

УЧЕТ СВОЙСТВ КЕРАМЗИТОБЕТОНА В ИССЛЕДОВАНИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

И.С.Пивоваров, студент гр. ЗПГС-604м

Научный руководитель – аспирант О.И.Столевич.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Учет свойств материала при определении напряжений в бетоне может правильно отразить работу бетона, если в основу будет положен действительный закон, связывающий напряжения и деформации.

По прогнозам исследователей на ближайшие 50 лет основным строительным материалом остаётся железобетон. Теория расчета бетона и железобетона постоянно развивается и совершенствуется.

Повышение эффективности применения железобетонных конструкций в строительстве связано с совершенствованием методов их расчетов, а также с разработкой оптимальных с точки зрения минимальных затрат энергии конструкций. В настоящее время недостаточно изученным, на наш взгляд, остается напряженно – деформированное состояние, трещинообразование и несущая способность железобетонных элементов.

Учет свойств материала при определении напряжений в бетоне может правильно отразить работу бетона, если в основу будет положен действительный закон, связывающий напряжения и деформации.

Различные функциональные зависимости для выражения закона связывающего σ и ϵ были предложены рядом исследователей.

В связи с развитием различных расчетных методов предлагается много различных уравнений для аналитического выражения диаграммы сжатия бетона $\sigma = f(\epsilon)$. В подавляющем большинстве случаев, в этих уравнениях не стоит задача раскрыть физический смысл тех или иных отклонений от линейной зависимости, преследуется лишь цель описания кривой, в наибольшей степени, отвечающей экспериментам. Для диаграммы сжатия и растяжения бетона предлагались уравнения, основанные на степенном законе Г.Б. Бюльфингера, параболической зависимости Ф.И. Герстнера, зависимостях Сен-Венана, Баха, Риттера и др.

В рекомендациях международных организаций ЕКБ-ФИП, которые базируются на обширном экспериментальном материале, накопленном исследователями приняты зависимости между напряжениями и деформациями сжатого бетона по системе нормируемых показателей в графической форме, согласно предложению Рюша и Трассера к нормам DIN1045. В них строго учитывается отношение между напряжениями и деформациями для характерных точек кривых, отвечающих максимальному напряжению бетона, предельным деформациям, начальному уровню загрузки для оценки упругих свойств бетона по модулю упругости. Согласно зависимостям ЕКБ-ФИП [1], с увеличением класса бетона начальный модуль упругости бетона увеличивается, а предельная сжимаемость уменьшается. Максимальное напряжение бетона для всех классов принято при одном значении относительного сжатия $\varepsilon_M = 0,0022$ (рис.1.).

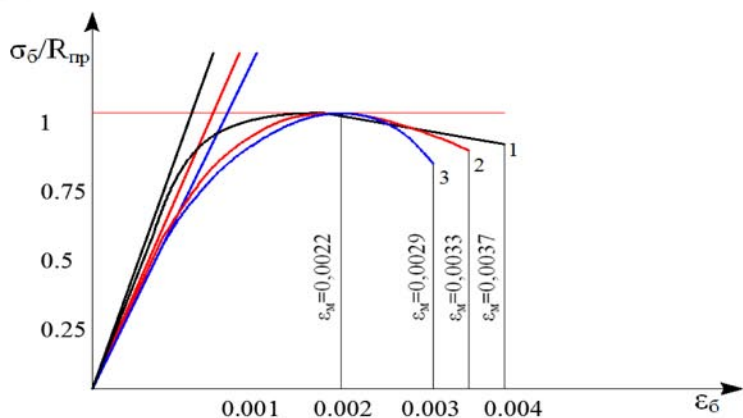


Рис. 1. Зависимость $\sigma_b = f(\varepsilon_b)$, принятая в рекомендациях ЕКБ-ФИП для бетонов прочностью: 1-20 МПа; 2-40 МПа; 3-60 МПа

Расчет бетонных и железобетонных элементов возможно упростить, если вместо графической использовать аналитическую форму зависимости. Такие предложения имеются в нормах США, где она описывается двумя уравнениями (рис. 2.) соответственно на участках I и II:

$$\text{Участок I} \quad \sigma_{b,I} = \sigma_b \left[2 \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_M} - \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_M} \right)^2 \right]. \quad (1)$$

$$\text{Участок II} \quad \sigma_{b,II} = \sigma_{b,\max} \left(1 - 0,15 \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_M}{\varepsilon_k - \varepsilon_M} \right). \quad (2)$$

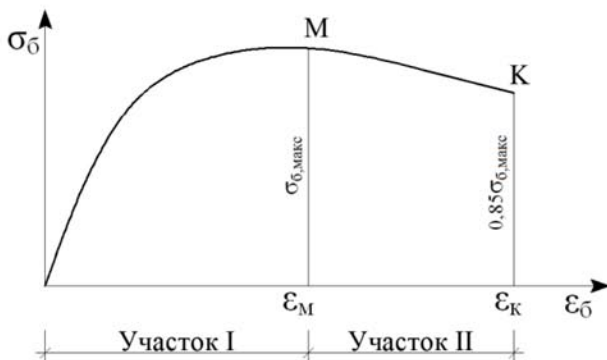


Рис. 2. Зависимость $\sigma_0=f(\epsilon_0)$, принятая в нормах США

Для бетонов всех классов напряжение, отвечающее предельному относительному сжатию, составляет 85% от максимального значения (рис. 1. и 2). В формуле (1) недостаточно учтены упругие свойства бетонов высоких классов и пластические свойства бетонов низких классов. В модели ЕКБ-ФИП в 1990 г. формула (1) развернута так, чтобы лучше учитывать упругие и пластические свойства бетонов.

За счет введения коэффициента $k=E_c/E_{cl}$, где E_c - тангенциальный (начальный) модуль упругости, E_{cl} - секущий модуль упругости, зависимость (1) получила, более сложный вид:

$$\sigma_c = \frac{k \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cl}} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cl}} \right)^2}{1 + (k-2) \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cl}}} * f_{cm}, \quad (3)$$

где f_{cm} - цилиндрическая прочность бетона, которая примерно равна призменной прочности R_b , так как $R_{\text{призм}}/R_{\text{цил}}=0,8$;

$\epsilon_{cl}=0,0022$ - деформации бетона при максимальном напряжении $\sigma_{max} = f_{cm}$;

ϵ_c - текущая координата по деформациям.

Более сложный уровень функциональных зависимостей рекомендованных Евро - Интернациональным комитетом по бетону (ЕКБ-ФИП).

В предложениях ранних лет, что характерно, делались попытки в диаграмме сжатия бетона установить участки, которые выражали бы определенные свойства материала. В исследованиях конца XIX века, к примеру, предлагалось на диаграмме сжатия бетона различать три участка. Начальный участок зависимости $\sigma = f(\epsilon)$ имеет большую кривизну (причем вогнутость обращена к абсциссе). Следующий

участок приближен к прямой. Последняя часть кривой характерна увеличением кривизны, и заканчивалась разрушением материала. Как отмечено исследователями, увеличение деформаций совпадает с поперечным расширением твердого тела.

Экспериментально устанавливаемая линейная зависимость « $\sigma - E'$ » при кратковременном сжатии призматических образцов (даже без доведения их до разрушения) дает возможность определить путем линейной экстраполяции (графическим или аналитическим методом математической статистики) истинное значение модуля упругости E_0 , как предельное значение секущего модуля упруго-пластичности E' , при $\sigma=0$ [2]. По аналогии может быть установлено, с учетом принятой скорости нагружения, предельное значение модуля упруго-пластичности E_{np} и предельная деформация сжатия ε_{np} , при $\sigma = R_{np}$.

С учетом известного положения о том, что зависимость «напряжения - секущий модуль упруго-пластических деформаций» (σ_b/E'_0) при сжатии призматических образцов, нагружаемых с постоянной скоростью, линейна вплоть до разрушения образца при нелинейности зависимости $\sigma_b - \varepsilon_b$ после преобразований была получена аппроксимация кривой $\sigma_b - \varepsilon_b$:

$$* \varepsilon_R^{(1-\nu_R)} (E_0 * \nu_R)^{\nu_R} * \varepsilon_b^{\nu_R} = E_0 * \nu_R * \varepsilon_R^{(1-\nu_R)} * \varepsilon_b^{\nu_R} \quad , \quad (4)$$

$$- [\lambda_R / (1 - \lambda_R)] * (\sigma_b / R_b)^{[1 / (1 - \lambda_R)]} 1 / E_0 \quad , \quad (5)$$

Процесс деформирования бетонов, в настоящее время, предлагается описывать при помощи структурно-реологической теории [3].

Для учета вопросов ползучести, как длительного процесса, необходимо ввести дополнительные условия.

Наиболее простым способом совмещения деформаций [3,4], в настоящее время, является зависимость:

$$\varepsilon = \varepsilon^{M} + \varepsilon^{M\tau} \quad , \quad (6)$$

где: ε^{M} - упруго-мгновенные деформации,

$\varepsilon^{M\tau}$ - неупругие деформации ползучести.

Начальный модуль упругости бетона зависит от множества факторов. Согласно действующих норм начальный (условный) модуль упругости бетона $E_0 = E_{0,2}$, задается величиной секущего модуля упруго-пластичности $E_{0,2}$ при малых значениях напряжений по загрузочной ветви кривой $\sigma - \varepsilon$. Значение модуля упругости по такому определению является приближенным, поскольку не учитываются погрешности пластических деформаций бетона и погрешности допускаемые при изме-

рении малых деформаций.

Выводы

1. Расчет бетонных и железобетонных элементов возможно упростить, если вместо графической использовать аналитическую форму зависимости.

2. Согласно зависимостям ЕКБ-ФИП, с увеличением класса бетона начальный модуль упругости бетона увеличивается, а предельная сжимаемость уменьшается.

3. Согласно действующих норм начальный (условный) модуль упругости бетона $E_{\sigma} = E_{\sigma_0}$ задается величиной секущего модуля упруго-пластичности $E_{0,2}$ при малых значениях напряжений по загрузочной ветви кривой $\sigma - \epsilon$. Значение модуля упругости по такому определению является приближенным, поскольку не учитываются погрешности пластических деформаций бетона и погрешности допускаемые при изменении малых деформаций.

Литература

1. ЕКБ-ФИП. Международные рекомендации для расчета и осуществления обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций. М., НИИЖБ Госстроя СССР, 1970.

2. Кроль И.С., Красновский Р.О. Некоторые вопросы методики определения деформативных характеристик бетона при осевом сжатии // Экспериментальные исследования инженерных сооружений / Сб. науч. тр. М.: Наука, 1973, С. 42-46.

3. Бачинский В.Я., Бамбура А.Н. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона. Киев, 1987. 24 с.

4. Байков В.Н., Горбатов С.В., Димитров З.А. Построение зависимости между напряжениями и деформациями сжатого бетона по системе нормируемых показателей. // Изв. вузов. Сер.: Стр-во и архитектура, 1977.- №6. С. 15-18.