

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

В данной статье рассмотрены следующие вопросы: расчет прочности по нормальным сечениям и реализована схема разбивки.

Ключевые слова: гипотезы плоских сечений; прочность; деформаций; трещиностойкость; перемещений.

A.M. Zulpuev – D. T. S., Professor, BatSU,
A.M. Ganyev, S.A. Asanova, I.R. Tursunov, Zh.M. Torokeldiyeva - applicants of BatSU

MODELS FOR THE TRANSITION TO NORMAL CALCULATION SPECIFIC MULTI-STOREY BUILDINGS

In this article, the following issues are considered: calculation of strength by normal cross-sections and implemented a breakdown scheme.

Key words: hypothesis of flat sections; strength; deformations; crack resistance; displacements.

В практике строительстве железобетонных конструкций многоэтажных зданий являются объектом интенсивных исследований.

Настоящие исследования реализовываются как отдельными лицами, так и целыми группами; поэтому выделить определенные научные направления, характеризующие общностью исходных предпосылок, объектами и методикой исследований и т.д. Анализ этих научных направлений показывает, что они имеют много общего в части исходных положений, но часто различаются способом реализации. В них можно также обнаружить общую устойчивую тенденцию к использованию вычислительных техник и совершенствованию расчетных моделей и алгоритмов, отличающихся простотой математического оформления, наглядностью и высокой достоверностью [1, 2 и др.].

Важнейшие задачи расчетов железобетонных конструкций по предельным состояниям решаются в настоящее время по нормативному документу [4] и различными методами как метод предельного равновесия, метод конечных элементов и метод сосредоточенных деформаций.

Расчет прочности по нормальным сечениям определяются по методу сосредоточенных деформаций, согласно [4], предполагает известными в этих сечениях величины внешних сил, а формулы для вычисления предельных величин внутренних сил основываются на условной (расчетной) схеме распределения напряжений и деформаций в бетоне и арматуре по сечению.

Разнообразие опытных и расчетных значений предельных сил обеспечивает совокупность специальных параметров: относительной высотой сжатой зоны ξ_R , характеристикой сжатой зоны бетона и др.

Расчет по образованию нормальных трещин вычисляется по [4], исходя из положений, отличных от расчета прочности и также требующих экспериментально обоснованных параметров.

Прогибы стержневых элементов, соответственно [4], вычисляются на основании кривизны продольных осей элементов, для определения которых требуется целый ряд специальных параметров.

Расчетные формулы [4] при расчете элементов, различающихся характером внешних сил и формой поперечного сечения, имеют различную структуру; при расчете прочности выделяются

изгибаемые элементы прямоугольного, таврового, двутаврового и кольцевого сечений и др. (рис.1).

По совершенствованию расчетов железобетонных конструкций ведутся по нескольким направлениям, отличительными признаками которых являются:

- непосредственное использование в расчетных формулах полных диаграмм «для одноосного сжатия и растяжения бетона и арматуры при различных режимах»;
- разработка общих расчетных формул для сечений различной формы;
- при разных внешних силах и привлечение в расчетах вычислительной техники различной мощности (в зависимости от характера и сложности задач).

Допущение закона о распределении продольных деформаций в бетоне и арматуре по закону плоскости (гипотезы плоских сечений) для всех стадий напряженно-деформированного состояния является наиболее дискуссионным. Не вызывает возражений эта гипотеза в стадии до образования трещин, что и принято в [4].

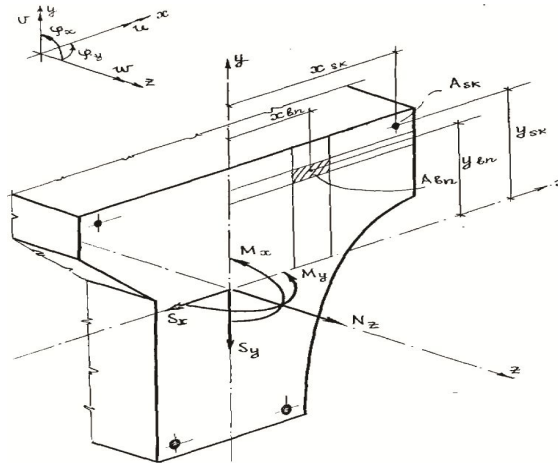


Рис. 1. Расчетная модель для нормального сечения произвольной поперечной формы

Можно считать ее справедливой и для стадии после образования трещин, но в сечениях между трещинами и в сечениях непосредственно по трещине; на всех же остальных участках естественно искривление сечений. Однако гипотеза плоских сечений здесь применяется в «среднем», т.е. для средних деформаций бетона и арматуры, постоянных в пределах участков между трещинами.

Допускается, таким образом, введение некоторого условного «растяжимого» бетона, пронизанного арматурой, сохраняющего интегральные жесткостные свойства нормальных сечений и стержневых систем в целом.

Включаемый в расчет «растяжимый» бетон, работающий без трещин, позволяет тем не менее оценивать ширину раскрытия трещин, за ширину раскрытия трещин принимается приращение деформаций в арматуре на определенной длине (расстоянии между трещинами), определяемых природой сцепления и зависящей от многих факторов. Как показывают оценочные расчеты, могут быть использованы для вычисления ширины раскрытия трещин. Гипотеза плоских сечений для стержневых элементов с массивными поперечными сечениями, характерными для железобетона, как показывают расчеты, дает хорошие результаты.

В настоящей работе реализована схема разбивки, изображенная на рис. 1 для сечений различной формы. При разбивке ширина бетонных полос (высота трапеций), проходящих через арматуру, принималась равной $A_s \cdot \pi/2$; при этом арматурный стержень задавался со своей фактической площадью, а соответствующая площадь бетона исключалась из бетонного сечения.

В дальнейшем эти центральные оси принимались при вычислении геометрических характеристик железобетонного сечения на всех стадиях на напряженно-деформированного состояния.

Важным этапом является вопрос о степени дискретизации: она должна быть оптимальной, т.е. достаточно подробной, чтобы сохранить все геометрические характеристики моделируемого исходного сечения и в то же время по возможности с малым числом элементарных площадей для сокращения объема вычислений. Поясним это на примере однородного прямоугольного сечения размером $B \cdot H$.

В расчетах прочности, деформаций, трещиностойкости и перемещений, сформулированных в настоящей работе, предполагалось, что растянутый бетон работает с полной диаграммой « $\sigma_{bt} - \varepsilon_{bt}$ », включая нисходящую ветвь неограниченной протяженности в зависимости от исходных параметров.

Применение вычислительной техники в прикладных задачах по железобетону сдерживается тем, что расчетные модели с ограниченно растяжимым бетоном недостаточно приспособлены к машинным расчетам.

К числу недостатков этого типа можно отнести следующее:

- расчетный алгоритм должен предусматривать непрерывный анализ напряженно-деформированного состояния во всех точках сечений и устанавливать наличие (или отсутствие) трещин в бетоне;
- сохраняется общая большая трудоемкость вычислительных программ, сдерживающая охват ими железобетонных сооружений реальных размеров и действительной конструктивной сложности.

Перечисленные сложности и затруднения существенно смягчаются или снимаются вовсе, если в модель деформирования железобетона ввести так называемый «растяжимый» бетон, характеризуемый полной диаграммой на участке растяжения « $\sigma_{bt} - \varepsilon_{bt}$ », включая ветвь неограниченной протяженности (рис. 2).

До уровня загрузки $\varepsilon_{bt} \leq \varepsilon'_{bt}$ (рис. 2а и 2б) понятия о «растяжимом» и ограниченно растяжимом бетоне не имеют различия, и получаемые результаты по деформациям и перемещениям должны совпадать при расчете по обеим моделям.

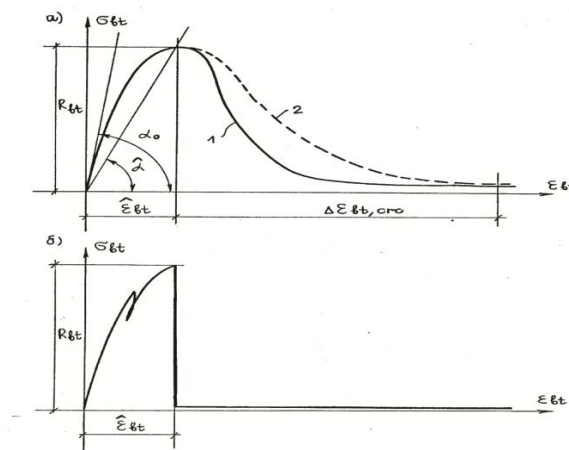


Рис. 2. Диаграммы « $\sigma_{bt} - \varepsilon_{bt}$ » для: а) – «растяжимого» бетона, б) – «нерастяжимого» бетона

Реально, нагрузки трещинообразования, вычисленные по развитой здесь методике, близки к опытным [3]. Различие в поведении «растяжимого» и ограниченно растяжимого бетона начинается с уровня загрузки $\varepsilon_{bt} > \varepsilon'_{bt}$. При $\varepsilon_{bt} = \varepsilon'_{bt}$ деформации в «растяжимом» и ограниченно растяжимом бетоне постоянны по длине элемента, а секущий модуль деформаций $E'_{bt} = E'_{bt}(\varepsilon'_{bt})$ при этом, естественно, $E'_{bt} < E_{bt}$ (рис. 3).

После образования двух первичных трещин деформации бетона между трещинами будут переменны $\varepsilon_{bt} = \varepsilon_{bt}(z)$, а секущий модуль деформаций $E'_{bt} = E_{bt}(z)$

Может сложиться впечатление, что введение в расчетную модель «растяжимого» бетона исключает раскрытие трещин в бетоне.

В реальности это не так.

Традиционное представление о механизме раскрытия трещин в бетоне сводится к тому, что после образования трещин в бетоне последний считается нерастяжимым, а раскрытие трещин является следствием деформаций арматуры на длине, равной расстоянию между трещинами; роль бетона между трещинами сводится к сдерживанию деформаций в арматуре между трещинами.

При использовании модели «растяжимого» (в среднем) бетона ширину раскрытия трещин можно записать так:

$$a_{\text{crс}} = \Delta \varepsilon_{\text{st,crс}} \cdot l_{\text{crс}} \quad (7)$$

где: $\Delta \varepsilon_{\text{st,crс}} = \Delta \varepsilon_{\text{s,crс}}$ - приращение средних деформаций в «растяжимом» бетоне (рис. 2а) или арматуре, $l_{\text{crс}}$ расстояние между трещинами.

Уровня приращений деформаций $\Delta \varepsilon_{\text{st,crс}} = \varepsilon_{\text{bt}} - \varepsilon'_{\text{bt}}$ или $\Delta \varepsilon_{\text{st,crс}} = \varepsilon_{\text{st,crс}} - \varepsilon'_{\text{bt}}$ вычисляются по результатам расчетов, а величины $l_{\text{crс}}$ могут быть приняты в виде кратного числа диаметров арматуры $n \cdot d_s$, где d_s - диаметр арматуры, n - число диаметров, зависящее главным образом от вида профиля арматуры.

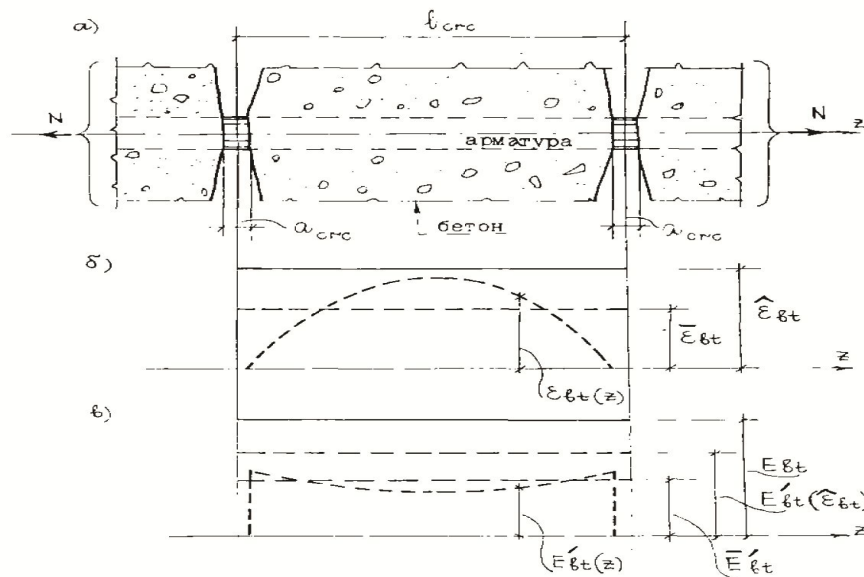


Рис. 3. Схема распределения деформаций в растянутом бетоне:
а) – схема трещин, б) – деформации E_{bt}

Измерения одной и той же трещины, выполняемые на одном уровне загрузки одним и тем же исследователем (более разными), всегда дают существенно несовпадающие результаты. Как показали, расчеты на прочности по нормальным сечениям совпадала с опытной во всех случаях с большой точностью, хотя расчеты велись с сохранением сопротивления растянутого бетона на стадии разрушения.

Сохранение в сечении растянутого бетона не сказывается на несущей способности вследствие того, что при деформациях в арматуре (и равных им средних деформаций «растяжимого» бетона) на стадии разрушения напряжения в растянутом бетоне исчезающе малы, и они не вносят заметных изменений в результаты расчета.

Выводы:

При очень малом содержании арматуры роль растянутого не выключаемого бетона может внести заметный вклад в несущую способность по нормальному сечению.

Здесь, с одной стороны, улавливается роль растянутого бетона в сечении над трещиной, а с другой стороны, сохраняется фактически вышедший из работы растянутый бетон, пересеченный трещиной.

Из этого следует, что очертание нисходящей ветви в диаграмме « $\sigma_{\text{bt}} - \varepsilon_{\text{bt}}$ » для растянутого бетона, вообще говоря, не должно назначаться произвольно, а приниматься согласно [5] с учетом переходного коэффициента $K = R_{\text{bt}(\tau)} / R_{\text{b}(\tau)}$.

Литература:

1. **Байков, В.Н.** Расчет изгибаемых элементов с учетом экспериментальных зависимостей между напряжениями и деформациями для бетона и высокопрочной арматуры [Текст] Изв. вузов. Сер. Строительство и архитектура. – 1981. – № 5. – С. 26–31.
2. **Байков, В.Н.** Общий случай расчета прочности железобетонных элементов по нормальным сечениям / Бетон и железобетон [Текст] / М.И. Додонов, Б.С. Расторгуев, А.К. Фролов, Т.А. Мухамедиев, В.Х. Кунижев // М.1987. – № 5.– С. 16–18.
3. **Зулпуев, А.М.** Расчет изгибаемых плитных элементов и систем из них с учетом нелинейной работы по методу сосредоточенных деформаций // Бетон и железобетон. [Текст] М.– 2005. – № 2. – С. 14–17.
4. **Темикеев, К.** Аналитическое представление диаграмм работы бетона при различных длительностях нагружения / Вестник КГУСТА им. Н. Исанова. [Текст] Бишкек, 2009. –№ 2. –С. 45–49.
5. СНиП 2.03.01–84*. Железобетонные конструкции. Нормы проектирования. – М., 1999. – 79 с.