

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО НОВЫМ НОРМАМ*

В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ

7. РАСЧЕТ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ

Старые Нормы [3] разделяли трещиностойкость на три категории, в зависимости от условий эксплуатации конструкций и вида применяемой арматуры:

- 1 – не допускается образование трещин,
- 2 – допускается непродолжительное по ширине раскрытие трещин $\alpha_{ср1}$ при действии полной нагрузки с последующим их закрытием после снятия кратковременной части нагрузки,
- 3 – допускается ограниченное по ширине раскрытие трещин – непродолжительное $\alpha_{ср1}$ (от действия полной нагрузки) и продолжительное $\alpha_{ср2}$ (от действия постоянной и длительной нагрузки).

К 1-й категории относили конструкции, воспринимающие давление жидкостей или газов (резервуары, газгольдеры и т.п.), ко 2-й – конструкции, эксплуатируемые на открытом воздухе или в грунте при переменном уровне грунтовых вод и армированные высокопрочной арматурой, к 3-й – все остальные. Конструкции первой категории выполнялись преимущественно предварительно напряженными, а второй категории – только предварительно напряженными (при обычном армировании трещины закрыться не могут).

В новых Нормах [1] такое разделение отсутствует, возможность закрытия трещин не упоминается, а сам расчет выполняется только по образованию и по раскрытию трещин, как это было еще до 1975 г. Отличительной особенностью новых Норм является и то, что не указываются области применения конструкций, в которых трещины допускаются и в которых трещины не допускаются.

Лишь в Своде правил по проектированию преднапряженного железобетона (СП 52-102-2004) указано, что «требования по отсутствию трещин предъявляются к предварительно напряженным конструкциям, у которых при полностью растянутом сечении должна быть обеспечена непроницаемость (находящихся под давлением жидкостей или газов, испытывающих воздействие радиации и т. п.), к уникальным конструкциям, а также к конструкциям при воздействии сильно агрессивной среды». То есть, область применения конструкций, в которых трещины не допускаются, осталась, по существу, прежней, а область применения конструкций, в которых допускается ограниченное продолжительное и непродолжительное раскрытие трещин, расширилась. К последним относятся и практически все конструкции из обычного железобетона (без предварительного напряжения арматуры) с арматурой не выше класса А500.

Следует заметить, что при разработке обычных конструкций проектировщики, как правило, не уделяют должного внимания проверке их трещиностойкости, ограничиваясь лишь расчетами прочности (исключения составляют типовые конструкции, разработанные в свое время институтами Госстроя СССР). Между тем в целом ряде случаев

расход рабочей арматуры определяется не прочностью сечений, а ограничениями по раскрытию трещин. В наибольшей степени это относится к тавровым сечениям с полкой в сжатой зоне, однако встречаются и случаи недостаточной трещиностойкости прямоугольных сечений с арматурой, подобранной только из условия прочности.

7.1. РАСЧЕТ ПО ОБРАЗОВАНИЮ ТРЕЩИН

Как и раньше, расчет конструкций с обычной арматурой по образованию трещин проводят только для проверки необходимости расчета по раскрытию трещин и для проверки необходимости учета трещин при расчете по деформациям. Если трещины не образуются, то нужда в более сложном расчете по раскрытию трещин отпадает, а расчет по деформациям становится существенно проще.

По старым Нормах [3] момент образования нормальных трещин в изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементах определяли исходя из упругих деформаций бетона в сжатой зоне и упруго-пластических в растянутой. Поэтому эпюру напряжений в сжатой зоне принимали треугольной, а в растянутой – прямоугольной (взамен фактической криволинейной, см. рис. 8,а). Такое упрощение намного облегчало расчет без нанесения заметного ущерба результатам. Для учета упруго-пластических деформаций в формулах использовали упруго-пластический момент сопротивления сечения W_{pl} , который можно было получить умножением упругого момента сопротивления W_{red} на коэффициент γ [5]. Значения этого коэффициента колебались от 1,1 до 2, в зависимости от формы сечения. Кроме того, радиус ядра сечения для внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов принимали с несколько меньшим значением, чем для упругого тела, умножая его на коэффициент $\varphi \leq 1$ (определение коэффициента требовало нескольких вычислительных операций).

Согласно Своду правил [2], момент образования нормальных трещин следует определять одним из двух способов – без учета и с учетом неупругих деформаций бетона в растянутой зоне.

В первом случае условие трещиностойкости для изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов – это, по существу, преобразованная запись известной формулы сопромата (рис. 8,б):

$$M \leq M_{срc} = R_{bt,ser} W_{red} \pm N_{ex}$$

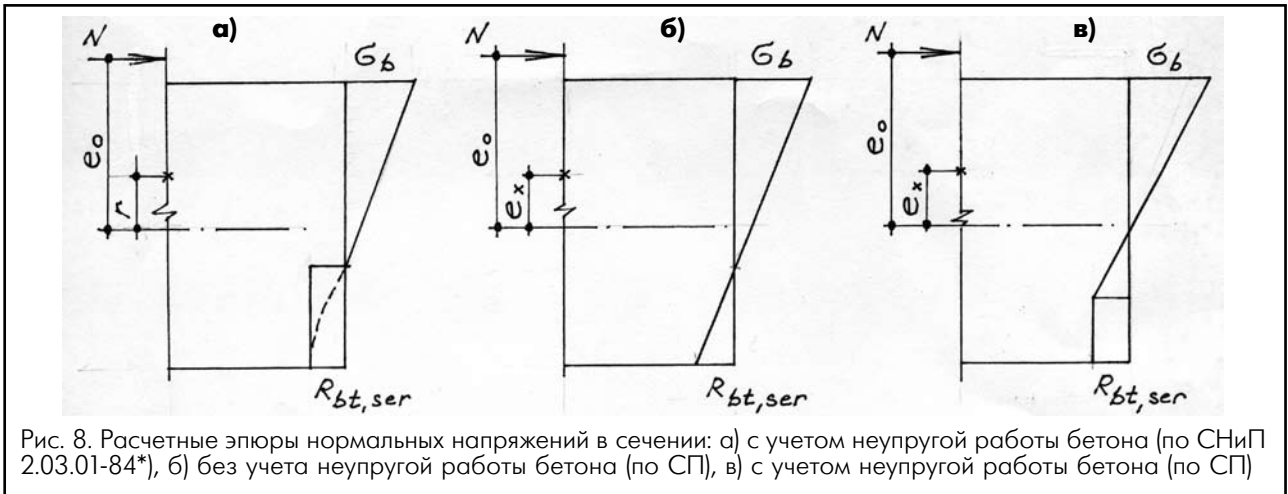
где N – продольная сжимающая (знак «+») или растягивающая (знак «-») сила,

W_{red} – упругий момент сопротивления приведенного сечения (его допускается вычислять даже без учета арматуры, т.е. как для бетонного сечения),

$e_x = W_{red}/A_{red}$ – расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной

*Продолжение. Начало в №№4, 6, 2006 и №№2, 5, 2007.





от растянутой грани (радиус ядра сечения, который всегда ранее обозначался буквой «r»),
 A_{red} – площадь приведенного сечения.
 Если трещиностойкость не обеспечивается, то расчет выполняют с учетом неупругих деформаций. В этом случае эпюра растягивающих напряжений принимается трапециевидной (рис. 8,в) – в соответствии с двухлинейной диаграммой, однако «ручное» решение задачи становится трудно выполнимым. К тому же, в растянутой зоне некоторых сечений (например, прямоугольных при изгибе) при двухлинейной диаграмме образуется обычная треугольная эпюра, а никак не трапециевидная. Трапециевидной эпюре «не позволяет» образоваться элементарное требование статики – равенство нулю проекций всех сил на продольную ось (читатель может в этом убедиться сам, проделав несложные вычисления).

Возможно, по этим причинам разработчики Пособия к СП [4] вернулись к упруго-пластическому моменту сопротивления W_{pl} и коэффициенту γ , правда, существенно уменьшив значения последнего (табл. 13). Это привело к снижению расчетной трещиностойкости нормальных сечений, особенно при внецентренном растяжении, что лишь отчасти компенсируется несколько большей величиной радиуса ядра сечения.

Проверку трещиностойкости нормальных сечений при центральном растяжении по старым Нормам [3] выполняли по формуле

$$N \leq N_{crc} = R_{bt,ser} (A + 2\alpha A_s),$$

где $\alpha = E_s/E_b$ – коэффициент приведения арматуры к бетону, A и A_s – площадь сечения соответственно бетона и всей продольной арматуры, 2 – коэффициент, учитывающий неупругие деформации растянутого бетона.

В Своде правил [2] из этой формулы исключен коэффициент «2» (в запас трещиностойкости), поэтому условие трещиностойкости приобрело более простой вид – как для упругого материала:

$$N \leq N_{crc} = A_{red} R_{bt,ser}$$

Однако в Пособии к СП [4] неупругие деформации бетона были вновь учтены, правда, в несколько ином виде:

$$N \leq N_{crc} = R_{bt,ser} A + 20A_s,$$

где 20 – напряжения в растянутой арматуре (МПа) в момент образования трещин в бетоне.

Что касается трещиностойкости наклонных сечений, то ни в новых Нормах, ни в СП, ни в Пособии к СП данный вопрос вообще не рассматривается. Видимо, с этим следует согласиться, так как практика проектирования, экспериментальные исследования и опыт эксплуатации железобетонных конструкций с обычной арматурой показали, что если наклонные трещины и образуются, то раскрытие их ничтожно мало – во всяком случае, на фоне нормальных трещин. Поэтому и нет смысла выполнять многодельные расчеты, результаты которых, к тому же, слабо согласуются с результатами опытов.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Расчет железобетонных конструкций с обычным армированием по образованию нормальных трещин не претерпел принципиальных изменений.

Для изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов лишь несколько снижены значения коэффициента перехода от упругого момента сопротивления нормальных сечений к упруго-пластическому, что привело к уменьшению расчетного момента образования трещин по сравнению с моментом, рассчитанным по старым Нормам.

Поскольку результаты расчета по образованию трещин решают не главную, а вспомогательную задачу, это уменьшение вряд ли стоит оспаривать – оно лишь вынудит проектировщика более часто прибегать к расчету по раскрытию трещин, что полезно само по себе, ибо позволит более грамотно проектировать конструкции и реже допускать ненадежные конструктивные решения.

Из новых Норм исключен расчет по трещиностойкости наклонных сечений конструкций с обычным армированием, что следует признать разумным шагом.

Библиографический список

1. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
2. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры.
3. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции (с изменениями 1988 г.).
4. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003).
5. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84) – М., 1989.

(Продолжение в одном из ближайших номеров)

Таблица 13
 Коэффициенты перевода упругого момента сопротивления сечения в упруго-пластический

Сечение	Значение γ	
	По старым нормам [5]	По новым нормам [4]
Прямоугольное	1,75	1,30
Тавровое с полкой в сжатой зоне	1,75	1,30
Тавровое с полкой в растянутой зоне (в зависимости от соотношения размеров полки и стенки)	1,50...1,75	1,20...1,25
Двутавровое симметричное (коробчатое) (в зависимости от соотношения размеров полок и стенки)	1,10...1,75	1,15...1,30
Двутавровое несимметричное (в зависимости от соотношения размеров полок и стенки)	1,25...1,75	1,25...1,30
Кольцевое и круглое	До 2,0	Отсутствует
Крестовое	1,75...2,0	Отсутствует

