

В. Л. МНАЦАКАНЯН

## К ПОДБОРУ МАТЕРИАЛА ЗА ПРЕДЕЛАМИ УПРУГОСТИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВОПРОСОВ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ НА МОДЕЛЯХ

Одним из важных вопросов при исследовании сейсмостойкости зданий и сооружений на моделях является правильный подбор материала по множителям подобия. В частности это относится к материалам типа бетон, кладка и др., следующим закону нелинейного деформирования.

Для таких материалов с достаточной точностью можно принять следующую индикаторную кривую:

$$\sigma = \frac{E_0 \varepsilon}{\lambda_p \frac{E_0 \varepsilon}{R_{np}} + 1} = \frac{E_0 \varepsilon}{C_{np} \varepsilon + 1},$$

где  $E_0$  — модуль упругости (начальный);  $R_{np}$  — разрушающее напряжение (призменная прочность);  $\lambda_p$  — коэффициент пластичности в момент разрушения;  $C_{np}$  — относительный модуль пластичности в момент разрушения.

Для материала модели соответственно будем иметь:

$$\sigma' = \frac{E'_0 \varepsilon'}{\lambda'_p \frac{E'_0 \varepsilon'}{R'_{np}} + 1} = \frac{E'_0 \varepsilon'}{C'_{np} \varepsilon' + 1}$$

В данном случае критерии подобия будут:

$$\varepsilon' = \gamma \varepsilon; E'_0 = \frac{\beta}{\gamma} E_0; \lambda'_p = \lambda_p; C'_{np} = \frac{1}{\gamma} C_{np}; R'_{np} = \beta R_{np}.$$

Таким образом речь идет об оптимальном подборе множителей подобия основных механических величин  $\beta$  и  $\gamma$  ( $\beta$  — множитель подобия напряжений,  $\gamma$  — деформаций), так, чтобы индикаторные кривые модели и оригинала возможно точно могли быть преобразованы одна в другую.

Как указывает А. Г. Назаров [1], в общем случае, выбор оптимальных величин множителя подобия  $\beta$  и  $\gamma$  при подборе материала с учетом деформаций за пределами упругости проводится на основе способа наименьших квадратов. Этот способ точный, но вместе с тем требует практически громоздких сложных вычислений.

Предлагаемый нами упрощенный способ выбора оптимальных величин множителей подобия  $\beta$  и  $\gamma$  заключается в следующем: доводы и результаты расчетов приводятся на конкретном примере подбора модельного материала модели конструкции сооружений Арм. АЭС, выполненного из ж/бетона.

На основании испытаний бетонных призм размерами  $10 \times 10 \times 30$

см, для оригинала и модели на центральное сжатие определены основные механические величины, характеризующие материал оригинала и модели (табл. 1).

Таблица 1

Механические характеристики материалов											
Бетон марки 300						Бетон марки 25					
Оригинал						Модель					
$R_{пр}$ кг/см <sup>2</sup>	$E_0 \cdot 10^5$ кг/см <sup>2</sup>	$C_0$	$C_{пр}$	$\lambda_{пр}$	$\varepsilon \cdot 10^{-5}$	$R'_{пр}$ кг/см <sup>2</sup>	$E'_0 \cdot 10^5$ кг/см <sup>2</sup>	$C'_0$	$C'_{пр}$	$\lambda'_p$	$\varepsilon' \cdot 10^{-5}$
210	3.15	1500	960	0,64	185	18	0.52	2600	1625	0,63	78

Результаты обработки опытных данных показали (рис. 1а), что индикаторная диаграмма  $\sigma$ — $\varepsilon$  для оригинала следует зависимости:

$$\sigma_1 = \frac{3.15 \cdot 10^5 \cdot \varepsilon_1}{960 \cdot \varepsilon_1 + 1},$$

а индикаторная диаграмма  $\sigma'$ — $\varepsilon'$  модели (рис. 1б)—зависимости:

$$\sigma'_1 = \frac{0.52 \cdot 10^5 \cdot \varepsilon'_1}{1625 \cdot \varepsilon'_1 + 1}.$$

Точки  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon'_1$ ;  $\sigma_1$  и  $\sigma'_1$  являются предельными при расчете на силовые воздействия (рис. 1а, б). Отсюда автоматически определяются значения множителя подобия:

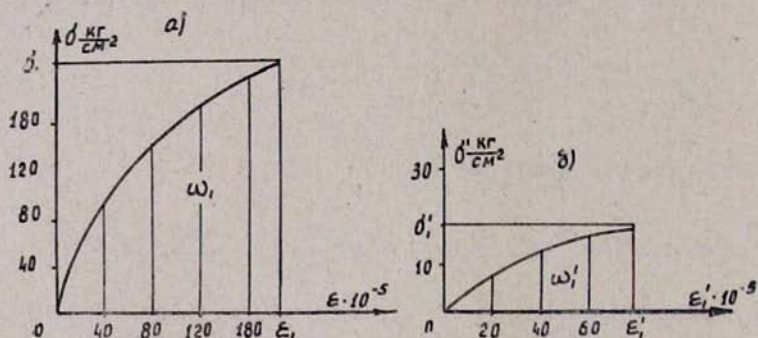


Рис. 1. Индикаторные кривые: а—оригинала, б—модели

$$\gamma = \frac{\varepsilon'_1}{\varepsilon_1}.$$

Площадь, ограниченная индикаторной кривой оригинала,

$$\omega_1 = \int_0^{\varepsilon_1} \sigma_1(\varepsilon_1) d\varepsilon_1 = \int_0^{\varepsilon_1} \frac{E_0 \varepsilon_1}{C_{пр} \varepsilon_1 + 1} d\varepsilon_1, \text{ а для}$$

модели

$$\omega'_1 = \int_0^{\varepsilon'_1} \sigma'_1(\varepsilon'_1) d\varepsilon'_1 = \int_0^{\varepsilon'_1} \frac{E'_0 \varepsilon'_1}{C'_{np} \varepsilon'_1 + 1} d\varepsilon'_1.$$

Следовательно, отношение площади ограниченной кривой диаграммы  $\sigma'_1 - \varepsilon'_1$  модели к площади ограниченной кривой диаграммы  $\sigma_1 - \varepsilon_1$  оригинала представляет собой не что иное, как множители подобия  $\beta$  и  $\gamma$ . Обозначим отношение этих площадей через  $k$ , тогда будем иметь  $k = \frac{\omega'_1}{\omega_1} = \frac{\sigma'_1 \varepsilon'_1}{\sigma_1 \varepsilon_1} = \beta \gamma$ .

Отсюда по известному множителю подобия  $\gamma$  находим величину множителя подобия  $\beta = \frac{k}{\gamma}$ .

Для рассмотренного нами конкретного случая имеем: для оригинала (рис. 1а)

$$\omega_1 = \int_0^{\varepsilon_1} \frac{E_0 \varepsilon_1}{C_{np} \varepsilon_1 + 1} d\varepsilon_1 = \frac{E_0}{C_{np}} \left[ \varepsilon_1 - \frac{1}{C_{np}} \ln(C_{np} \varepsilon_1 + 1) \right] = 0,257,$$

для модели (рис. 1б)

$$\omega'_1 = \int_0^{\varepsilon'_1} \frac{E'_0 \varepsilon'_1}{C'_{np} \varepsilon'_1 + 1} d\varepsilon'_1 = \frac{E'_0}{C'_{np}} \left[ \varepsilon'_1 - \frac{1}{C'_{np}} \ln(C'_{np} \varepsilon'_1 + 1) \right] = 0,00883.$$

Оптимальные величины множителей подобия, вычисленные по способу наименьших квадратов, равны  $\beta = 0,083$  и  $\gamma = 0,421$ . Те же величины, определенные по способу отношений предельных интегральных площадей, равны  $\beta = 0,08$  и  $\gamma = 0,44$ . Отклонение для  $\beta$  и  $\gamma$  составляет 4—5%.

Приведенный прием подбора множителей подобия упругопластичных материалов в практическом отношении наиболее прост и удобен и рекомендуется использовать при моделировании материалов с криволинейной характеристикой в экспериментальных исследованиях вопросов сейсмостойкости зданий и сооружений.

Считаем наиболее существенным в изложенном то, что показана принципиальная возможность улучшения методов экспериментирования над моделями при приближенном моделировании.

Филиал ВНИИАЭС, НПО  
«Энергия»

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров А. Г. О механическом подобии твердых деформируемых тел. Ереван, Изд. АН АрмССР, 1985.