

10. *Пирузян С. А.* Опыт детального сейсмического районирования территории Большого Ереванского района. Ереван: Айастан, 1969. 91 с.
11. *Пирузян С. А., Бабаджанян А. Г., Донабедов А. Т., Оганесян Л. Б.* Блсковое строение территории Армянской АЭС и сопредельных районов в связи с сейсмическим районированием.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, № 6, 1978, с. 69—78.
12. *Шебалин В. Н.* Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании. В кн.: Сейсмическое районирование СССР. Ч. II, гл. 6 М.: Наука, 1968.

Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, XXXIX, № 2, 63—68, 1986

УДК:699.841

Р. С. МИНАСЯН

ВЛИЯНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН НА НАПРЯЖЕНИЕ СТЕН КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ЗДАНИЯ

В статье рассматриваются закономерности распределения динамических напряжений в связях несущих стен крупнопанельного здания при действии сейсмических волн.

Показано, что наиболее уязвимым местом при действии сейсмических сил являются стыковые соединения. Разрушение стыковых соединений связано в основном с неоднородностями напряжений, вызванными интерференцией двух или большего числа распределенных волн напряжений.

Рассматривается случай определения динамических срезающих сил в связях сдвига от горизонтальных волн, так как их воздействие является наиболее опасным.

Выясняется, что максимальные срезающие напряжения при сейсмическом ударе и толчке возрастают сравнительно с статическими в среднем на 43—67%.

Цель исследований—на основании последних достижений инженерной сейсмологии выявить основные закономерности распределения динамических напряжений в связях несущих стен крупнопанельного здания, которые несомненно помогут правильно проектировать и конструировать стыковые соединения.

Сейсмические волны являются особенно опасными для крупнопанельных зданий, которые осуществлены из сборных крупноразмерных составных элементов. Здесь прочность и жесткость зданий в основном обеспечиваются стыковыми соединениями и несущими элементами. Но наиболее уязвимым местом сейсмостойкого строительства крупнопанельных зданий являются стыковые соединения, и поэтому при проектировании зданий главное внимание уделяется конструктивным решениям этих элементов. Опыт показывает, что во многих случаях эти элементы стены страдают больше. Это объясняется тем, что волны напряжения вызывают смещение одной части стены относительно другой, вследствие чего в вертикальных и горизонтальных стыковых соединениях возникают значительные сдвигающие и нормальные динамические напряжения, и если они достигают определенного значения, то наступает разрушение. Конечно, действительный механизм разрушения значительно сложнее, чем тот, который описывается в динамической одномерной теории.

Анализ воздействия землетрясения на здание весьма сложен, так как оно при этом деформируется, находясь в условиях сложного напряженного состояния, и установление истинной картины распределения напряжений по высоте здания и стыков при землетрясении является важной задачей сейсмостойкого строительства.

В большинстве случаев разрушение стыковых соединений связано с неоднородностями напряжений, вызываемыми интерференцией двух

или большего числа распределяющих волн напряжений; особо важную роль играет возмущение дополнительных волн напряжений при отражении от свободных поверхностей.

Таким образом, изучение распределения волн в зданиях важно не только для определения колебания здания, но и для определения распределения динамических напряжений в связях несущих стен.

Воздействие сейсмостойких волн на здание, при решении инженерных задач, можно условно разложить на горизонтальные и вертикальные составляющие.

Ниже рассматривается случай определения динамических напряжений в связях сдвига от горизонтальных волн, так как их воздействие является наиболее опасным.

В расчетной схеме напряжения в поперечных сечениях столбов от вертикальных сил принимаем распределенными равномерно, а от изгибающих моментов линейно. В нашем случае сейсмические воздействия на здания имитируются явлениями механических ударов и толчков.

Наиболее распространенным в практике способом восприятия горизонтальных нагрузок является передача их на стены жесткости—вертикальные диафрагмы.

Рассмотрим двухстолбовую диафрагму, в которой столбы имеют различную ширину и соединяются стыковыми соединениями или перемычками, которые в расчетной схеме заменяются нормальными связями и связями сдвига (рис. 1).

Под действием горизонтальной сейсмической силы в столбах диафрагмы появляются моменты, нормальные и поперечные силы, а в связях—только моменты и поперечные силы. Если бы связи были абсолютно жесткими и в них не возникли бы деформации изгиба и сдвига, диафрагма деформировалась бы как сплошной консольный стержень, но так как в действительности связи имеют конечную жесткость, то в столбах развиваются деформации. Динамические усилия, которые возникнут вследствие этих деформаций, можно выявить, используя значения деформаций их крайних волокон обеих сторон связей с учетом инерционных сил в столбах.

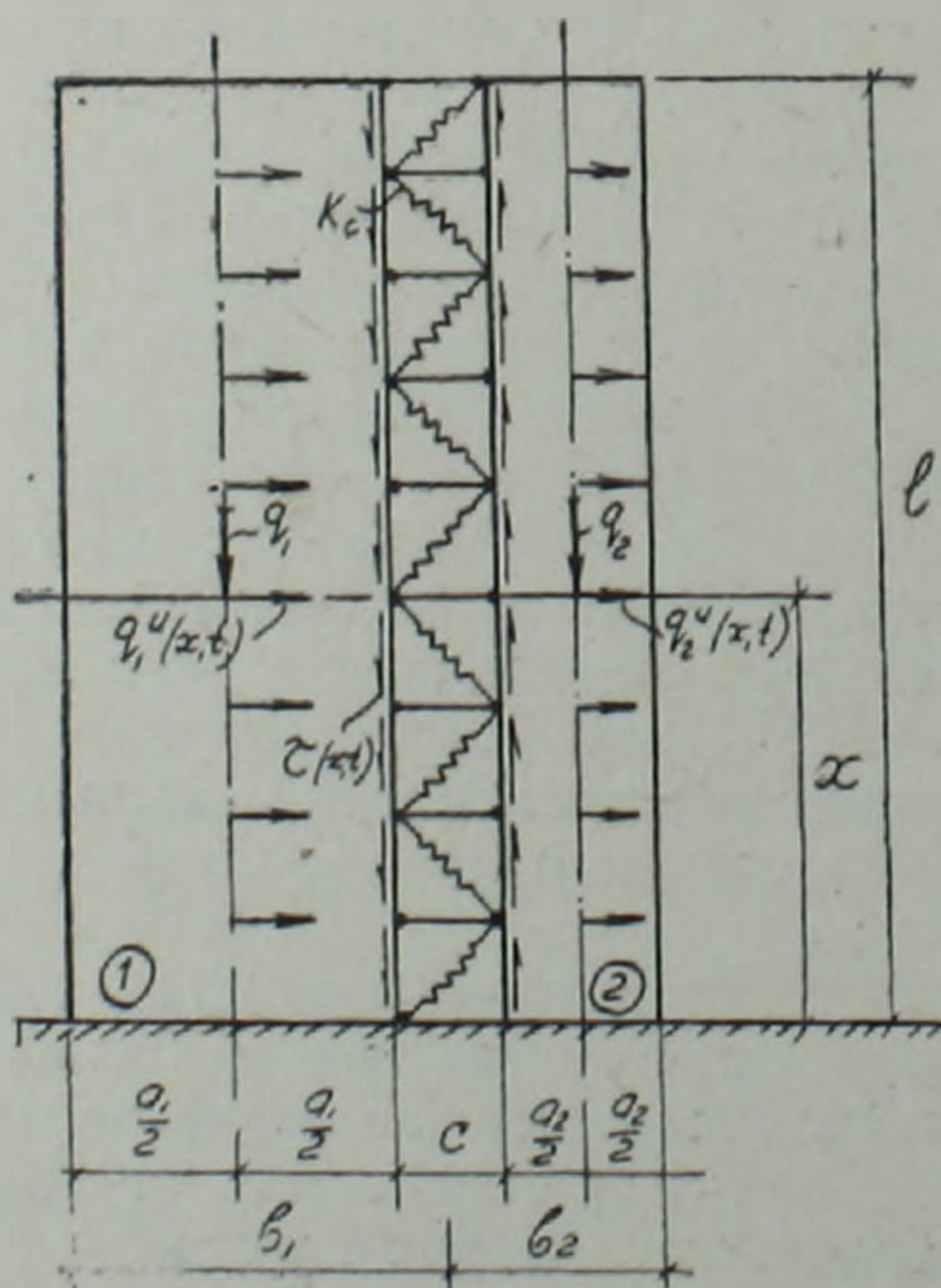


Рис. 1

Элементарные динамические приращения сдвига столбов для крайних волокон, соприкасающихся со связями определяются:

$$\delta_1'(x_1 t) = -\frac{q_1}{B_1} (l-x) - \frac{T(x_1 t)}{B_1} - \frac{T(x_1 t)}{4D_1} a_1^2 - \frac{a_1^2}{2D_1} M_1^{\text{ин}}(x_1 t), \quad (1)$$

$$\delta_2^1(x_1 t) = \frac{q_2}{B_2} (l-x) + \frac{T(x_1 t)}{B_2} + \frac{T(x_1 t)}{4D_2} a_2^2 + \frac{a_2^2}{2D_2} M_2^{\text{ин}}(x_1 t), \quad (2)$$

где $T(x_1 t)$ — искомая динамическая срезающая сила; q_1, q_2 — погонные нагрузки в столбах; B_1, B_2, D_1 и D_2 — соответственно жесткости столбов при растяжении (сжатии) и изгибе; $M_1^{\text{ин}}, M_2^{\text{ин}}$ — динамические изгибающие моменты от инерционных погонных сил; a_1, a_2 — соответственно ширины столбов; l — высота здания.

Принимая пропорциональную зависимость между смещениями сдвига и срезающими напряжениями, находим

$$k_c [\delta_2(x_1 t) - \delta_1(x_1 t)] = \tau(x_1 t), \quad (3)$$

где k_c — коэффициент жесткости связей сдвига.

Дифференцируя равенство (3) один раз, учитывая при этом зависимость $T'(x_1 t) = \tau(x_1 t)$ и подставляя в выражения (1) и (2), получим:

$$T''(x_1 t) - \alpha_0^2 T(x_1 t) = k_c \left[\left(\frac{q_1}{B_1} - \frac{q_2}{B_2} \right) (l-x) + \right. \\ \left. + \frac{a_1 + a_2}{2} \left(\frac{M_1^{\text{ин}}(x_1 t)}{D_1} + \frac{M_2^{\text{ин}}(x_1 t)}{D_2} \right) \right], \quad (4)$$

где $\alpha_0^2 = \left(\frac{1}{B_1} + \frac{1}{B_2} + \frac{a_1^2}{4D_1} + \frac{a_2^2}{4D_2} \right).$

Учитывая, что поперечные связи достаточно жесткие, можно принять:

$$M_1^{\text{ин}}(x_1 t) = M^{\text{ин}}(x_1 t) \frac{D_1}{D_1 + D_2}; \\ M_2^{\text{ин}}(x_1 t) = M^{\text{ин}}(x_1 t) \frac{D_2}{D_1 + D_2}. \quad (5)$$

Подставляя величины моментов из (5) в (4), окончательно для $T(x_1 t)$ получим [1]:

$$T''(x_1 t) - \alpha_0^2 T(x_1 t) = k_c \left[\left(\frac{q_1}{B_1} - \frac{q_2}{B_2} \right) (l-x) + \frac{a}{2D} M^{\text{ин}}(x_1 t) \right], \quad (6)$$

где $a = a_1 + a_2; D = D_1 + D_2.$

При сейсмическом ударе изгибающий момент выражается формулой [2,3];

$$M^{\text{ин}}(x_1 t) = \frac{ql^2}{g} \dot{v}_0 \rho_1 \varphi(x_1 t), \quad (7)$$

и при сейсмическом толчке:

$$M^{\text{ин}}(x_1 t) = \frac{ql^2}{g} \frac{4v_0^1}{x^2 + 4} \psi(x, t), \quad (8)$$

где $q = q_1 + q_2$ — погонная нагрузка стен; α — коэффициент внутреннего трения материала стен; v_0 и $\dot{v}_0$ — соответственно скорость и ускорение почвы.

В формулах (2) и (3) приняты следующие обозначения:

$$\varphi(x_1 t) = \sum_{j=1}^{\infty} v_j \gamma_j(x) e^{-\frac{\alpha_j n_j}{2} t} \sin n_j t; \quad (9)$$

$$\psi(x_1 t) = \sum_{j=1}^{\infty} \gamma_j(x) - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{2} \sqrt{\alpha_j^2 + 4} \gamma_j(x) e^{-\frac{\alpha_j n_j}{2} t} \sin \left(n_j t + \arctg \frac{2}{\alpha_j} \right). \quad (10)$$

$$\text{где} \quad k_j = \frac{\cos \mu_j + \operatorname{ch} \mu_j}{\sin \mu_j + \operatorname{sh} \mu_j}; \quad P_j = \frac{\mu_j^2}{l^2} \sqrt{\frac{gD}{q}};$$

$$n_j = P_j v_j^2; \quad T_j = \frac{2\pi}{P_j}; \quad v_j = \frac{\mu_j}{\mu_1}$$

μ_j — коэффициент (для первых трех форм имеет значения: $\mu_1 = 1,875$; $\mu_2 = 4,694$; $\mu_3 = 7,835$).

Подставляя значения моментов из (2) и (3) в (1) и учитывая зависимость $T'(x_1 t) = \tau(x_1 t)$, выполняя интегрирование методом Фурье и используя следующие граничные и начальные условия ($x = 0$; $\tau(0, t) = 0$; $x = l$; $T(l, t) = 0$ и $t = 0$; $\frac{\partial \tau(x, 0)}{\partial t} = 0$, получим:

а) для сейсмического удара

$$\begin{aligned} T(x_1 t) = T_0(x) - \frac{ql^4}{g} \left(\frac{a}{D} \right) k_c v_0 P_1 \sum_{j=1}^{\infty} \frac{k_j n_j}{\mu_j^3} \left\{ \frac{2\alpha_0 l}{\mu_j^4 - \alpha_0^4 l^4} (k_j \mu_j) \frac{\operatorname{sh} \alpha_0 (l-x)}{\operatorname{ch} \alpha_0 l} + \right. \\ \left. + \left[\frac{1}{\mu_j^2 - \alpha_0^2 l^2} (\operatorname{ch} \mu_j - k_j \operatorname{sh} \mu_j) - \frac{1}{\mu_j^2 + \alpha_0^2 l^2} (\cos \mu_j - k_j \sin \mu_j) \right] \frac{\operatorname{ch} \alpha_0 x}{\operatorname{ch} \alpha_0 l} - \right. \\ \left. - \left[\frac{1}{\mu_j^2 - \alpha_0^2 l^2} \left(\operatorname{ch} \mu_j \frac{x}{l} - k_j \operatorname{sh} \mu_j \frac{x}{l} \right) - \frac{1}{\mu_j^2 + \alpha_0^2 l^2} \times \right. \right. \\ \left. \left. \left(\cos \mu_j \frac{x}{l} - k_j \sin \mu_j \frac{x}{l} \right) \right] \right\} e^{-\frac{\alpha_j n_j}{2} t} \sin n_j t; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau(x, t) = \tau_0(x) - \frac{ql^3}{g} \left(\frac{a}{D} \right) k_c v_0 P_1 \sum_{j=1}^{\infty} \frac{k_j n_j}{\mu_j^3} \left\{ \frac{2\alpha_0^2 l^2}{\mu_j^4 - \alpha_0^4 l^4} (k_j \mu_j) \times \right. \\ \times \frac{\operatorname{ch} \alpha_0 (l-x)}{\operatorname{ch} \alpha_0 l} - \alpha_0 l \left[\frac{1}{\mu_j^2 - \alpha_0^2 l^2} (\operatorname{ch} \mu_j - k_j \operatorname{sh} \mu_j) - \frac{1}{\mu_j^2 + \alpha_0^2 l^2} (\cos \mu_j - \right. \\ \left. - k_j \sin \mu_j \frac{x}{l}) \right] - \mu_j \left[\frac{1}{\mu_j^2 - \alpha_0^2 l^2} \left(\operatorname{sh} \mu_j \frac{x}{l} - k_j \operatorname{ch} \mu_j \frac{x}{l} \right) + \frac{1}{\mu_j^2 + \alpha_0^2 l^2} \times \right. \\ \left. \times \sin \mu_j \frac{x}{l} + k_j \cos \mu_j \frac{x}{l} \right] \left. \right\} e^{-\frac{\alpha_j n_j}{2} t} \sin n_j t \end{aligned}$$

б) для сейсмического толчка

$$T(x_1 t) = T_0(x) + \frac{2ql^2}{g} \left(\frac{a}{D} \right) \frac{v'_0}{\alpha^2 + 4} \left(\frac{k_c}{\alpha_0^2} \right) \left[\frac{1}{\alpha_0 l} \frac{\operatorname{sh} \alpha_0(l-x)}{\operatorname{ch} \alpha_0 l} + \right. \\ \left. + \frac{1}{\alpha_0^2 l^2} \left(\frac{\operatorname{ch} \alpha_0 x}{\operatorname{ch} \alpha_0 l} - 1 \right) - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{x}{l} \right)^2 \left| \sum_{j=1}^{\infty} \left[1 - \frac{1}{2} \sqrt{\alpha_j^2 + 4} \times \right. \right. \right. \\ \left. \left. \times e^{-\frac{\alpha_j n_j}{2} t} \sin \left(n_j t + \operatorname{arctg} \frac{2}{\alpha_j} \right) \right] \right]; \\ \tau(x_1 t) = \tau_0(x) - \frac{2ql}{g} \left(\frac{a}{D} \right) \frac{v'_0}{\alpha^2 + 4} \left(\frac{k_c}{\alpha_0^3} \right) \left[\frac{\operatorname{ch} \alpha_0(l-x)}{\operatorname{ch} \alpha_0 l} - \frac{1}{\alpha_0 l} \frac{\operatorname{sh} \alpha_0 x}{\operatorname{ch} \alpha_0 l} - \right. \\ \left. - \left(1 - \frac{x}{l} \right) \left| \sum_{j=1}^{\infty} \left[1 - \frac{1}{2} \sqrt{\alpha_j^2 + 4} e^{-\frac{\alpha_j n_j}{2} t} \sin \left(n_j t + \operatorname{arctg} \frac{2}{\alpha_j} \right) \right] \right], \right.$$

где $T_0(x)$ и $\tau_0(x)$ соответственно срезающие усилия и напряжения от статического действия продольной нагрузки, определяющиеся:

$$T_0(x) = \frac{k_c}{\alpha_0^3} \left(\frac{q_1}{B_1} - \frac{q_2}{B_2} \right) \left[\frac{\operatorname{sh} \alpha_0(l-x)}{\operatorname{ch} \alpha_0 l} - \alpha_0(l-x) \right]; \\ \tau_0(x) = \frac{k_c}{\alpha_0^2} \left(\frac{q_1}{B_1} - \frac{q_2}{B_2} \right) \left[1 - \frac{\operatorname{ch} \alpha_0(l-x)}{\operatorname{ch} \alpha_0 l} \right].$$

Выводы. Анализ численных результатов срезающих напряжений $\tau(x_1 t)$ показывает, что учет трех форм колебаний для определения динамических срезающих напряжений для практических целей достаточен. Наибольшие срезающие напряжения всегда получаются в верхних сечениях зданий.

Если учесть еще, что максимальные значения изгибающих моментов в верхней части наступают раньше, что обусловлено высшими формами, то вероятность разрушения в высотных домах в верхней части будет больше, что в общем соответствует реальным разрушениям при землетрясениях. Максимальные срезающие напряжения при сейсмическом ударе и толчке возрастают сравнительно с статическими значениями в среднем на 43—67%, а влияние высших форм колебаний особенно сказывается в верхних сечениях, где их неучет приводит к существенным погрешностям.

При увеличении коэффициента внутреннего трения (α) в два раза максимальные значения $T(x_1 t)$ и $\tau(x_1 t)$ в среднем уменьшаются на 12,4—17,6%, т. е. при кратковременных воздействиях влияние рассеяния энергии не так велико. Влияние высших форм колебаний при сейсмическом ударе обычно сильнее, чем при сейсмическом толчке, кроме того они сравнительно больше влияют на срезающие напряжения $\tau(x_1 t)$, чем на срезающие силы $T(x_1 t)$.

Таким образом, каждая попытка определить закон распределения динамических напряжений в стыковых соединениях с использованием существующих расчетных схем несомненно помогает уточнить конструкции стыковых соединений, реализация которых способствует зданиям сопротивляться более сильным сейсмическим воздействиям при минимальных затратах на антисейсмические мероприятия.

ՍԵՅՍՄԻԿ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԽՈՇՈՐԱՊԱՆԵԼ ՇԵՆՔԵՐԻ ՊԱՏՆԵՐԻ
ԼԱՐՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հոդվածում քննարկված են սեյսմիկ ալիքների ազդեցության տակ խոշորապանել շենքերի կրող պատերի կապերում դինամիկ լարվածությունների բաշխման օրինաչափությունները: Ցույց է տրված, որ սեյսմիկ ուժերի ազդեցության դեպքում ամենաթույլ տեղերը պատերի ծայրակցվանքային միացումներն են: Վերջիններիս քայքայումը հիմնականում կապված է լարվածությունների անհամասեռության հետ, որն առաջանում է երկու և ավելի թվով լարվածությունների բաշխված ալիքների ինտերֆերենցիայով: Քննարկված է հորիզոնական ալիքների ազդեցության ընթացքում դինամիկ կտրող ուժերի որոշման դեպքը, քանի որ դրանց ազդեցությունն ամենավտանգավորն է: Պարզաբանված է, որ սեյսմիկ հարվածի և հրման դեպքում ամենամեծ կտրող լարվածությունները, ստատիկի հետ համեմատած, աճում են միջին հաշվով 43—67 տոկոսով:

R. S. MINASIAN

THE SEISMIC WAVES INFLUENCE ON THE LARGE-PANEL
BUILDING WALLS STRESS

A b s t r a c t

The dynamical stresses distribution regularities in the large-panel building carrier walls ties under the action of seismic waves are considered in this paper. It is shown that under the seismic waves action the most vulnerable places are the butt joints. The butt joints destruction is mainly connected with the stresses heterogeneities provoked by the interference of two or more distributed stress waves. The case of determination the dynamical shearing forces in butt joints under the action of horizontal waves is considered as their action is the most dangerous. It turns out that maximal shearing stresses under a seismic shock action prevail over the static ones by 43—67 % on the average.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минасян Р. С. Влияние сейсмических волн на поле напряжения сооружений, введенных в оползневых районах. Мат. VIII НТ семинара по вопросам «Геофизические методы в гидрогеологии, инженерной геологии и гидротехнике». Ереван: 1985, 184—188 с.
2. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Ереван: Изд. АН АрмССР 1959. 276 с.
3. Хачиян Э. Е. Сейсмические воздействия на высотные здания и сооружения. Ереван: Айастан, 1973. 251 с.