

*Аль Каради Али, магистрант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДЕФОРМАТИВНОСТИ СТЕРЖНЕВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛЫ

ali.alkaradi@mail.ru

В настоящее время достаточно подробно разработаны так называемые «упругие» методы расчета конструкций, использование методов строительной механики упругих систем применительно к железобетонным конструкциям возможно при относительно низких уровнях нагружения, когда в растянутом бетоне ещё не образуются трещины, а в сжатом бетоне и в растянутой арматуре – не проявляются неупругие деформации. При более высоких уровнях нагружения использование таких методов приводит, как правило, к недооценке деформативности и несущей способности железобетонных конструкций. Для любого метода расчетов, важное значение имеет принятая физическая модель работы сечения. Здесь имеется ввиду способ учета физической нелинейности деформирования бетона и арматуры.

Ключевые слова: железобетон, бетон, поперечная сила, инженерные методы, расчеты, деформативность, элементы.

В настоящее время достаточно подробно разработаны так называемые «упругие» методы расчета конструкций, использование методов строительной механики упругих систем применительно к железобетонным конструкциям возможно при относительно низких уровнях нагружения, когда в растянутом бетоне ещё не образуются трещины, а в сжатом бетоне и в растянутой арматуре – не проявляются неупругие деформации. При более высоких уровнях нагружения использование таких методов приводит, как правило, к недооценке деформативности и несущей способности железобетонных конструкций. Для любого метода расчетов, важное значение имеет принятая физическая модель работы сечения. Здесь имеется ввиду способ учета физической нелинейности деформирования бетона и арматуры. Так, согласно метода, предельного равновесия, эпюра напряжений в сжатом бетоне первоначально принята прямоугольной с ординатой, равной R_u .

Основное положительное качество заключается в отсутствии необходимости учета характера распределения деформаций по высоте сечения, поскольку величины возникающих усилий в нем считаются известными.

Наиболее распространенные инженерные методы расчета железобетонных конструкций основаны на использовании идеализированных диаграмм работы бетона. Использование диаграмм, дает достаточно неплохой результат при определении несущей способности, однако имеет недостаточную точность при оценке напряженно-деформированного состояния элемента. Поэтому применение такого вида диаграмм оправдано только в так называемых инженерных или «ручных» методах расчета.

Нормативная методика расчета деформаций железобетонных конструкций ограничивается, в основном, учетом только изгибающих моментов от эксплуатационных нагрузок и не учитывает влияние поперечных сил, а также недостаточно полно отображает описываемое явление на всех стадиях нагружения, особенно при работе материала на нисходящем участке диаграммы «момент-кривизна».

В основу предлагаемого метода расчета деформаций положена модель с использованием уравнения равновесия внешних и внутренних усилий в нормальном сечении, условия деформирования в виде плоского поворота и плоского перемещения сечения (гипотеза плоских сечений), реальной диаграммы бетона « σ - ϵ » в виде степенного полинома (рис. 1), кусочно-линейной диаграммы « σ_s - ϵ_s ».

Использование зависимостей такого типа сдерживалось отсутствием опытных данных по параметрам нелинейности диаграммы в зависимости от вида и класса бетона. В последнее время этот недостаток можно считать устраненным, вследствие появления предложений по нормированию указанных параметров, во всяком случае, для тяжелых бетонов.

Переход от напряжений и деформаций в арматуре в сечении с трещиной к средним напряжениям и деформациям осуществляется с помощью коэффициента ψ_s , определение которого производится с учетом интегральных параметров деформирования арматуры и бетона на участках между трещинами, принятом законе сцепления.

$$\psi_s = 1 - \frac{2 \cdot \epsilon_{btR}}{\sigma_{st}} \cdot K_s \quad (1)$$

$$\text{где } K_S = \frac{1-bx/A_\beta}{1-\frac{bx}{A_\beta}+2,2\alpha_s\mu_s} \quad (2)$$

где ϵ_{btR} - предельная растяжимость бетона на восходящем участке согласно табл.1; ϵ_{st} - деформации в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной; x - высота сжатой зоны;

A_β – площадь бетона в сечении элемента без учета свесов сжатой полки; α_s –коэффициент приведения арматуры к бетону; μ_s - коэффициент продольного армирования.

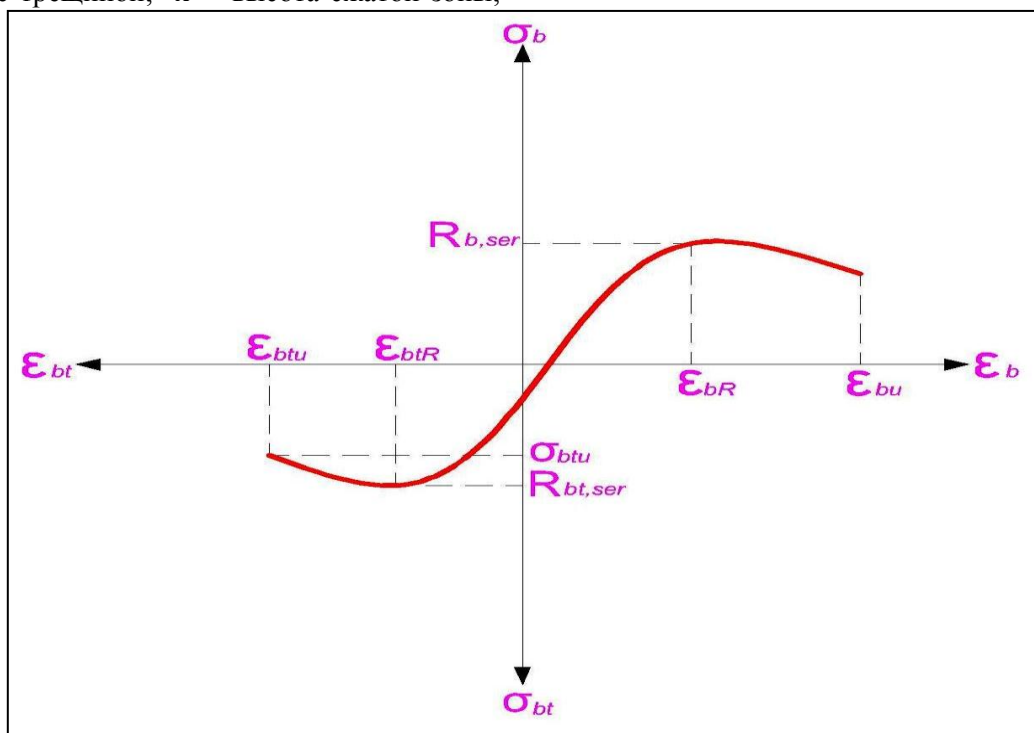


Рис. 1. Диаграмма деформирования бетона

Таблица 1

Значение параметров диаграмм деформирования бетона при растяжении

Класс бетона	R_{bt} , МПа	$\epsilon_b \times 10^{-3}$, МПа	$\epsilon_{btR} \times 10^{-5}$	$\epsilon_{btu} \times 10^{-5}$
B10	0,85	16,0	11,6	41,9
B 12,5	1,10	19,0	11,8	40,3
B15	1,15	20,5	11,9	38,6
B20	1,40	24,0	12,2	35,9
B25	1,60	27,0	12,4	33,7
B30	1,80	29,0	12,6	31,5
B35	1,95	31,0	12,8	30,0
B40	2,10	32,5	13,0	28,2
B45	2,20	34,0	13,1	27,2
B50	2,30	35,0	13,2	26,1

В табл.1 приведены параметры диаграммы деформирования растянутого бетона, полученные по результатам выполненных экспериментов и исследований других авторов.

Существующие методы расчета, на основе полной диаграммы « $\sigma - \epsilon$ » имеют ряд разновидностей. Метод последовательного уточнения жесткостей, метод последовательных нагружений, метод начальных деформаций и другие. Не

останавливаясь на особенностях каждого из них необходимо отметить их недостатки: медленная сходимость итерационного процесса и возможность его раскачки при нагрузках близких к разрушающим. Указанные трудности устраняются усреднением параметров расчета полученных на смежных итерациях, но это не всегда гарантирует сходимость.

При определении напряженно-

деформированного состояния сечения традиционными методами, первоначально, по известному значению момента определяется кривизна, а затем его жесткость. Использование диаграммы бетона « $\sigma - \varepsilon$ » с ниспадающей ветвью делает такой подход проблематичным при выборе соответствующей моменту кривизны.

Учитывая вышесказанное, представляется целесообразным, по аналогии с работой, по заданной кривизне в сечении сначала определять момент, а затем жесткость.

Необходимо отметить, что в методе заданных деформаций для формирования системы уравнений использовался метод начальных параметров, с аппроксимацией изогнутой оси балки уравнением 4-ой степени (в которое входит поперечная сила). В выше указанной работе это было выполнено кубическим сплайном. В предлагаемой методике описание жесткости по длине элемента выполнено не ступенчато по участкам разбиения и не в виде ломаной, а в виде параболы, что более полно отражает действительную работу конструкции.

Рассмотрим однопролетную шарнирно-

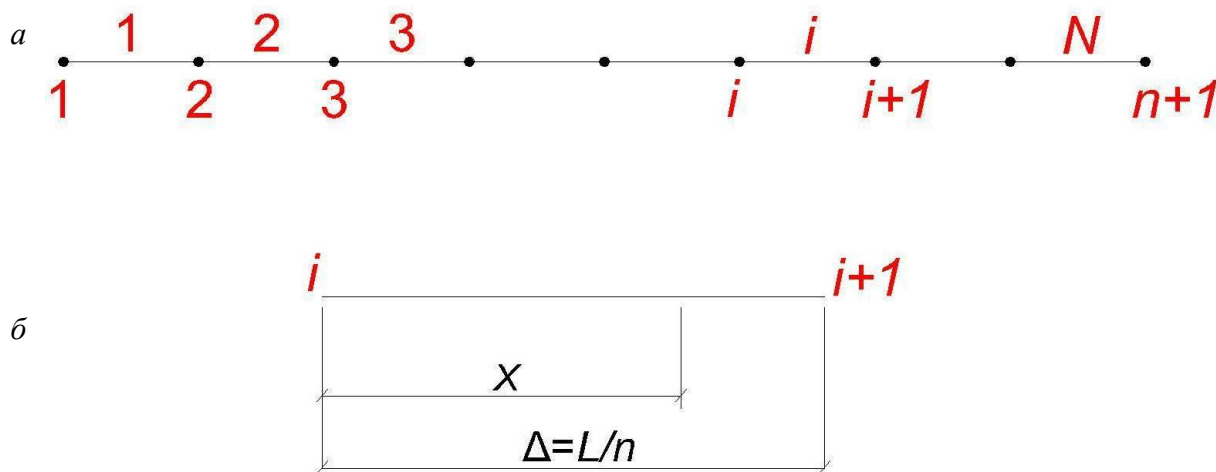


Рис. 2. К описанию изогнутой оси балки

а - схема разбиения балки на участки; б - схема 1-го участка к определению коэффициентов A_i

С учетом граничных условий для однопролетной статически-определимой балки можно получить выражение для определения силового воздействия.

Предлагаемая методика расчета достаточно просто и более корректно отражает исследуемый процесс, а также позволяет получать параметры НДС всех сечений элемента, учитывать работу растянутой зоны элемента и как следствие процессы трещинообразования.

При расчете по образованию трещин важным является правильный выбор критерия трещиностойкости, который мог бы комплексно охарактеризовать сопротивление бетона трещи-

нообразованию. Есть все основания полагать, что для бетона ведущим и определяющим трещиностойкость фактором является его предельная растяжимость.

В общем случае образование трещин происходит при выполнении условия:

$$\varepsilon_{bt} < \varepsilon_{btu} \quad (7)$$

где ε_{bt} - относительные деформации наиболее растянутого волокна бетона, ε_{btu} - предельная величина относительных деформаций растянутого бетона.

На основании изложенной выше методики расчета разработан алгоритм для ее реализации на ЭВМ по блочно-модульному принципу.

$$y = \sum_{i=1}^5 A_i \cdot x^{i-1} \quad (3)$$

$$y' = \varphi = \sum_{i=1}^5 (i-1)A_i \cdot x^{i-2} \quad (4)$$

$$y'' = ae = \sum_{i=1}^5 (i-1) \cdot (i-2)A_i \cdot x^{i-3} \quad (5)$$

$$y''' = \frac{Q}{B} = \sum_{i=1}^5 (i-1) \cdot (i-2) \cdot (i-3)A_i \cdot x^{i-4} \quad (6)$$

где y - величина прогиба в точке с координатой x ; y' - выражение для определения угла поворота сечения элемента; y'' - выражение для определения кривизны в сечении; y''' - выражение, содержащее значение поперечной силы в сечении; A_i - коэффициенты, определяемые по методу начальных параметров.

1. Задается исходная информация о балке (размеры сечения, пролет, параметры армирования и диаграмм « $\sigma - \epsilon$ » бетона и арматуры, кривизна в «нагрузочном» сечении.

2. Определяются начальные жесткости элемента в предположении $a\epsilon \rightarrow 0$

3. Осуществляется поиск решения от кривизны к моменту.

По полученному решению проверяется условие трещинообразования и выявляются участки с трещинами. В зависимости от стадии работы балки корректируются жесткости с последующим вычислением кривизны, а затем и момента. Процесс заканчивается после достижения заданной точности.

4. Определяется значение соответствующего внешнего воздействия.

5. Вычисляются кривизны, а затем прогибы.

Предложенная методика расчета деформаций с использованием полной диаграммы деформирования бетона, позволяет по заданной кривизне определять момент, а затем и прогиб, более достоверно оценивать влияние поперечной силы на деформативность сборных и сборно-монолитных железобетонных стержневых конструкций дает возможность учитывать влияние поперечной силы и обеспечивает необходимую сходимость итерационного процесса.

Так при разработке методики оценки напряженно-деформированного состояния нормальных сечений железобетонных конструкций используются следующие предпосылки.

1. В качестве расчетного принимается сечение, напряженно - деформируемое состояние которого соответствует усредненному состоянию блока между трещинами.

2. Для указанного сечения считается справедливым линейный закон распределения деформаций по высоте.

3. На всем протяжении работы конструкции обеспечивается совместная работа сборного и монолитного бетонов. Это достигается за счет сцепления, механического зацепления и трения

бетонов, работы поперечной арматуры (для сборно-монолитных конструкций).

4. Часть бетона сборного и монолитного, где деформации сжатой зоны достигли предельную деформативность бетона исключается из работы.

5. Связь между напряжениями и деформациями арматурной стали применяются в виде кусочно-линейной диаграммы, параметры которой получают экспериментальным путем, либо согласно существующих рекомендаций.

Учитывая вышесказанное, представляется целесообразным при определении жесткости сечения использовать обратный метод при соответствующей перестройке математического аппарата для статического расчета, то есть по заданной кривизне определять величину действующего в сечении момента, а затем жесткость. При таком подходе, во-первых, исключаются трудности в выборе соответствия момента кривизне, поскольку каждому значению кривизны соответствует одно значение момента. Во-вторых, значительно улучшится сходимость итерационного процесса на высоких уровнях нагружения, поскольку малым изменениям кривизны будут соответствовать малые изменения момента и жесткости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крючков А. А. Деформативность сборно-монолитных стержневых конструкций: Дис... канд. техн. наук. Белгород, 2006. С.12-61.

2. Рекомендации по методике определения параметров, характеризующих свойства различных бетонов, при расчете нормальных сечений стержневых железобетонных элементов // НИИСК Госстроя СССР. М., 1984.

3. Смоляго Г. А., Жданов А.Е., Крючков А.А. Методика оценки напряженно-деформативного состояния железобетонных стержневых элементов с учетом влияния поперечной силы // Вестник отделения строительных наук РААСН. Белгород, 2005. № 9. С. 364-365.