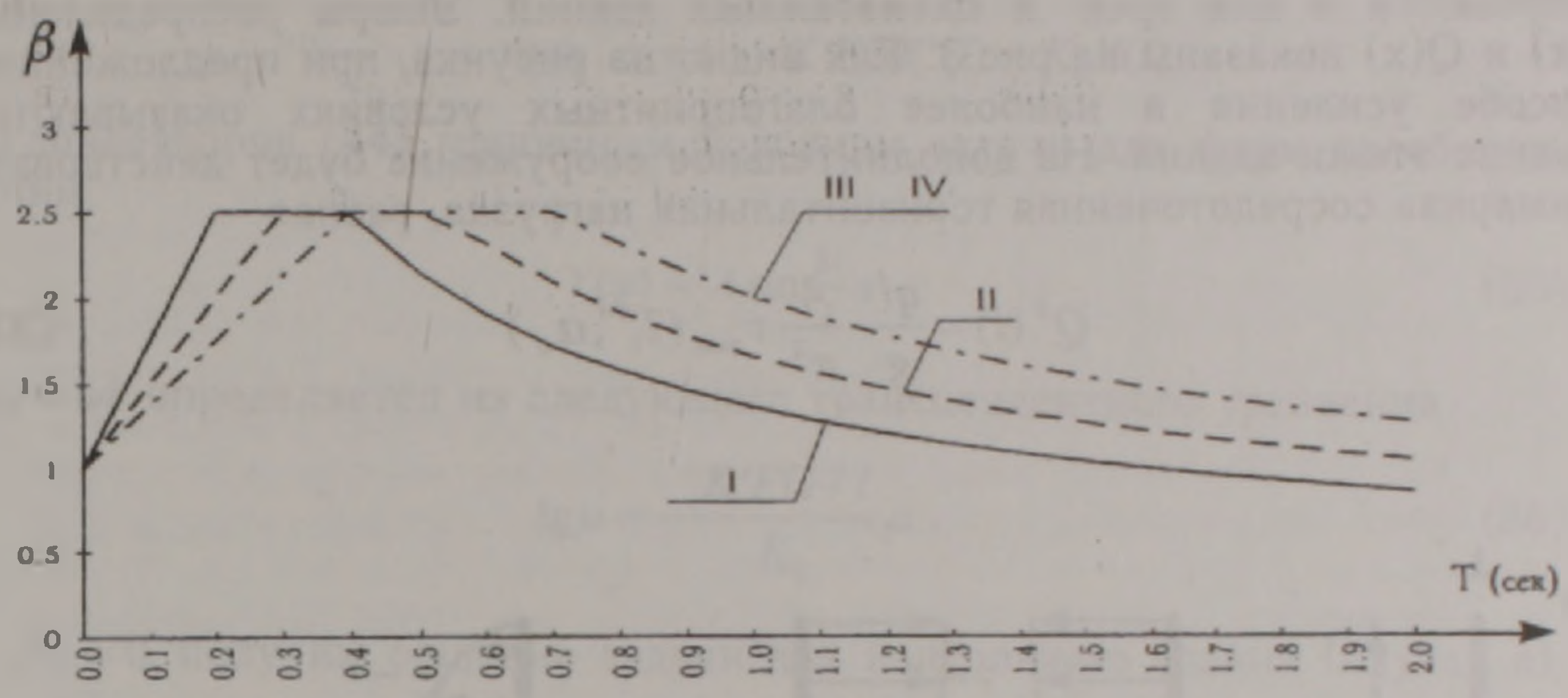

Рис. 2

По нормам Республики Армения [6] $\beta_{\max} = 2{,}5$, $\nu = 2/3$, а T_c и T_d имеют следующие значения в зависимости от сейсмической категории грунтов (в секундах): для грунтов I-ой категории: $T_c = 0{,}2$, $T_d = 0{,}4$; для грунтов II-ой категории: $T_c = 0{,}3$, $T_d = 0{,}55$; для грунтов III-й и IV-ой категорий: $T_c = 0{,}4$, $T_d = 0{,}7$.

Для малоэтажных каменных и монолитных железобетонных зданий период колебания по первой форме в зависимости от этажности определяется формулой [1,6]

$$T_1 = (0{,}045 \div 0{,}055)n\ , \tag{30}$$

где n – число этажей. Для зданий до 5 этажей $T_1 = 0{,}225 - 0{,}275$ *сек*. Поэтому, так как согласно (8) и (9) $T_1^{а} = 2T_1^{б}$, для зданий до 5 этажей всегда будет иметь место неравенство:

$$\tau_{\max} = (T_1^{б}, \alpha) < \tau_{\max} = (T_1^{а}, \alpha) \tag{31}$$

Если, для примера, предположим, что предложенным способом необходимо усилить 4-этажное каменное здание, которое возведено на грунтах II-ой категории, то для ординат спектров реакций согласно (29) и (30) будем иметь:

$$T_1^{а} = (0{,}055)4 = 0{,}220 \ \ сек\ ,$$

$$\tau_{\max}(T_1^{а}) = y''_{0_{\max}}\left[1 + \frac{0{,}22}{0{,}3}(2{,}5 - 1)\right] = 2{,}1y''_{0_{\max}}\ , \tag{32}$$

$$T_1^{б} = (0{,}055)4/2 = 0{,}110 \ \ сек\ ,$$

$$\tau_{max}(T_1^б) = y''_{0_{max}}\left[1 + \frac{0,11}{0,3}(2,5-1)\right] = 1,55 y''_{0_{max}} \ .$$

Сопоставляя значения поперечных сил по формулам (27) и (28) и спектральных ординат по выражениям (3.32), легко заметить, что в здании с опертым верхом уровень сейсмического воздействия окажется на

$$Q^{в}_{(0)} / Q^{б}_{(0)} = (8)(2,1) / (4)(1,55) = 2,7$$

меньше, чем в обычном здании со свободным концом. Такие же оценки получаются и для трех- и пятиэтажных зданий. Эпюры распределения S(x) и Q(x) показаны на рис.3. Как видно из рисунка, при предложенном способе усиления в наиболее благоприятных условиях оказываются средние этажи здания. На дополнительное сооружение будет действовать суммарная сосредоточенная горизонтальная нагрузка, равная:

$$Q^{б}(l) = \frac{ql}{g} \cdot \frac{4}{\pi^2} \tau_{max}(T_1^б, \alpha_б) \qquad (33)$$

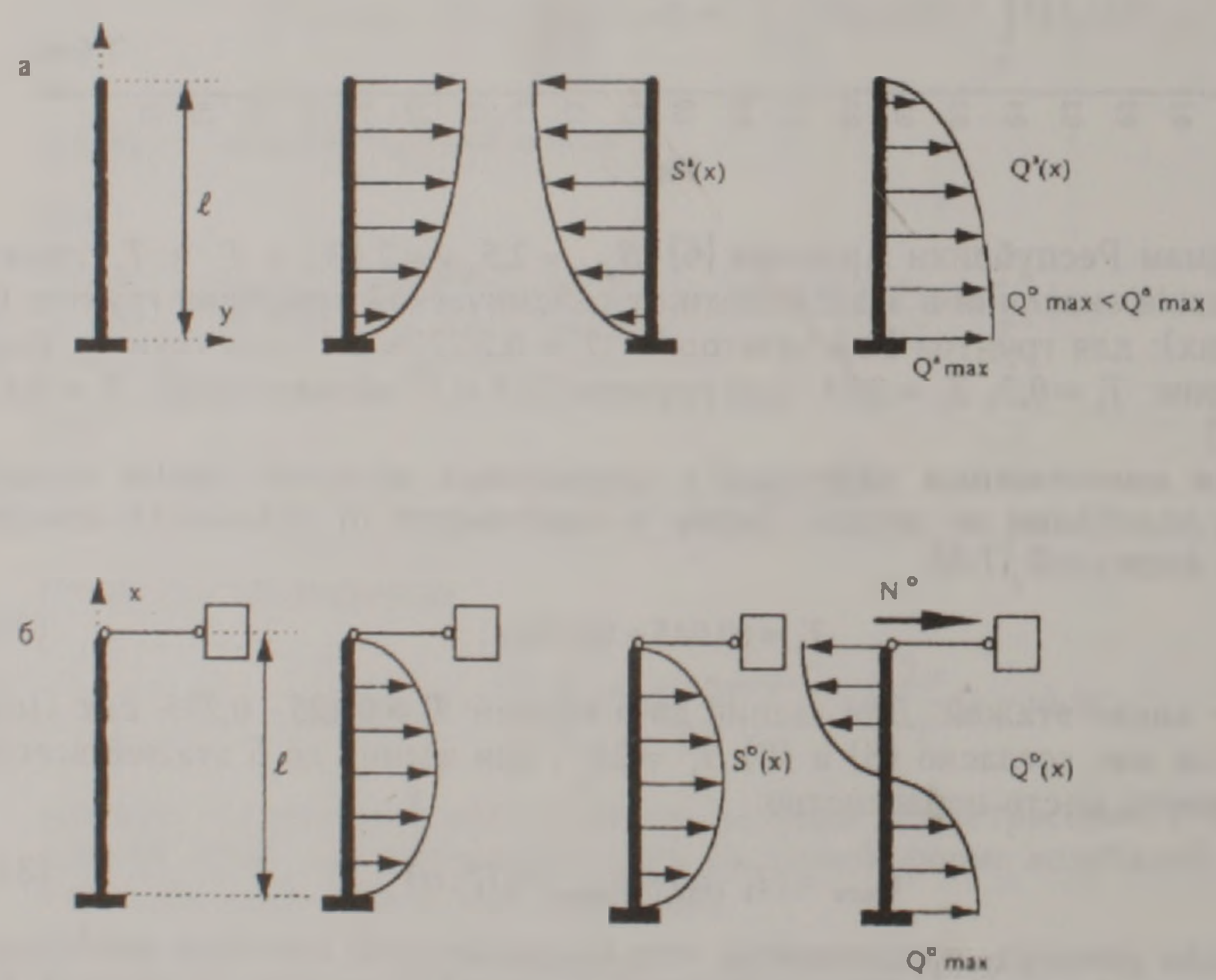

Рис. 3

В случае, если последний этаж здания закрепляется к дополнительному сооружению нежестко, а через резино-металлические подушки или другие упругие элементы, обладающие большими поглощающими способ-

ностями, степень снижения уровня горизонтальной нагрузки формально будет меньше, чем это вытекает из (28), но в действительности она может быть еще больше из-за большой поглощающей способности резинометаллических подушек. Кроме того, в этом случае уменьшится величина сосредоточенной нагрузки (33), действующей на дополнительное сооружение. Если между зданием и дополнительным сооружением установить резино-металлические подушки с общей жесткостью K_0, граничные условия задачи будут:

$$\text{при} \quad x = 0 \qquad Y(0) = 0 \,, \tag{34}$$

$$\text{при} \quad x = l \qquad K'FGY'(l) = K_0 Y(l) \,.$$

Удовлетворяя (34) граничным условиям задачи для форм колебания, получим

$$Y(x) = A \sin \frac{\mu}{l} x \,, \tag{35}$$

где $\mu = \psi l$ определяется из следующего трансцендентного уравнения

$$\mathrm{tg}\mu = -\frac{K'FG / l}{K_0} \mu \,. \tag{36}$$

При $K_0 = 0$ получим решение задачи для консольного здания (случай а), а при $K_0 = \infty$ получим решение для опертого наверху здания (случай в). Наименьшие корни μ уравнения (36) при различных соотношениях жесткости здания $K = K'FG / l$ и жесткости подушек K_0 приведены в таблице 1.

Таблица 1

K / K_0	∞	10	5	1	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0,01	0
μ	1,570	1,632	1,688	2,029	2,288	2,381	2,498	2,665	2,863	2,994	3,111	3,14

Частота колебания комбинированной системы ω_1^c и коэффициент $\eta_i^c(x)$ в этом случае будут:

$$\omega_1^c = \frac{\mu}{l}\sqrt{\frac{K}{m}} \,, \; K = \frac{K'FG}{l} \,, \; m = \frac{ql}{g} \,,$$

$$\eta_i^c(x) = \frac{l / \mu_i^2 (\cos \mu_i - 1)}{l/2 - (l/4\pi) \sin 2\mu_i} \sin \frac{\mu_i x}{l} \,. \tag{37}$$

Поперечная сила $Q^c(x,t)$ соответственно будет:

$$Q^c(x,t) = -N_c + \int_x^l S(x,t)dx \,,$$

которая после интегрирования примет вид:

$$Q^c(x,t) = \frac{ql}{g}\sum_{i=1}^{\infty} f_i^c(x)\frac{2\pi}{T_i}\int_0^t y_0''(u)e^{-\frac{\alpha_c\pi}{T_i^c}(t-u)}\sin\frac{2\pi}{T_i^c}(t-u)du, \qquad (38)$$

где

$$f_i^c(x) = \frac{l(\cos\mu_i - 1)}{\mu_i^2(l/2 - l/4\pi\sin 2\mu_i)}\left[\cos\frac{\mu_i x}{l} - \frac{1}{2}(\cos\mu_i + 1)\right]. \qquad (39)$$

Легко заметить, что из общих выражений (38) и (39), как частный случай, получаются формулы (27) и (28), соответственно принимая $K_0 = 0$, $\mu = \frac{\pi}{2}$, $N = 0$ (реакция опоры) для случая *а* и $K_0 = \infty$, $\mu = \pi$ для случая *б*.

Используя значения μ из таблицы 1 по формуле (38) (ограничиваясь учетом только первой формы колебания), можно найти оптимальное значение жесткости подушек K_0, при котором степень снижения уровня сейсмического воздействия и величина сосредоточенной горизонтальной нагрузки на дополнительное сооружение будут удовлетворять поставленной цели.

Например, при $K / K_0 = 0{,}5$, $f_{\max}^c = 0{,}45$ и для рассмотренного 4-этажного дома будем иметь:

$$f_{\max}^a / f_{\max}^c = \frac{8}{\pi^2 0{,}45} = 1{,}8,\ T_1^c = 0{,}15,$$

$$\tau_{\max}(T_1^a) = 2{,}1 y_{0_{\max}}'';\ \tau_{\max}(T_1^c) = 1{,}75 y_{0_{\max}}'',$$

и, следовательно:

$$Q_{(0)}^a / Q_{(0)}^б = 1{,}8\frac{2{,}1}{1{,}75} = 2{,}16\ .$$

Теоретическими исследованиями показано [5], что для 2-5-этажных зданий, если период свободных колебаний дополнительного консольного сооружения T_1^k в 5 и более раза меньше периода свободных колебаний основного здания T_1^a, то такое консольное сооружение, жестко соединенное со зданием, с достаточной точностью играет роль неподвижной опоры для него. В других случаях значения коэффициентов повышения уровня сейсмической безопасности для наиболее распространенных на территории Республики Армения 5-этажных зданий серии 1-450-2 приведены в таблице 2.

Таблица 2

Отношения периодов T_1^k / T_1^a	0	0,05	0,10	0.15	0.20	0,25	0,30	0,4
Коэффициенты повышения уровня сейсмостойкости	2,7	2,68	2,61	2,49	2,33	2,14	1,91	1,52

ԳՈՅՈՒԹՅՈՒՆ ՈՒՆԵՑՈՂ ՇԵՆՔԵՐԻ ՍԵՅՍՄԻԿ ԱՆՎՏԱՆԳՈՒԹՅԱՆ ՄԱԿԱՐԴԱԿԻ ԲԱՐՁՐԱՑՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ

Է. Ե. Խաչիյան

Ամփոփում

Հոդվածը նվիրված է շահագործման մեջ գտնվող ոչ բարձրահարկ շենքերի սեյսմիկ անվտանգության մակարդակի բարձրացման եղանակների մշակմանը: Սպիտակի երկրաշարժից հետո ՀՀ տարածքի սեյսմիկ ուժգնության աստիճանի բարձրացման և սեյսմակայուն շինարարության վերաբերյալ նոր ազգային նորմերի ընդունման կապակցությամբ գոյություն ունեցող շենքերի և կառուցվածքների սեյսմիկ անվտանգության աստիճանը զգալի նվազել է: Ապագա ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ նրանք կարող են զգալի ավերվածություններ և մարդկային զոհերի պատճառ դառնալ: Հոդվածում առաջարկվում է շահագործման մեջ գտնվող 2–5 հարկանի քարե շենքերի երկրաշարժակայունությունը բարձրացնել ոչ թե սովորական եղանակներով՝ նրանց կրող էլեմենտների կրողունակությունը մեծացնելով, այլ նրանց կոնստրուկտիվ սխեմաների այնպիսի փոփոխությամբ, որոնց դեպքում շենքերում առաջացող իներցիոն ուժերի մեծությունները չգերազանցեն այն հորիզոնական իներցիոն ուժերին, որոնց ազդեցության տակ շենքերը նախկին նորմերով նախագծված էին: Առաջարկվող եղանակի էությունը կայանում է նրանում, որ գոյություն ունեցող շենքը վերջին հարկի մակարդակում կոշտ ամրակցված է շենքից դուրս լրացուցիչ կառուցվածքի հետ: Աշխատանքում ցույց է տրված, որ ինչքան փոքր լինի լրացուցիչ կառուցվածքի ազատ տատանումների պարբերությունը համեմատած հիմնական շենքի ազատ տատանումների պարբերության հետ, այնքան ավելի է նվազում հիմնական շենքում առաջացող իներցիոն ուժերի մակարդակը: Կատարված հաշվարկները ցույց են տալիս, որ առաջարկվող եղանակի կիրառմամբ քարե 2–5 հարկանի շենքերի սեյսմիկ անվտանգության աստիճանը կարելի է բարձրացնել 1,5-ից մինչև 2,7 անգամ: Առաջարկվող եղանակի հիմնական առավելությունը կայանում է նրանում, որ գոյություն ունեցող շենքերի երկրաշարժակայունության մակարդակի բարձրացումը (ուժեղացումը) իրականացվում է առանց բնակիչների ժամանակավոր տեղափոխման:

A METHOD FOR INCREASING SEISMIC SAFETY LEVEL OF EXISTING BUILDINGS

E. E. Khachiyan

Abstract

The paper is devoted to a development of a method for increasing seismic safety level of existing low buildings and structures, which have no sufficient seismic safety level because of the changing of the seismic zonation map and the requirements of new regulations for earthquake-resistant construction.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Карапетян Б.К.** Колебания сооружений, возведенных в Армении. Ереван: Айастан, 1967.
2. **Клаф Р., Пензиен Дж.** Динамика сооружений. М.: Стройиздат, 1979, 320 с.
3. **Ньюмарк Н., Розенблюэт Э.** Основы сейсмостойкого строительства. М.: Стройиздат, 1980, 344 с.
4. **Хачиян Э.Е.** Сейсмические воздействия на высотные здания и сооружения. Ереван: Айастан, 1973, 327 с.
5. **Хачиян Э.Е., Маркарян А.Г.** О динамическом взаимодействии здания с жестко соединенным консольным сооружением. Деп. в АрмНИИ научно-технической информации и технико-экономических исследований от 4 марта 1997 г. №77 Ар.97, 11 с.
6. Սեյսմակայուն շինարարություն. Նախագծման նորմեր. ՀՀ ՇՆ II-2-02-94, Երևան, 1995, 37 էջ: