

УДК 55 034 + 699 841

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

А. В. Минасян

Комплексная сейсмозащита сооружений и конструкций в районах высокой сейсмичности

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 11/XII 1979)

Интенсивное развитие промышленных центров в сейсмоактивных районах влечет за собой повышенные требования к сейсмостойкости сооружений. Обследования последствий сильных землетрясений показывают, что в процессе колебания сооружений часто воздействуют нагрузки, вызывающие частичные разрушения и пластические деформации. Для обеспечения сейсмостойкости ряда ответственных сооружений в данной работе предлагается комплексная сейсмозащита посредством применения i^* , j^* -связей; первые способны мгновенно разрушаться, а в связях второго типа могут развиваться пластические деформации.

Будем рассматривать колебания многомассовой системы в переходных режимах. Предполагается, что внешнее воздействие изменяется по любому закону во времени, а весь процесс термодинамический адиабатный. В Лагранжевых координатах движение многомассовой системы характеризуют функции:

$$Q_k = Q_k | Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_N \}; \quad (1)$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, N.$$

Уравнение энергохарактеристики системы в исследуемых координатах запишем следующим образом:

$$\sum_{j=1}^N \left\{ \sum_{i=1}^N \left[\left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} (\Phi_{ik}^0)^2 M_i Q_k(\xi_p) \right| \frac{\partial Q_k(\xi_p)}{\partial \xi_p} \xi(\xi_p) + \left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} (\Phi_{ik}^0)^2 M_i Q_0(\xi_p) \right| \frac{\partial Q_k(\xi_p)}{\partial \xi_p} \xi(\xi_p) \right] + B^* Q_k(\xi_p) \xi Q_k(\xi_p) = \sum_{i=1}^N \left[(\Phi_{ik}^0)^2 M_i \left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} [Q_k(\xi_p) + Q_0(\xi_p)] \right| [Q_k(\xi_p) + Q_0(\xi_p)] \xi(\xi_p) + \right.$$

$$\begin{aligned}
& (\Phi_{ik}^{(0)})^2 M_i \left\{ \frac{\partial}{\partial \xi_p} [Q_k(\xi_p) + Q_0(\xi_p)] \right\} |Q_k(\xi_p) - Q_0(\xi_p)| \dot{\xi}(\xi_p) + \\
& B_{ik}^* Q_k(\xi_p) \dot{\xi} Q_k(\xi_p) \Big| - \sum_{i=1}^N \left\{ (\Phi_{ik}^{(1)})^2 M_i \left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} Q_0(\xi_p) \right| Q_k(\xi_p) \dot{\xi}(\xi_p) + \right. \\
& (\Phi_{ik}^{(1)})^2 M_i \left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} Q_0(\xi_p) \right| Q_0(\xi_p) \dot{\xi}(\xi_p) + \\
& (\Phi_{ik}^{(1)})^2 M_i \left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} Q_k(\xi_p) \right| Q_0(\xi_p) \dot{\xi}(\xi_p) + \\
& \Phi_{ik}^{(1)} M_i \left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} Q_k(\xi_p) \right| + Q_k(\xi_p) \dot{\xi}(\xi_p) + \\
& \Phi_{ik}^{(1)} M_i \left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} Q_k(\xi_p) \right| Q_0(\xi_p) \dot{\xi}(\xi_p) + \\
& \left. \Phi_{ik}^{(1)} M_i \left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} Q_0(\xi_p) \right| Q_0(\xi_p) \dot{\xi}(\xi_p) \right\}. \quad (2)
\end{aligned}$$

где $\Phi_{ik}^{(0)}$ — собственные функции;

B_{ik}^* — параметр жесткости;

$\dot{Q}_0$ — характеризует внешнее воздействие (скорость движения почвы).

Предполагается, что начиная с момента времени t^* в точке K происходит скачкообразное отключение t^* -связи. Тогда согласно (1) система претерпевает импульсный эффект:

$$\begin{aligned}
& \sum_{p=0}^{t^*} \left\{ \sum_{i=1}^N \left(\left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} (\Phi_{ik}^{(0)})^2 M_i Q_k(\xi_p) \right| \frac{\partial Q_k(\xi_p)}{\partial \xi_p} \dot{\xi}(\xi_p) + \right. \right. \\
& \left. \left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} (\Phi_{ik}^{(0)})^2 M_i Q_0(\xi_p) \right| \frac{\partial Q_0(\xi_p)}{\partial \xi_p} \dot{\xi}(\xi_p) \right) + B_{ik}^* Q_k(\xi_p) \dot{\xi} Q_k(\xi_p) \Big| - \\
& \sum_{p=0}^{t^*} \sum_{i=1}^N \left\{ (\Phi_{ik}^{(0)})^2 M_i \left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} [Q_k(\xi_p) + Q_0(\xi_p)] \right| [Q_k(\xi_p) + Q_0(\xi_p)] \dot{\xi}(\xi_p) + \right. \\
& + (\Phi_{ik}^{(0)}) M_i \left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} [Q_k(\xi_p) + Q_0(\xi_p)] \right| \times [Q_k(\xi_p) + Q_0(\xi_p)] \dot{\xi}(\xi_p) \Big| + \\
& \sum_{p=0}^{t^*} \sum_{i=1}^N \left\{ (\Phi_{ik}^{(1)})^2 M_i \left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} [Q_k(\xi_p) + Q_0(\xi_p) + \dot{\xi} Q_k(\xi_p)] \right| [Q_k(\xi_p) + Q_0(\xi_p) + \right. \\
& + \dot{\xi} Q_k(\xi_p)] \dot{\xi}(\xi_p) + (\Phi_{ik}^{(1)}) M_i \left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} [Q_k(\xi_p) + Q_0(\xi_p) + \dot{\xi} Q_k(\xi_p)] \right| [Q_k(\xi_p) + \\
& + Q_0(\xi_p) + \dot{\xi} Q_k(\xi_p)] \dot{\xi}(\xi_p) \Big| + \sum_{p=0}^{t^*} B_{ik}^* Q_k(\xi_p) \dot{\xi} Q_k(\xi_p) - \\
& \left. \sum_{p=0}^{t^*} \sum_{i=1}^N \left\{ (\Phi_{ik}^{(1)})^2 M_i \left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} Q_0(\xi_p) \right| Q_k(\xi_p) \dot{\xi}(\xi_p) + (\Phi_{ik}^{(1)})^2 M_i \left| \frac{\partial}{\partial \xi_p} Q_0(\xi_p) \right| Q_0(\xi_p) \dot{\xi}(\xi_p) - \right. \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (\Phi_{ik}^0)^2 M_i \left[\frac{\partial}{\partial \dot{\xi}_p} Q_k(\dot{\xi}_p) \right] Q_0(\dot{\xi}_p) \dot{\xi}_p(\dot{\xi}_p) + \Phi_{ik}^0 M_i \left[\frac{\partial}{\partial \dot{\xi}_p} Q_k(\dot{\xi}_p) \right] Q_k(\dot{\xi}_p) \dot{\xi}_p(\dot{\xi}_p) + \\
& + \Phi_{ik}^0 M_i \left[\frac{\partial}{\partial \dot{\xi}_p} Q_k(\dot{\xi}_p) \right] Q_0(\dot{\xi}_p) \dot{\xi}_p(\dot{\xi}_p) + \\
& + \Phi_{ik}^0 M_i \left[\frac{\partial}{\partial \dot{\xi}_p} Q_0(\dot{\xi}_p) \right] Q_0(\dot{\xi}_p) \dot{\xi}_p(\dot{\xi}_p) \Big\}.
\end{aligned} \quad (3)$$

где $\dot{Q}_k$ — параметр, характеризующий нарастание скорости движения.

Вычитая из уравнения (3), (2), переходя к предельным состояниям, после некоторых преобразований и сокращений получим

$$\delta \dot{Q}_k = \dot{Q}_k(\tau^*) \left\{ \left[1 + \left| \sum_{i=1}^N (\Phi_{ik}^0)^2 M_i (\dot{Q}_k(\tau^*))^2 \right|^{-1} \delta B_k(Q_k(\tau^*))^2 \right]^{1/2} - 1 \right\}. \quad (4)$$

С помощью уравнения Лагранжа была получена величина параметра, характеризующая степень развития толчка, при включении пластического шарнира в точке K

$$\delta \dot{Q}_k(\tau^*) = \left| \delta B_k^*(\tau^*) Q_{kp}(\tau^*) \right| \left| \sum_{i=1}^N (\Phi_{ik}^0)^2 M_i \right|^{-1}, \quad (5)$$

где $Q_{kp}(\tau^*)$ представляет порог пластичности.

В формулах (2—5)

$$B_k^* = B_k + \sum_{i=1}^{N^*} i_i^0 \cdot r_{i^*k} + \sum_{j=1}^{M^*} j_j^0 \cdot r_{j^*k}; \quad \delta B_k^* = \sum_{i=1}^{N^*} i_i^0 \cdot r_{i^*k} + \sum_{j=1}^{M^*} j_j^0 \cdot r_{j^*k};$$

$$\Phi_{ik}^0 = \Phi_{i^*k}^0 + \Phi_{ik};$$

$$\Phi_{ik}^* = (B_k^*)^{-1} \left[\left(\sum_{i=1}^{N^*} i_i^0 \cdot r_{i^*k-1} + \sum_{j=1}^{M^*} j_j^0 \cdot r_{j^*k-1} + \sum_{i=1}^{N_k} i_i^0 \cdot r_{i^*k} + \right. \right. \quad (6)$$

$$\left. \sum_{j=1}^{M^*} j_j^0 \cdot r_{j^*k} \right) \Phi_{ik-1}^* - \left(\sum_{i=1}^{N^*} i_i^0 \cdot r_{i^*k-1} + \sum_{j=1}^{M^*} j_j^0 \cdot r_{j^*k-1} \right) \Phi_{ik-2}^* \Big];$$

$$\Phi_{ik} = (B_k^*)^{-1} [(B_{k-1} - B_k - M_{k-1} \Omega_i^2) \Phi_{ik-1} - B_{k-1} \Omega_{ik-2}],$$

M_k^*, N_k^* — количество i^*, j^* -связей в точке K ;

r_{i^*k}, r_{j^*k} — соответственно реакции связей;

i^0, j^0 — направляющие хорды.

Таким образом, с помощью (4), (5), (6) можно получить эффекты, вызванным повреждением связей в точке K по i форме колебания или количество i^*, j^* -связей, если известно приращение ускорения и скорости движения в переходном режиме.

Смещение и деформации получаются интегрированием дифференциальных уравнений в упругой стадии и в переходных режимах при известных начальных условиях.

Имея напряженно-деформационное состояние, сейсмические силы определяем согласно (2).

На рис. 1, а—д показаны некоторые условные принципиальные схемы размещения связей. Не нарушая архитектурных композиций, эти системы могут успешно применяться для сейсмозащиты общественных зданий и различных сооружений в районах повышенной сей-

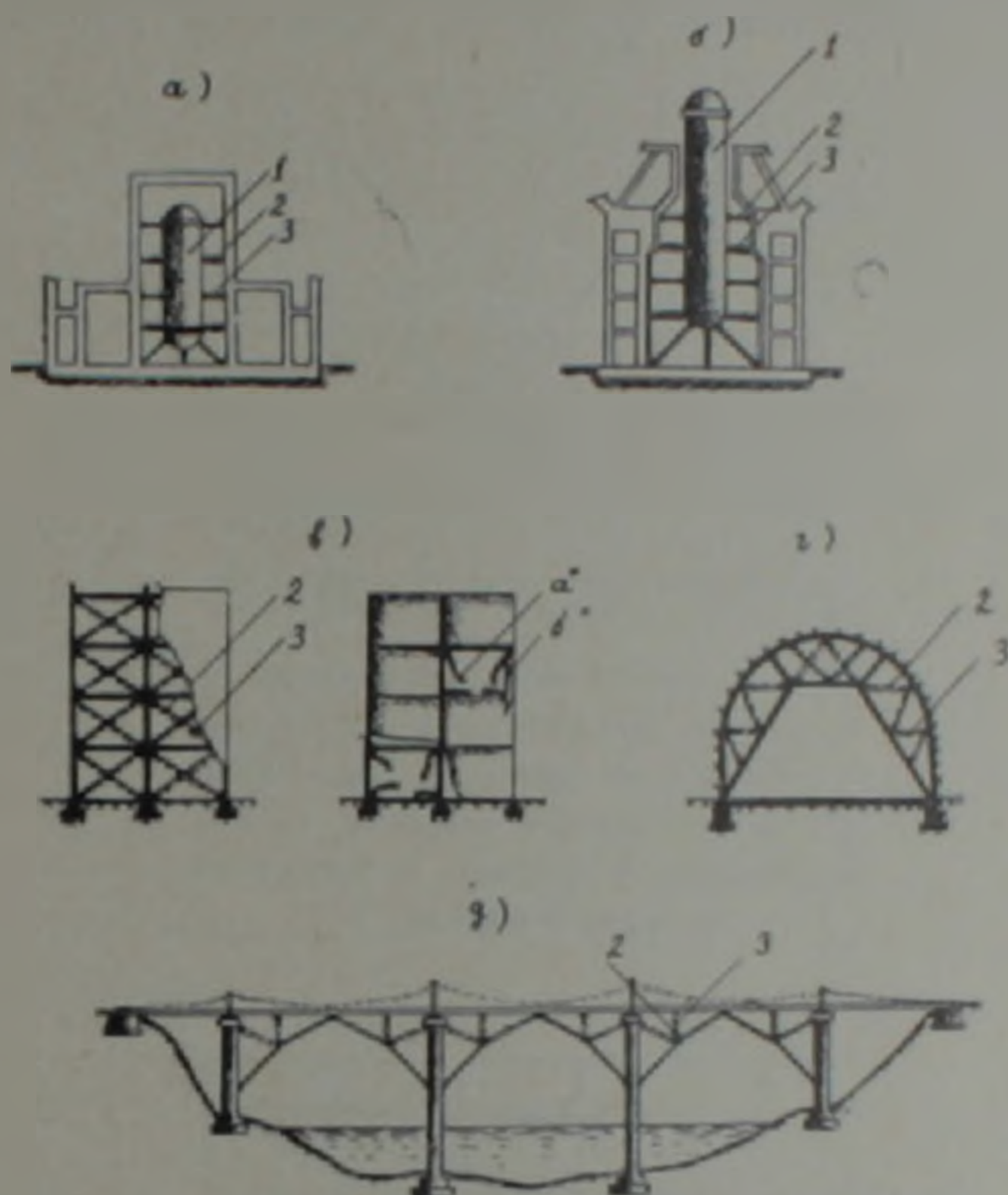


Рис. 1 Принципиальные схемы комплексной сейсмозащиты сооружений.

а—реактора барботажных систем АЭС, б—реактора одноконтурных систем АЭС; в—каркасного здания, г—тоннеля; д—моста 1—реактор; 2—связь типа I^0 ; 3—связь типа II^0 ; а'—повреждение связей при землетрясениях; б'—вращение панели для восстановления сейсмозащитных систем

смоопасности. Следует лишь прогрессивно разработать технологию размещения и восстановления их после землетрясений.

В табл. 1 приведены некоторые результаты расчета на сеймостойкость ядерного реактора с учетом развития пластических шарниров и связях типа II^0 . Масса реакторов $M_p = 7346,938 - \frac{\text{кгс сек}^2}{\text{см}}$

период колебания реактора:

$$T = 2\pi (M_p K)^{-1/2}$$

где K —общий коэффициент жесткости реактора:

$$K = \sum_{i=1}^N M_p g (\Phi_{i0}^2) r_{i0}^{-1}$$

В качестве собственных функций принято смещение точечных

масс. В табл. 2 приведены результаты расчета 4-этажного каркасного здания (¹) с учетом разрушения сейсмозащитных связей на первом этаже, причем коэффициент риска $K=0,45$. В случае учета одновременного выхода i^*, j^* —связей результаты расчета для реактора приведены в табл. 3. На рис. 2 показана степень изменения безразмер-

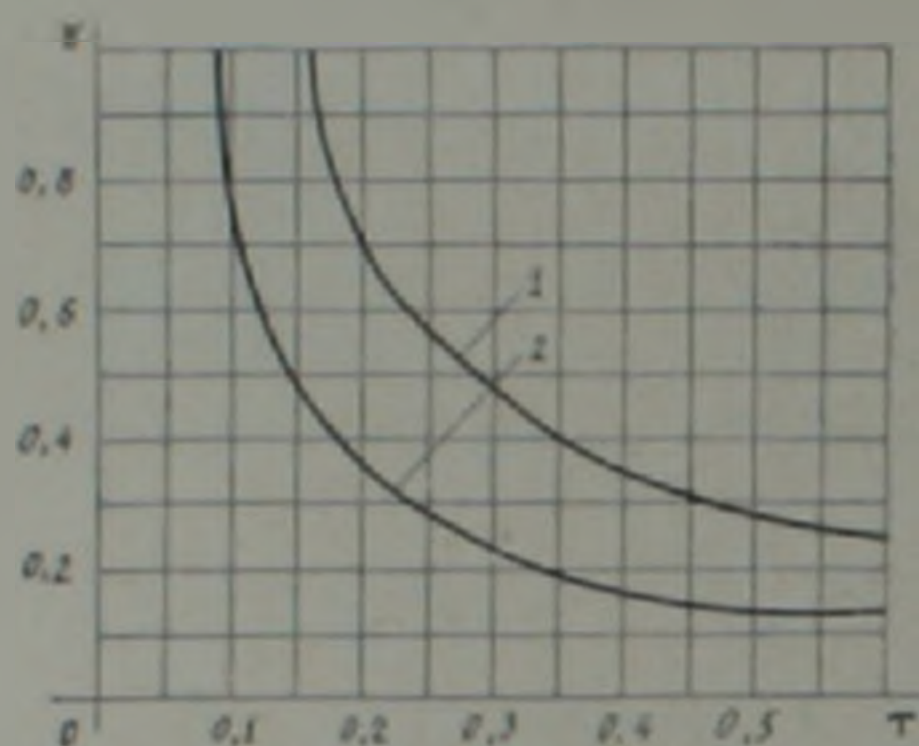


Рис. 2. Зависимость безразмерного параметра сейсмической нагрузки ($\gamma = S_1 / S_{1np}$) от периода колебаний (T) в переходных режимах 1—интенсивность 8 баллов, 2—интенсивность 9 баллов

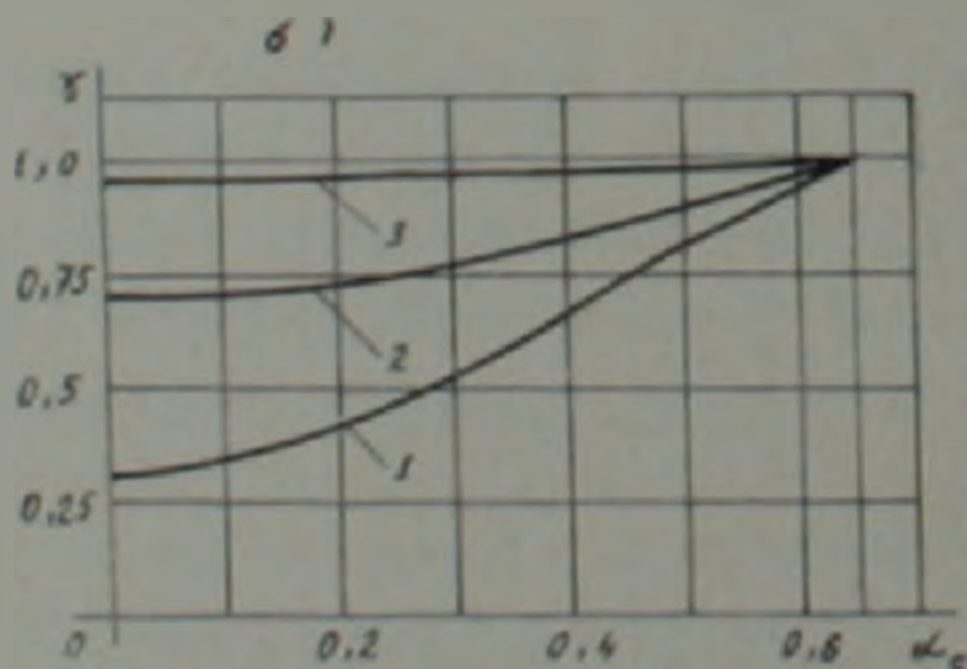
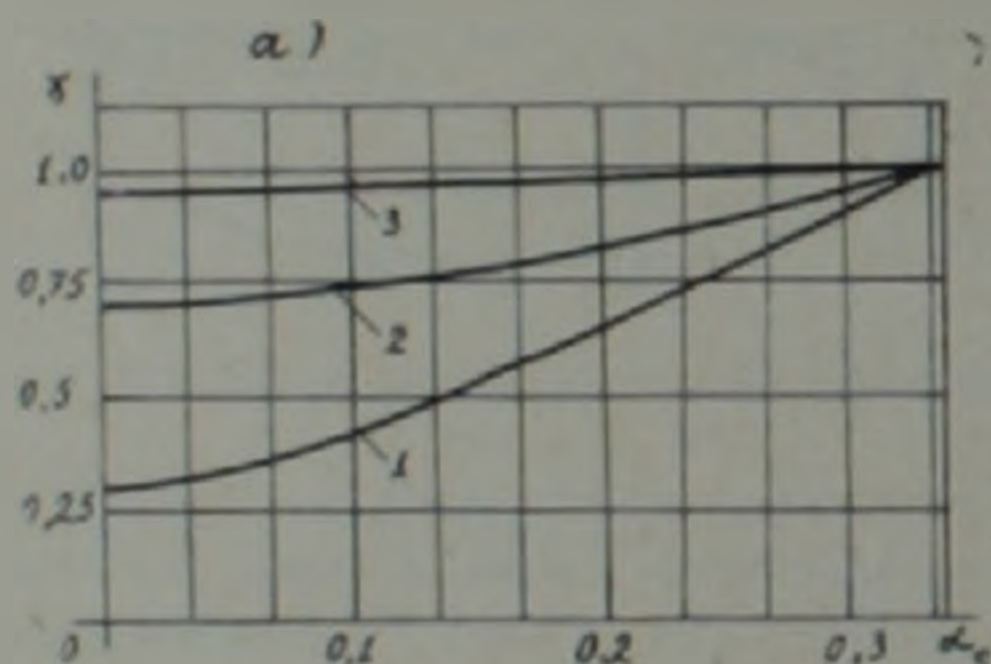


Рис. 3. Зависимость безразмерного параметра сейсмической нагрузки от предела текучести системы в переходных режимах при коэффициенте риска: 1—0,9, 2—0,5; 3—0,1, а—для 8 баллов, б—для 9 баллов

ного параметра сейсмической нагрузки от периода колебания ядерного реактора в переходных режимах. На рис. 3,а, б изображены зависимости изменения безразмерного параметра сейсмической нагрузки от предела текучести сейсмозащитной системы ядерного реактора при разных значениях коэффициента риска.

Таблица 1

Интенсивность, баллы	$m = M^{\circ}$	Сейсмическая нагрузка, тс		$\gamma^* = \frac{S_y}{S_n}$
		упругое решение	учет пластической деформации в связях	
7.5	5	2369.089	2280.415	1.039
8	20	3672.380	2099.364	1.749
8.5	15	4694.304	3211.75	1.462
9	15	7034.184	4432.091	1.587

Таблица 2

Этаж	Сейсмическая нагрузка, тс		
	упругое решение	по СНиП	при отключении связей
IV	441.52	130.70	329.21
III	280.67	126.23	179.45
II	194.26	75.95	104.92
I	112.44	39.91	67.32

Таблица 3

Интенсивность, баллы	$m = M^{\circ}$	$n = N^{\circ}$	Сейсмическая нагрузка, тс		
			упругое решение	учет пластических деформаций в связях	учет мгновенного разрушения связей
8	10	10	3672.380	2817.251	2303.052
9	10	10	7034.184	5460.834	4691.184

Как видно из таблиц и графиков, при повреждении сейсмозащитных связей сейсмические нагрузки, действующие на сооружения, значительно уменьшаются.

Ордена Трудового Красного Знамени
Институт геофизики и
инженерной сейсмологии
Академии наук Армянской ССР

Կառույցների և կոնստրուկցիաների կոմպլեքս սեյսմապաշտպանությունը բարձր սեյսմիկ շրջաններում

Աշխատանքում հետազոտվում է սեյսմապաշտպանի սխեմաների քայ-
քայումը երկրաշարժերի ժամանակ: Մի շարք պատասխանատու կառույցների
սեյսմակայունությունը ապահովելու համար առաջարկվում է կոմպլեքս սեյս-
մապաշտպանություն i^* , j^* — կապերի օգտագործման միջոցով: Նշված կա-
պերից առաջինները ունակ են ակնթարթորեն անջատվելու, իսկ երկրորդ
տեսակի կապերը առանձնահատկության սահմանից դուրս ունակ են պլաստիկ
քայքայման:

Հիմնական դրույթների հետևությունը անելիս օգտագործված են ⁽¹⁻⁵⁾
տեսությունները: Քվային հաշվարկները ցույց են տալիս ուժային պարամետ-
րների զգալի փոփոխություն՝ կախված i^* , j^* — կապերի քայքայումից՝ անցու-
մային ռեժիմներում:

ЛИТЕРАТУРА — ԿՐԻՈՒՄՆՈՒՅՈՒՆ

- ¹ А. Г. Назаров, ДАН АрмССР, т. 44, № 5 (1967).
- ² К. С. Забурев, А. Г. Назаров и др., Руководство по проектированию сейсмостойких зданий и сооружений, т. I—IV, Стройиздат, М., 1969—1972.
- ³ И. Л. Корчинский и др., Основы проектирования зданий в сейсмических районах, Госстройиздат, М., 1961.
- ⁴ Я. М. Айзенберг и др., Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений, «Наука», М., 1978.
- ⁵ И. М. Рабинович, в сб.: Исследования по динамике сооружений, М., Стройиздат, 1947.
- ⁶ И. М. Бабаков, Теория колебания, «Наука», М., 1968.
- ⁷ Инженерный анализ последствий землетрясений в Японии и США, Стройиздат, М., 1961.
- ⁸ Я. М. Айзенберг, Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов, Стройиздат, М., 1976.