

У випадку, коли $\varepsilon_{s,\max} > \varepsilon_{s2}$, потрібно прийняти $\varepsilon_{s,\max} = \varepsilon_{s2}$ і, підставивши в (7), визначити відповідні деформації в бетоні $\varepsilon_{b,\max}$.

За отриманими деформаціями бетону та арматури обчислюється необхідна площа арматури за формулою (3).

Визначення кута нахилу нейтральної лінії з метою спрощення в даній роботі пропонується виконувати на основі формул, наведених в [3].

Запропонований метод визначення необхідної площі арматури в нормальному перерізі косозігнутого залізобетонного елемента дозволяє виконувати розрахунки з необхідною точністю.

1.Бамбура А.М., Барашиков А.Я., Гурківський О.Б. Основні положення розрахунку бетонних та залізобетонних конструкцій по національному нормативному документу (ДБН), що розробляється // Будівельні конструкції. Вип.62. У 2-х т. Т.1. – К.: НДІБК, 2005. – С.131-136.

2.Барашиков А.Я., Задорожнікова І.В. Спрощені розрахунки несучої здатності нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів за деформаційною моделлю // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі і споруди: Зб. наук. статей. Вип.12. – Рівне, 2005. – С.109-115.

3.Павликов А.Н. Экспериментально-теоретические исследования прочности, деформативности, образования и раскрытия трещин по сечениям нормальным к продольной оси косоизгибаемых керамзитобетонных элементов: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – К., 1980. – 265 с.

4.Павликов А.М., Бойко О.В. Використання дволінійних діаграм стану матеріалів у розрахунках міцності елементів, що зазнають косоного згинання // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. статей. Вип.14. – Рівне, 2006. – С.269-275.

5.Расчет прочности железобетонных конструкций при действии изгибающих моментов и продольных сил по новым нормативным документам / А.И.Звездов, А.С.Залесов, Т.А.Мухамедиев, Е.А.Чистяков // Бетон и железобетон. – 2002. – №6. – С.21-25.

6.СНиП 2.03.01–84. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 88 с.

Отримано 26.03.2007

УДК 691.327 : 539.383

Ю.А.КРУСЬ, канд. техн. наук, А.Ю.КРУСЬ

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г.Ровно

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА НАГРУЖЕНИЯ НА ОЧЕРТЕНИЕ ДИАГРАММЫ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОНА, ТИП И СТРУКТУРУ АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ

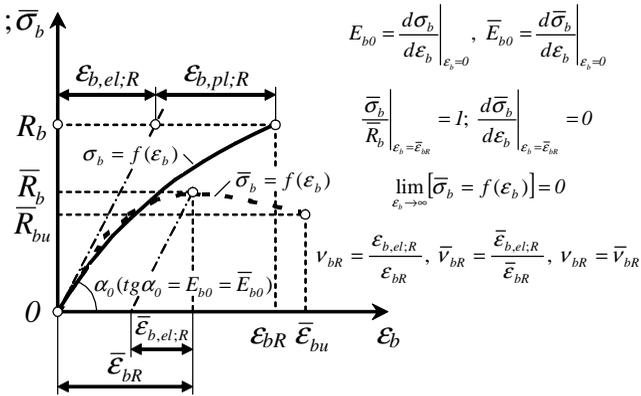
В графическом и формализованном виде представлена диаграмма механического состояния бетона, пригодная для применения к базирующимся на деформационной модели расчетам железобетонных конструкций, а также более полной оценки неоднородного напряженно-деформированного состояния их сечений на всех стадиях работы.

В последние годы, когда при проектировании железобетонных конструкций переходят на аналитические методы расчета с использованием деформационных моделей сечений, позволяющие более полно учитывать особенности работы материалов и оценивать напряженно-деформированное состояние конструкций на любой стадии нагружения, особо важное значение приобретает получение фактических диаграмм механического состояния бетона и аппроксимирующих их функциональных зависимостей.

Общеизвестно, что развитие деформаций с ростом нагрузки и форма диаграммы $\sigma_b \sim \varepsilon_b$, устанавливаемой после проведения испытаний разрушением эталонных призматических образцов из бетона в условиях ступенчатого однократного центрального сжатия, существенно зависят от того, сохраняется ли постоянной в течение исследований скорость деформирования $V_\varepsilon = d\varepsilon/dt = const$ или скорость подачи напряжений $V_\sigma = d\sigma/dt = const$. В первом случае при так называемом «жестком» нагружении после достижения максимального значения напряжений \bar{R}_b , которому соответствует деформация $\bar{\varepsilon}_{bR}$ (рисунок), на кривой $\bar{\sigma}_b \sim \varepsilon_b$ обнаруживается нисходящий участок, и дальнейшее нарастание деформаций сопровождается падением величины напряжений до критической прочности $\bar{R}_{bu} < \bar{R}_b$, которой соответствует предельная (или по-другому – критическая) деформация $\bar{\varepsilon}_{bu} > \bar{\varepsilon}_{bR}$, фиксирующая конечную точку устойчивого деформирования материала. Во втором случае, определяемом как «мягкое» нагружение и регламентированном действующим стандартом на испытание [1], достижение максимума напряжений R_b , которому соответствует деформация ε_{bR} , приводит к быстрому исчерпанию несущей способности бетона, так что нисходящий участок кривой $\sigma_b \sim \varepsilon_b$ зафиксировать не удастся.

Описанные случаи силовых воздействий позволяют получить диаграммы сжатия бетона $\bar{\sigma}_b \sim \varepsilon_b$ и $\sigma_b \sim \varepsilon_b$ в условиях однородного напряженно-деформированного состояния с присущим ему равномерным распределением деформаций и напряжений в перпендикулярных к направлению действия нагрузки сечениях центрально нагруженных элементов. В то же время, наиболее распространенным и имеющим место, в частности, в сжатой зоне изгибаемых и внецентренно нагруженных элементов является неоднородное состояние. Характеризуясь неравномерным в геометрическом отношении распределением деформаций и напряжений в перпендикулярных к продольной оси сечениях

изогнутых элементов, такое состояние определяет силовое сопротивление большинства конструкций деформированию и разрушению.



Диаграммы деформирования бетона при однократном статическом нагружении центральным сжатием до разрушения и их основные параметры:
 — — “мягкий” режим нагружения; - - - - “жесткий” режим нагружения.

В отличие от диаграмм $\sigma_b \sim \epsilon_b$, полученных при стандартных испытаниях в «мягком» режиме, кривые сжатия $\bar{\sigma}_b \sim \bar{\epsilon}_b$, соответствующие «жесткому» нагружению, могут быть перенесены на сечения изогнутых элементов, причем такой прямой диаграммный перенос, т. е. переход от однородного к неоднородному напряженно-деформированному состоянию, в случае справедливости гипотезы плоских сечений и совмещения нулевых деформаций и нулевых напряжений на единой нейтральной оси не требует каких-либо последующих корректировок, что достаточно аргументированно обосновано в ряде научных публикаций [2-4]. Как ключевую проблему при этом рассматривают аналитическое построение базирующейся на ясных и точных физических представлениях зависимости, функционально связывающей напряжения $\bar{\sigma}_b$ с относительными деформациями бетона $\bar{\epsilon}_b$ и являющейся основным инструментом деформационной расчетной модели сечений конструкций.

При моделировании указанной математической зависимости руководствовались ее соответствием таким базирующимся на современных представлениях о природе прочности и деформирования и вытекающим из сущности физических и механических процессов в бетоне [4-9] критериям:

- очертание расчетной диаграммы деформирования, построенной с использованием принятой аппроксимирующей функции, подобно форме фактической кривой сжатия, полученной опытным путем;

- примененная функция определена и непрерывна на всем диапазоне деформирования, левая граница которого находится в начале координат;

- она неотрицательна на этом промежутке и обращается в ноль только лишь в исходной точке, т. е. имеет в начале координат строгий минимум;

- принятая функция, не имея вертикальных асимптот во всем интервале работы материала, монотонно возрастает и также монотонно убывает соответственно на восходящем и нисходящем участках указанной области;

- ее первая производная обращается в ноль в точке качественного изменения направления кривой сжатия, т. е. аппроксимирующая функция имеет строгий максимум;

- при возрастании относительной деформации напряжения асимптотически приближаются к нулю в правой части зоны деформирования;

- аналитическая зависимость отличается сравнительной простотой записи, позволяющей без особых трудностей находить обратную функцию, а также одинаково легко выражать параметры нелинейности работы бетона как через напряжения, так и через относительные деформации на любой стадии нагружения;

- она удобна для математических операций (интегрирования, дифференцирования, разложения в ряд и т. п.);

- аппроксимирующая функция содержит строгие параметры физической нелинейности и предполагает возможность простого трансформирования диаграммы механического состояния бетона при учете различных дополнительных факторов (характера действия нагрузки, сложного напряженно-деформированного состояния и др.).

Всем вышеперечисленным требованиям к аналитической зависимости между напряжениями и деформациями в математической форме $\bar{\sigma}_b = f(\varepsilon_b)$ в наибольшей степени отвечает дробная рациональная функция вида:

$$\bar{\sigma}_b = \frac{\varepsilon_b}{A\varepsilon_b^2 + B\varepsilon_b + C}, \quad (1)$$

где A, B, C – постоянные коэффициенты (причем $A > 0$ и $(4AC - B^2) > 0$), характеризующие материал и вычисляемые из выполнения следующих

граничных условий (рисунок):

1) при определенной относительной деформации $\varepsilon_b = \bar{\varepsilon}_{bR}$ напряжение в бетоне достигает максимального значения $\bar{\sigma}_b = \bar{R}_b$;

2) первая производная $d\bar{\sigma}_b/d\varepsilon_b$, в графической интерпретации являющаяся тангенсом угла наклона касательной к кривой $\bar{\sigma}_b \sim \varepsilon_b$, при $\varepsilon_b = 0$ равна начальному модулю упругости бетона E_{b0} ;

3) первая производная $d\bar{\sigma}_b/d\varepsilon_b$ при $\varepsilon_b = \bar{\varepsilon}_{bR}$ обращается в ноль.

В общем случае при аппроксимации диаграммы деформирования бетона какой-либо другой функцией с большим количеством постоянных коэффициентов, например – четырех, в качестве еще одного узла интерполяции может быть принята точка с координатами $(\varepsilon_b = \bar{\varepsilon}_{bu}; \bar{\sigma}_b = \bar{R}_{bu})$, где должно выполняться дополнительное четвертое граничное условие $d^2\bar{\sigma}_b/d\varepsilon_b^2 \Big|_{\varepsilon_b = \bar{\varepsilon}_{bu}} = 0$, свидетельствующее о перегибе кривой $\bar{\sigma}_b \sim \varepsilon_b$ в зафиксированной точке.

Раскрытие 1-го граничного условия дает такой результат:

$$\begin{aligned} \bar{R}_b &= \frac{\bar{\varepsilon}_{bR}}{A\bar{\varepsilon}_{bR}^2 + B\bar{\varepsilon}_{bR} + C} \Rightarrow A\bar{\varepsilon}_{bR}^2 + B\bar{\varepsilon}_{bR} + C = \frac{\bar{\varepsilon}_{bR}}{\bar{R}_b} \Rightarrow \\ &\Rightarrow B\bar{\varepsilon}_{bR} = \frac{\bar{\varepsilon}_{bR}}{\bar{R}_b} - A\bar{\varepsilon}_{bR}^2 - C \Rightarrow B = \frac{1}{\bar{R}_b} - A\bar{\varepsilon}_{bR} - \frac{C}{\bar{\varepsilon}_{bR}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Продифференцировав формулу (1), будем иметь

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{\sigma}_b}{d\varepsilon_b} &= \frac{1}{A\varepsilon_b^2 + B\varepsilon_b + C} - \frac{\varepsilon_b(2A\varepsilon_b + B)}{(A\varepsilon_b^2 + B\varepsilon_b + C)^2} = \\ &= \frac{1}{A\varepsilon_b^2 + B\varepsilon_b + C} \left[1 - \frac{\varepsilon_b(2A\varepsilon_b + B)}{A\varepsilon_b^2 + B\varepsilon_b + C} \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

С учетом (3) реализация 2-го и 3-го граничных условий приведет к выражениям соответственно:

$$E_{b0} = \frac{d\bar{\sigma}_b}{d\varepsilon_b} \Big|_{\varepsilon_b=0} = \frac{1}{C}; \quad (4)$$

$$\frac{d\bar{\sigma}_b}{d\varepsilon_b} \Big|_{\varepsilon_b = \bar{\varepsilon}_{bR}} = \frac{1}{A\bar{\varepsilon}_{bR}^2 + B\bar{\varepsilon}_{bR} + C} \left[1 - \frac{\bar{\varepsilon}_{bR}(2A\bar{\varepsilon}_{bR} + B)}{A\bar{\varepsilon}_{bR}^2 + B\bar{\varepsilon}_{bR} + C} \right] = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 - \frac{\bar{\varepsilon}_{bR}(2A\bar{\varepsilon}_{bR} + B)}{A\bar{\varepsilon}_{bR}^2 + B\bar{\varepsilon}_{bR} + C} = 0 \Rightarrow A = \frac{C}{\bar{\varepsilon}_{bR}^2}.$$
(5)

В результате совместного решения уравнений (2), (4) и (5) относительно постоянных A , B и C получим формулы для определения значений этих параметров, а именно:

$$A = \frac{1}{E_{b0}\bar{\varepsilon}_{bR}^2}; \quad B = \frac{1}{R_b} - \frac{2}{E_{b0}\bar{\varepsilon}_{bR}}; \quad C = \frac{1}{E_{b0}}.$$
(6)

Принимая во внимание соотношения (6), математическая зависимость (1), описывающая диаграмму деформирования бетона в «жестком» режиме однократного центрального сжатия для всего рабочего диапазона от начала приложения нагрузки до максимального напряжения $\bar{\sigma}_b = \bar{R}_b$ при относительной деформации $\varepsilon_b = \bar{\varepsilon}_{bR}$ и последующего постепенного снижения напряжения до критической прочности $\bar{\sigma}_b = \bar{R}_{bu}$, которой соответствует предельная относительная деформация $\varepsilon_b = \bar{\varepsilon}_{bu}$, запишется так:

$$\bar{\sigma}_b = \frac{\varepsilon_b}{\frac{1}{E_{b0}\bar{\varepsilon}_{bR}^2} \varepsilon_b^2 + \left(\frac{1}{R_b} - \frac{2}{E_{b0}\bar{\varepsilon}_{bR}} \right) \varepsilon_b + \frac{1}{E_{b0}}} =$$

$$= \frac{E_{b0}\varepsilon_b}{\left(\frac{\varepsilon_b}{\bar{\varepsilon}_{bR}} \right)^2 + \left(\frac{E_{b0}}{R_b} - \frac{2}{\bar{\varepsilon}_{bR}} \right) \varepsilon_b + 1}.$$
(7)

Если воспользоваться известным соотношением проф. В.И.Мурашева $R_b = E'_{bR}\varepsilon_{bR} = \nu_{bR}E_{b0}\varepsilon_{bR}$ [10], то функциональная зависимость (7) приобретет более удобную для практического применения форму, а именно:

$$\bar{\sigma}_b = \frac{\frac{\bar{R}_b}{\nu_{bR}\bar{\varepsilon}_{bR}} \varepsilon_b}{\left(\frac{\varepsilon_b}{\bar{\varepsilon}_{bR}} \right)^2 + \left(\frac{E_{b0}}{\nu_{bR}E_{b0}\bar{\varepsilon}_{bR}} - \frac{2}{\bar{\varepsilon}_{bR}} \right) \varepsilon_b + 1} =$$

$$\bar{R}_b \left(\frac{\varepsilon_b}{\bar{\varepsilon}_{bR}} \right) = \frac{\bar{R}_b \left(\frac{\varepsilon_b}{\bar{\varepsilon}_{bR}} \right)}{v_{bR} \left[\left(\frac{\varepsilon_b}{\bar{\varepsilon}_{bR}} \right)^2 + \frac{1 - 2v_{bR}}{v_{bR}} \cdot \frac{\varepsilon_b}{\bar{\varepsilon}_{bR}} + 1 \right]} \quad (8)$$

Обозначив $\bar{\eta}_\varepsilon = \varepsilon_b / \bar{\varepsilon}_{bR}$, математическую модель деформирования бетона (8) окончательно можно записать несколько иначе:

$$\bar{\sigma}_b = \frac{\bar{R}_b \bar{\eta}_\varepsilon}{v_{bR} \left(\bar{\eta}_\varepsilon^2 + \frac{1 - 2v_{bR}}{v_{bR}} \cdot \bar{\eta}_\varepsilon + 1 \right)} \quad (9)$$

Отметим, что реализация сформулированных критериев и граничных условий позволяет получить зависимости $\bar{\sigma}_b \sim \varepsilon_b$ с использованием и других типов функций, в частности, полиномиальной (10) и показательной (11):

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_b = & \frac{\bar{R}_b}{v_{bR} \left(\bar{\varepsilon}_{bR}^2 - 6\bar{\varepsilon}_{bR}\bar{\varepsilon}_{bu} + 6\bar{\varepsilon}_{bu}^2 \right)} \left\{ \bar{\varepsilon}_{bR} \left[\bar{\varepsilon}_{bR} (2 - 3v_{bR}) + 3\bar{\varepsilon}_{bu} (2v_{bR} - 1) \right] \times \right. \\ & \times \left(\frac{\varepsilon_b}{\bar{\varepsilon}_{bR}} \right)^4 - \left[\bar{\varepsilon}_{bR}^2 (3 - 4v_{bR}) + 6\bar{\varepsilon}_{bu}^2 (2v_{bR} - 1) \right] \cdot \left(\frac{\varepsilon_b}{\bar{\varepsilon}_{bR}} \right)^3 + 3\bar{\varepsilon}_{bu} \left[\bar{\varepsilon}_{bR} (3 - 4v_{bR}) + \right. \\ & \left. \left. + 2\bar{\varepsilon}_{bu} (3v_{bR} - 2) \right] \times \left(\frac{\varepsilon_b}{\bar{\varepsilon}_{bR}} \right)^2 + \left(\bar{\varepsilon}_{bR}^2 - 6\bar{\varepsilon}_{bR}\bar{\varepsilon}_{bu} + 6\bar{\varepsilon}_{bu}^2 \right) \frac{\varepsilon_b}{\bar{\varepsilon}_{bR}} \right\}; \quad (10) \end{aligned}$$

$$\bar{\sigma}_b = \bar{R}_b \cdot \frac{\varepsilon_b}{\bar{\varepsilon}_{bR}} \cdot e^{\left(1 - \frac{\varepsilon_b}{\bar{\varepsilon}_{bR}} \right)} \quad (11)$$

Как видно, формулы (9)-(11), в отличие от многих других подобных выражений, не содержат зачастую не имеющих никакого физического смысла эмпирических коэффициентов, характеризующих лишь определенный бетон в конкретных условиях его испытания. Присутствие строгих прочностных и деформативных характеристик, одновременно являющихся параметрами диаграммы механического состояния бетона и характеризующих нелинейность его деформирования, делает зависимости (9)-(11) одинаково пригодными для научных исследований и инженерных расчетов.

1.ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля

упругости и коэффициента Пуассона. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 55 с.

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

3. Бачинский В.Я., Бамбура А.Н., Ватагин С.С. Связь между напряжениями и деформациями бетона при кратковременном неоднородном сжатии // Бетон и железобетон. – 1984. – №10. – С.18-19.

4. Бондаренко В.М., Бондаренко С.В. Инженерные методы нелинейной теории железобетона. – М.: Стройиздат, 1982. – 287 с.

5. Бамбура А.М. Експериментальні основи прикладної деформаційної теорії залізобетону: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Харків, 2006. – 39 с.

6. Гвоздев А.А., Байков В.Н. К вопросу о поведении железобетонных конструкций в стадии, близкой к разрушению // Бетон и железобетон. – 1977. – №9. – С.22-24.

7. Гуца Ю.П., Лемьш Л.Л. К совершенствованию расчета деформаций железобетонных элементов // Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1986. – С.26-39.

8. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования / Н.П.Блещик, Д.Д.Жуков, Д.Н.Лазовский и др.; Под ред. Т.М.Пецольда и В.В.Тура. – Брест: БГТУ, 2003. – 380 с.

9. Карпенко Н.И., Мухамедиев Т.А., Петров А.Н. Исходные и трансформированные диаграммы деформирования бетона и арматуры // Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1986. – С.7-25.

10. Мурашев В.И. Трещиностойчивость, жесткость и прочность железобетона. – М.: Проммашстройиздат, 1950. – 184 с.

Получено 09.04.2007

УДК 69.059.25 : 692.23

Р.М. АХМЕДНАБИЕВ, канд. техн. наук, Н.В. АХМЕДНАБИЕВА
Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка

СИСТЕМА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ НА СТЕНАХ СТАРЫХ ЗДАНИЙ

Приводятся экспериментальные данные сравнения отечественных материалов для восстановления горизонтальной гидроизоляции на стенах старых зданий с зарубежными аналогами.

В Украине имеется много старых зданий, возраст которых превышает сто лет. Некоторые из них представляют собой исторические и архитектурные памятники. Горизонтальная гидроизоляция на стенах этих зданий давно уже перестала исполнять роль гидробарьера против капиллярного подсоса влаги. В таких случаях грунтовые воды, в силу капиллярного подсоса, поднимаются по конструкциям стен вверх и испаряются от поверхности стен. Образующиеся при этом кристаллы солей разрушают поверхность стен (рис.1).

В местах, где влага не испаряется или испаряется очень медленно на поверхности стен, появляется зеленый налет, который принято на-