



Томский государственный архитектурно-строительный университет

Кафедра
«Железобетонные и каменные конструкции»

Дисциплина
«Железобетонные конструкции»
Курс лекций

Тема 5. Расчет сечений железобетонных элементов по второй группе предельных состояний

Лекция 13.

Расчет трещиностойкости железобетонных элементов

Составитель: В. В. Родевич

Вопросы:

1. Общие положения, принимаемые при расчёте железобетонных конструкций по второй группе предельных состояний.
2. Требования к трещиностойкости железобетонных конструкций.
3. Расчёт по образованию трещин центрально-растянутых элементов.
4. Расчёт по образованию трещин нормальных к продольной оси элемента изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых конструкций (метод ядровых точек).

1. Общие положения, принимаемые при расчёте железобетонных конструкций по второй группе предельных состояний

Расчёты железобетонных конструкций по образованию и раскрытию трещин, а также по деформациям относятся к расчётам по второй группе предельных состояний. В расчётах исходим из следующих положений:

1. Напряжения в бетоне растянутой зоны перед образованием трещин принимаем равными расчётному сопротивлению бетона на растяжение при расчёте по второй группе предельных состояний, — $R_{bt,ser}$;

2. Напряжения в предварительно напряжённой арматуре равны $\sigma_{sp} + 2 \cdot \alpha \cdot R_{bt,ser}$, где σ_{sp} — предварительное напряжение в арматуре с учётом потерь и коэффициента точности натяжения, $2 \cdot \alpha \cdot R_{bt,ser}$ — приращение напряжения в арматуре (получено из условия совместности деформаций арматуры и окружающего бетона);

3. Напряжения в ненапрягаемой арматуре предварительно напряжённых элементов равны сумме сжимающего напряжения, вызванного усадкой и ползучестью бетона, и приращения растягивающего напряжения, отвечающего приращению деформаций окружающего бетона.

Под трещиностойкостью железобетонных конструкций понимают их сопротивление образованию и раскрытию трещин.

2. Требования к трещиностойкости железобетонных конструкций

В зависимости от условий эксплуатации конструкции и вида применяемой арматуры к трещиностойкости нормальных и наклонных сечений железобетонных элементов предъявляют требования, классифицированные на три категории (см. табл. 1 и 2 СНиП 2.03.01-84).

Ширина раскрытия трещин обозначается a_{crc1} – непродолжительное (кратковременное) раскрытие трещины и a_{crc2} - продолжительное (длительное) раскрытие трещины. Под непродолжительным (кратковременным) раскрытием трещин понимают их раскрытие при действии постоянных, длительных и кратковременных нагрузок, а под продолжительным (длительным) раскрытием трещин – только от постоянных и длительных нагрузок.

Расчет конструкций первой категории трещиностойкости производится по расчетным нагрузкам с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f > 1$ (как при расчете на прочность), а расчет конструкций второй и третьей категорий трещиностойкости производится по расчетным нагрузкам с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1$.

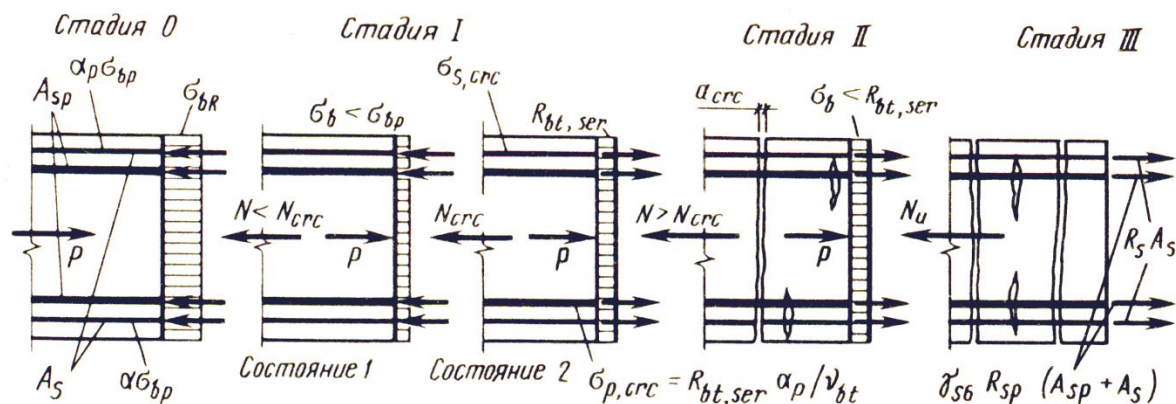
По первой категории трещиностойкости рассчитывают предварительно напряженные конструкции, находящиеся под давлением жидкости или газов (напорные трубы, резервуары) и конструкции, эксплуатируемые ниже уровня грунтовых вод при полностью растянутом сечении (табл. 1).

3. Расчёт по образованию трещин центрально-растянутых элементов

Цель расчета элементов железобетонных конструкций по образованию трещин заключается в определении продольной силы N_{crc} , вызывающей в растянутом бетоне расчетных сечений напряжения $R_{bt,ser}$ предполагается, что трещины в расчетных сечениях не образуются, если усилие N от внешних нагрузок не превышает усилия N_{crc} , воспринимаемого расчетным сечением перед образованием трещин, т.е. $N \leq N_{crc}$.

По образованию трещин рассчитывают нормальные и наклонные сечения элементов. В основу расчета положены следующие предпосылки:

1. Напряжения в бетоне и арматуре растянутой зоны сечения элементов принимают по данным стадии 1 напряженно-деформированного состояния.



где A , A_s , A_{sp} – соответственно площадь поперечного сечения элемента, ненапрягаемой и напрягаемой арматуры; P – усилие предварительного обжатия бетона с учетом соответствующих потерь, $P = \gamma_{sp} \cdot \sigma_{sp} \cdot A_{sp}$; при отсутствии напрягаемой арматуры A_{sp} , а следовательно, и P принимают равными нулю; γ_{sp} – коэффициент точности натяжения арматуры.

$$N \leq N_{crc} = A \cdot R_{bt,ser} + 2 \cdot \alpha_s \cdot R_{bt,ser} \cdot A_s + 2 \cdot \alpha_{sp} \cdot R_{bt,ser} \cdot A_{sp} + P,$$

Рис. 12.3

4. Расчёт по образованию трещин нормальных к продольной оси элемента изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых конструкций (метод ядровых точек)

Экспериментальными исследованиями установлено, что перед образованием трещин сечения изгибаемых (рис. а), внецентренно сжатых (рис. б) и внецентренно растянутых (рис. в) элементов испытывают напряженно-деформированное состояние по стадии 1. Поэтому СНиП 2.03.01-84 рекомендует единую методику расчета для всех случаев при тех же исходных данных, что и для центрально растянутых элементов.

Дополнительными исходными данными являются:

1. Сечения после деформации остаются плоскими.
2. Напряжения в сжатой зоне сечения определяют с учетом неупругих деформаций бетона.
3. Напряжения в арматуре сжатой зоны определяют: напрягаемой – как сумму предварительного напряжения и приращения напряжения, соответствующего приращению деформаций волокон бетона на уровне рассматриваемой арматуры; ненапрягаемой – как сумму напряжений, обусловленных усадкой и ползучестью бетона, и напряжения, вызванного деформацией окружающего бетона.

Имеются разные методики определения момента перед образованием трещин M_{cr} – иначе, называют момент трещинообразования. Нормы рекомендуют определять M_{cr} по способу ядровых моментов. Этот способ является условным расчетным приемом, поскольку фактические эпюры напряжений в растянутой и сжатой зоне бетона отличаются от расчетных эпюр.

В общем случае расчет по способу ядровых моментов сводится к проверке условия трещиностойкости $M_r \leq M_{cr}$, где M_r – момент внешних сил (ядровый момент внешних сил), относительно оси, нормальной к плоскости изгиба и проходящей через ядровую точку, наиболее удаленную от зоны, трещиностойкость которой проверяем,

Рис. 12.4а

M_{cpc} – момент, воспринимаемый сечением, нормальным к продольной оси элемента перед образованием трещин. Если данное условие соблюдается, то трещины в сечениях нормальных к продольной оси элемента не образуются.

Для изгибаемых элементов (рис. а) $M_r = M$, где M_r – изгибающий момент от внешних нагрузок, определяемый по правилам строительной механики;

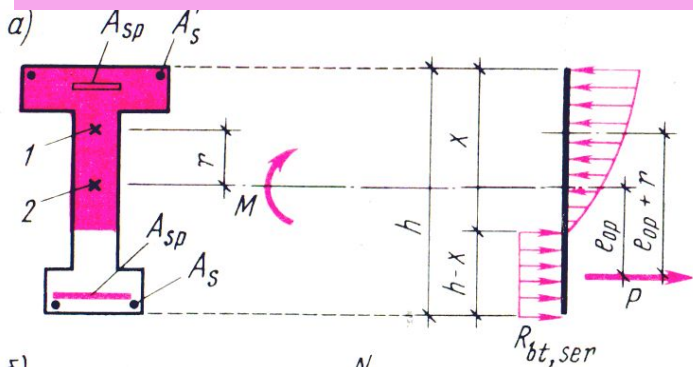


Рис. а. Схема усилий и напряжений в поперечном сечении элемента при расчете его по образованию трещин при изгибе, нормальных к продольной оси элемента, в зоне сечения, растянутой от действия внешних нагрузок, но сжатой от действия усилия предварительного обжатия: 1 — ядровая точка; 2 — центр тяжести приведенного сечения

Для внецентренно сжатых элементов (рис. б) $M_r = N(e_o - r)$, где N – продольная сжимающая сила от внешних нагрузок; e_o – эксцентриситет внешней продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения; r – расстояние от центра тяжести приведенного сечения (точка 2) до верхней ядровой точки 1;

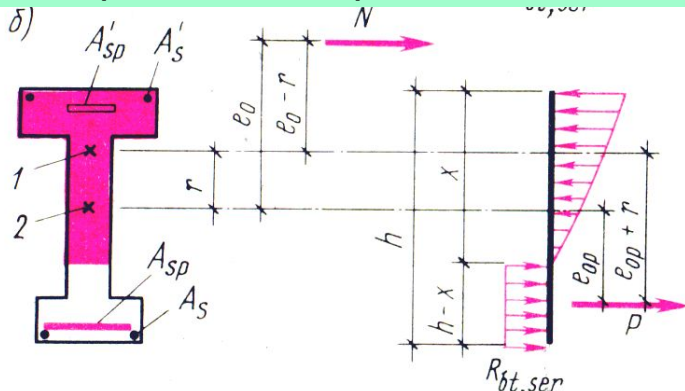


Рис. б. Схема усилий и напряжений в поперечном сечении элемента при расчете его по образованию трещин при внецентренном сжатии, нормальных к продольной оси элемента, в зоне сечения, растянутой от действия внешних нагрузок, но сжатой от действия усилия предварительного обжатия: 1 — ядровая точка; 2 — центр тяжести приведенного сечения

Для внецентренно растянутых элементов (рис. в) $M_r = N(e_0 + r)$, где N – продольная сжимающая сила от внешних нагрузок; e_0 – эксцентриситет внешней продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения; r – расстояние от центра тяжести приведенного сечения (точка 2) до верхней ядровой точки 1.

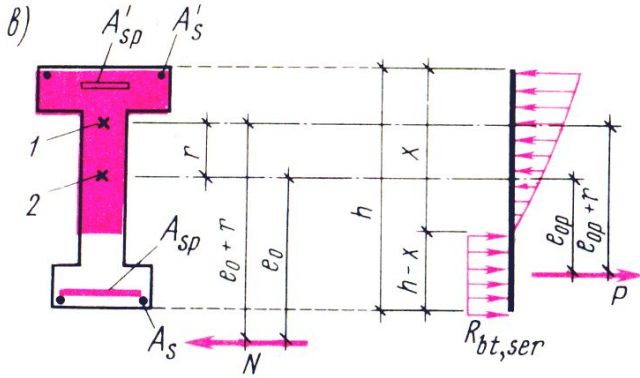


Рис. в. Схема усилий и напряжений в поперечном сечении элемента при расчете его по образованию трещин при внецентренном растяжении, нормальных к продольной оси элемента, в зоне сечения, растянутой от действия внешних нагрузок, но сжатой от действия усилия предварительного обжатия: 1 — ядровая точка; 2 — центр тяжести приведенного сечения

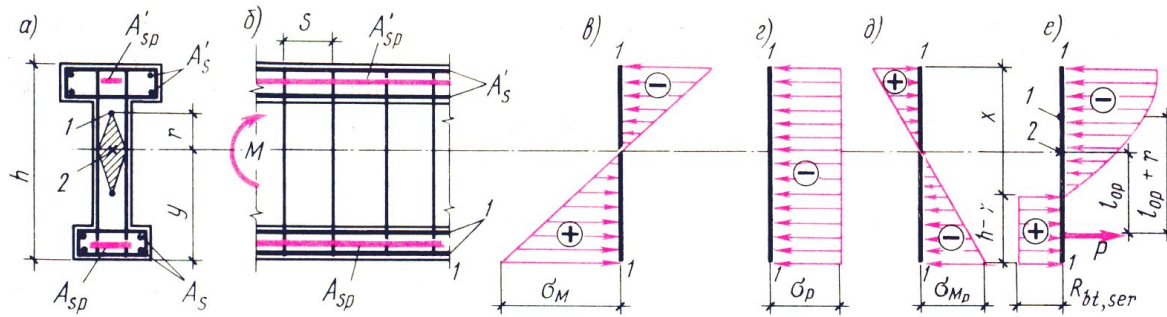


Рис. г. К расчету по образованию нормальных трещин изгибаемых предварительно напряженных элементов:

а) – поперечное сечение; б) – схема армирования изгибаемого элемента; в) – схема эпюры напряжения (σ_M) в сечении от внешнего момента M ; г) – схема эпюры напряжения (σ_p) в сечении от силы предварительного обжатия P ; д) – схема эпюры суммарных напряжений ($\sigma_{M, p}$) в сечении от совместного действия внешнего момента M и от силы предварительного обжатия P ; е) – схема расчетной эпюры суммарных напряжений перед образованием нормальных трещин в растянутой зоне сечения от совместного действия внешнего момента M и от силы предварительного обжатия P

На основании теории сопротивления упругих материалов нормальные напряжения на уровне крайнего растянутого волокна от указанных силовых воздействий могут быть найдены по формулам (знак «-» присвоен сжимающим напряжениям):

$\sigma_M = -M / W_{red}$; $\sigma_P = -P / A_{red}$; $\sigma_{M, P} = -M_p / W_{red} = -P * e_{op} / W_{red}$, где $W_{red} = I_{red} / y_o$ – приведенный момент сопротивления приведенного сечения элемента для крайнего растянутого волокна, определенный как для упругого материала; y_o – расстояние от нижнего растянутого волокна сечения элемента до центра тяжести приведенного сечения; A_{red} , I_{red} – соответственно площадь и момент инерции приведенного сечения; $W_{red} = I_{red} / r$; r – расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки 1.

Суммарное напряжение в нижнем растянутом волокне приведенного сечения

$$\sigma_{bt} = \sigma_M - \sigma_P - \sigma_{M, P}$$

В соответствии с напряженно-деформированным состоянием стадии 1 напряжения σ_{bt} в растянутых волокнах принимают перед образованием трещин равным $R_{bt,ser}$, тогда

$$R_{bt,ser} = M / W_{red} - P * r / W_{red} - P * e_{op} / W_{red}$$

или $R_{bt,ser} * W_{red} = M - P * r - P * e_{op}$ (*)

В момент трещинообразования в растянутой зоне изгибаемого элемента момент внутренних сил $M = M_{crc}$, тогда из уравнения (*) получим

$$M_{crc} = R_{bt,ser} * W_{red} + P * (e_{op} + r).$$

Учитывая, что в момент трещинообразования сечения работают с упругопластическим моментом сопротивления W_{pl} , окончательно получим

$$M_{crc} = R_{bt,ser} * W_{pl} + P * (e_{op} + r) = R_{bt,ser} * W_{pl} + M_{rp}, (**)$$

где $R_{bt.ser} * W_{pl} = M_b$ – момент, воспринимаемый бетоном нормального сечения в момент образования первых трещин в растянутой зоне элементов; $P^*(e_{op} + r) = M_{rp}$ – ядровый момент предварительного обжатия бетона.

Формула (**) остается справедливой для внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов.

Упругопластический момент сопротивления для крайнего растянутого волокна сечения $W_{pl} = 2(I_{bo} + \alpha * I_{so} = \alpha' I'_{so}) / (h-x) + S_{bo}$, где I_{bo} , I_{so} , I'_{so} – соответственно моменты инерции относительно нулевой линии площади сжатой зоны сечения, площади арматуры S и S' растянутой и сжатой зон сечения элемента; S_{bo} – статический момент площади бетона растянутой зоны сечения относительно нулевой линии; $h-x$ – расстояние от нулевой линии до нижнего волокна растянутой зоны сечения.

Положение нулевой линии сечения определяют из условия $S'_{bo} + \alpha' * S'_{so} + \alpha * S_{so} = 0,5(h-x)A_{bt}$, где S'_{bo} , S'_{so} , S_{so} – соответственно статические моменты площади бетона сжатой зоны сечения, площади арматуры S и S' растянутой и сжатой зон сечения элемента относительно нулевой линии; A_{bt} – площадь бетона растянутой зоны сечения.

Момент сопротивления W_{pl} определяют по формуле $W_{pl} = \gamma * W_{red}$. Значение γ для внецентренно сжатых и изгибаемых предварительно напряженных элементов принимают равными $\gamma = \phi * W_{red} / A_{red}$, где $\phi = 1,6 - \sigma_b / R_{bt.ser}$; $1 > \phi > 0,7$.