

ТВОРИЯ СООРУЖЕНИЙ

А. Г. Назаров

**Метод построения „инструментальной“ теории сейсмостойкости**

(Представлено И. В. Егназаряном 1 VI 1945)

Исследования показывают, что природа сейсмических сил крайне сложна и не может быть исчерпана упрощенными интерпретациями действия сейсмических сил, данными различными авторами (1,2).

Попытка Benioff'a и Biot дать метод инструментальной оценки действия сейсмических сил на сооружения представляется, с нашей точки зрения, не совсем удачной (3,5). Здесь мы предлагаем новый метод построения теории сейсмостойкости, основанный на переработке сейсмического спектра ускорений.

Динамическое состояние сооружения, в предположении его совершенной упругости и без учета сил внутреннего трения, описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$q_i'' + k_i^2 q_i = -\alpha_i y_0'', \quad (1)$$

где:

- $q_i$  — нормальные координаты сооружения,
- $k_i$  —  $i$ -круговая частота свободных колебаний,
- $y_0''(t)$  — ускорение почвы при землетрясении,
- $\alpha_i$  — некоторые константы сооружения.

Деформированное состояние сооружения определяется суммой

$$D = \sum q_i(t) \varphi_i(x, y, z), \quad (2)$$

где  $\varphi_i(x, y, z)$  — фундаментальная функция сооружения.

Предположим, что в нашем распоряжении имеется система сейсмографов с теми же круговыми частотами  $k_i$ . Уравнения колебания этих сейсмографов запишутся так:

$$u_i'' + k_i^2 u_i = -\beta_i y_0'', \quad (3)$$

- где  $u_i$  — смещение сейсмографа,
- $\beta_i$  — некоторая константа сейсмографа.

Из (1), (2) и (3) следует, что

$$D = \sum \frac{\alpha_i}{\beta_i} u_i(t) \varphi_i(x, y, z). \quad (4)$$

Ясно, что выражение (4) включает в себе как вынужденные, так и свободные колебания. Получив (4), можно, принципиально говоря, вычислить напряженное состояние сооружения в любой момент времени. По существу мы осуществили инструментальное решение системы дифференциальных уравнений (1), к которым приводит проблема теории сейсмостойкости. Мы до сих пор исходили из условия, что периоды свободных колебаний сейсмографов совпадают с периодами колебания сооружения. При установке достаточно большого количества сейсмографов с различными периодами свободных колебаний это ограничение отпадает, так как появляется возможность в интерполяции между их показаниями.

Наиболее неудобным моментом в излагаемом способе является необходимость отыскания максимальных напряжений в каждой точке сооружения в отдельности.

Мы предлагаем остановиться, если так можно выразиться, на средне-невыгоднейших комбинациях  $\varphi_i$ , которые в среднем давали бы наибольшие напряжения для всего сооружения в целом. Пойдем для этого на следующее упрощение, идущее в целом в запас. Именно, предположим, что все максимумы смещений сейсмографов

$$F_i = \max u_i$$

имеют место в один и тот же момент времени и имеют один и тот же знак. Тогда и смещения элементов сооружения, в среднем, будут иметь один и тот же знак. Такое упрощение не должно давать результаты, сильно отклоняющиеся от действительности (3).

Обозначим через  $\tau_i$  то фиктивное ускорение почвы, которое, будучи статически приложено к сейсмографу с круговой частотой  $k_i$ , давало бы данное „максимальное“ смещение  $F_i$ . Тогда ясно

$$\tau_i = - \frac{F_i k_i^2}{\beta_i} \quad (5)$$

В дальнейшем это ускорение будем называть приведенным и (4) примет вид

$$D = - \sum \frac{\alpha_i \tau_i}{k_i^2} \varphi_i \quad (6)$$

Для пользования (6) необходимо определение фундаментальных функций, что представляет для жестких сооружений, которых большинство, непреодолимые трудности. Мы рекомендуем график зависимости приведенного ускорения от периода свободных колебаний сейсмографа  $\tau(T)$ , получаемого от различных землетрясений, заменить осредненной на каждом участке ступенчатой линией.

Наметим, например, три таких участка: для жестких сооружений, т. е. при  $0 < T < 0,3$  сек; для средне-гибких сооружений ( $0,3 < T < 0,8$  сек) и для гибких сооружений ( $0,8 < T < 2$  сек) с соответствующими осредненными сейсмическими ускорениями  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  и  $\tau_3$ .<sup>\*</sup> Тогда для

<sup>\*</sup> Приведенные здесь градации жесткостей сооружений даны условно. Они могут быть уточнены при получении графиков сейсмических ускорений  $\tau(T)$ .

жестких сооружений, на основании (6), мы будем иметь „статическое“ приложение сейсмического ускорения. Стало быть мы приходим к формуле, внешне совпадающей с формулой Омори:

$$P = \frac{Q}{m_0} \tau_1, \quad (7)$$

где  $P$  — максимальная расчетная сила инерции приложения к массе, вес которой  $Q$ . Ясно, это совпадение чисто внешнее, так как учитывает всю сложность динамики явления, в том числе и свободные колебания. Вместе с тем мы имеем все удобства статического метода расчета для жестких сооружений, которых большинство.

Для остальных сооружений, в общем случае, на основании (6) и (7) имеем, помимо (7) для определения инерционных сил, дополнительный член

$$\ddot{f} = (\tau_3 - \tau_1) \frac{\alpha_1 \varphi_1}{k_1^2} + (\tau_2 - \tau_1) \frac{\alpha_2 \varphi_2}{k_2^2} \quad (8)$$

Вместе с тем, как раз для гибких сооружений представляется возможным определение первой и второй фундаментальных функций  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ .

Для реальной оценки силы землетрясений, полезной с инженерной точки зрения, необходима, следовательно, установка в различных, наиболее характерных пунктах сейсмических районов, систем сейсмометров с различными периодами свободных колебаний, фиксирующих максимальные отклонения маятников. Графики зависимости приведенных сейсмических ускорений  $\tau(T)$  дадут реальное представление о природе данного землетрясения и заменят в будущем шкалу сейсмических ускорений Канкани, условность которых давно осознана (4).

Институт сооружений  
и строительных материалов  
Академии Наук Арм. ССР.  
Ереван, 1945 март.

Ա. Գ. ՆԱԶԱՐՈՎ

**Սեյսմակայունությունը ինստրումենտալ, սեյսմոլոգիական և կառուցման մեթոդ**

Այս աշխատության մեջ արծարծվում է կառուցվածքների վրա սեյսմիկ ուժերի ներգործությունը ինստրումենտալ եղանակով որոշելու մի նոր մեթոդ, որը հիմնված է ճոճումների տարբեր պարբերություն ունեցող սեյսմոգրաֆների ցուցմունքների վրա: Ստացված գրանցումները մշակելուց հետո, կոշտ կառուցվածքների հաշվարկման համար, որոնք մեծամասնությամբ են կաղված, կարելի է օգտվել Օմորիի բանաձևից, հիմնված սեյսմակայունության ստատիկական տեսության վրա, սակայն այն էական տարբերությամբ, որ այնտեղ մտցվում է «բերված» սեյսմիկ արագացում, որը միջին հաշվով նկատի է առնում սեյսմիկ բեռնավորման և կոնստրուկցիայի դինամիկայի ողջ բարդությունը:

Երկրաշարժների նկատմամբ կատարված երկարատև ինստրումենտալ

դիտումների կուտակման հետեանքով կարելի է հրաժարվել սեյսմիկ արագացումների կանկանիի ցուցնակից, որի պայմանականութունը վաղուց ի վեր պիտակցված է, փոխարինելով այն «բերված» սեյսմիկ արագացումների ցուցնակով:

A. G. Nazarov

#### A Method for Building Up an „Instrumental“ Theory of Seismic Stability

A new method of instrumental determination of the effects of seismic force on structures is shown based on readings made on a system of seismographs having different free oscillation frequency. For the seismic design of rigid structures, which are most common, after a suitable treatment of the seismograph records, the Omori's formula may be used. This formula based on the static theory of seismic stability is used with the essential particularity, that a reduced seismic acceleration is introduced, taking into account the whole complication of the dynamics of the structure and seismic load.

As a result of an accumulation of long time instrumental seismic observations it may be possible renounce using Cancani's seismic acceleration scale, the conditional character of which is known long ago; this scale is substitute by a scale of reduced acceleration.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. K. Sayehizo. Proc. of Amer. Soc. of Civ. Eng. May 1932, V. 52, p. 2.
2. А. Г. Назаров. „Некоторые вопросы теории сейсмостойкости“. Зак. конференция по антисейсмическому строительству. Изд. Арм. ФАН, Ереван, 1942.
3. H. Benioff. Bul. of the Seism. Soc. of America, vol. 24, № 4, 1934.
4. В. А. Быховский. „О сейсмических шкалах“. Тр. Сейсм. Инст., № 73, М.—Л., 1936.
5. М. А. Biot. „Bul. of the Seismol. Soc. of America“, vol. 31, № 2, 1941.