

состояний Общие сведения

Расчеты по предельным состояниям второй группы включают:

- ✓ Расчет по образованию трещин;
- ✓ Расчет по раскрытию трещин;
- ✓ Расчет по деформациям;

При расчете по предельным состояниям второй группы нагрузки принимают с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1$.

Цели расчета по трещиностойкости.

1. Обеспечить непроницаемость тех конструкций, которые с трещинами невозможно эксплуатировать (например, емкости для хранения жидкостей или газов).
2. Не допустить или ограничить возможность проникновения к поверхности арматуры всего того, что может вызвать коррозию стали (паро-воздушная смесь, химически агрессивные жидкости или газы). Поэтому у одних конструкций образование трещин не допускается, у других допускается непродолжительное раскрытие трещин с последующим их закрытием, у третьих допускается как непродолжительное, так и продолжительное раскрытие трещин с ограничением по ширине.

СОСТОЯНИЙ

Расчет момента образования трещин

Согласно СП, момент образования нормальных трещин следует определять одним из двух способов:

- 1) без учета неупругих деформаций бетона;
- 2) с учетом неупругих деформаций бетона в растянутой зоне.

В 1-ом случае условие трещиностойкости для изгибаемых, внецентренно сжатых и растянутых элементов – это, по существу, преобразованная запись известной формулы сопромата:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W \mp N \cdot e_x;$$

“+” при сжимающей, “-” при растягивающей продольной силе;

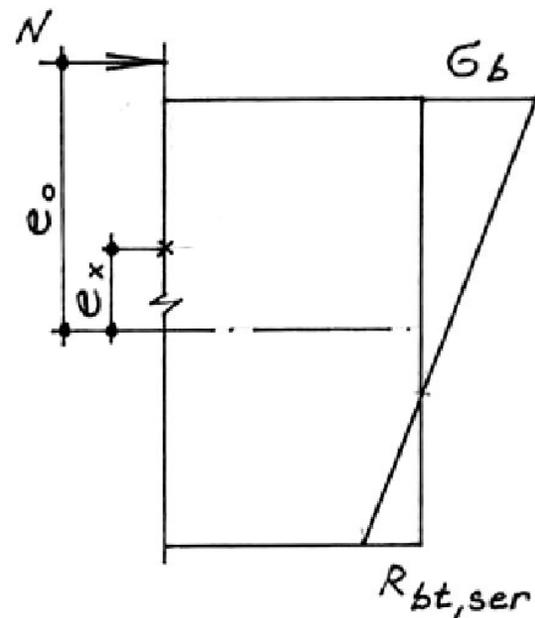
W – упругий момент сопротивления приведенного сечения; допускается определять без учета арматуры;

в случае прямоугольного сечения без учета арматуры: $W = \frac{b \cdot h^2}{6}$

$e_x = \frac{W}{A_{red}}$ – расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой грани (радиус ядра сечения, который ранее обозначался буквой “ r ”).

$A_{red} = A + A_s \cdot \alpha + A'_s \cdot \alpha$ – площадь приведенного поперечного сечения элемента;

$\alpha = \frac{E_s}{E_b}$ – коэффициент приведения арматуры к бетону.



состояний

Расчет момента образования трещин

8.2.10 Момент образования трещин с учетом неупругих деформаций растянутого бетона определяют в соответствии со следующими положениями:

- сечения после деформирования остаются плоскими;
- эпюру напряжений в сжатой зоне бетона принимают треугольной формы, как для упругого тела (рисунок 8.17);
- эпюру напряжений в растянутой зоне бетона принимают трапециевидной формы с напряжениями, не превышающими расчетных значений сопротивления бетона растяжению $R_{bt,ser}$;
- относительную деформацию крайнего растянутого волокна бетона принимают равной ее предельному значению $\varepsilon_{bt,ult}$ при кратковременном действии нагрузки (8.1.30); при двухзначной эпюре деформаций в сечении элемента $\varepsilon_{bt,ult} = 0,00015$;
- напряжения в арматуре принимают в зависимости от относительных деформаций как для упругого тела.

состояний

Расчет момента образования трещин

8.2.11 Момент образования трещин с учетом неупругих деформаций растянутого бетона определяют по формуле

$$M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W_{pl} \pm N \cdot e_x, \quad (8.121)$$

где W_{pl} – упругопластический момент сопротивления сечения для крайнего растянутого волокна бетона, определяемый с учетом положений 8.2.10;

e_x – расстояние от точки приложения продольной силы N (расположенной в центре тяжести приведенного сечения элемента) до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны, трещинообразование которой проверяется.

СОСТОЯНИЙ

Расчет момента образования трещин

Для прямоугольных сечений и тавровых сечений с полкой, расположенной в сжатой зоне, значение W_{pl} при действии момента в плоскости оси симметрии допускается принимать равным

$$W_{pl} = 1,3W_{red}, \quad (8.122)$$

где W_{red} – упругий момент сопротивления приведенного сечения по растянутой зоне сечения, определяемый в соответствии с 8.2.12.

8.2.12 Момент сопротивления W_{red} и расстояние e_x определяют по формулам:

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_t}; \quad (8.123)$$

$$e_x = \frac{W_{red}}{A_{red}}, \quad (8.124)$$

где I_{red} – момент инерции приведенного сечения элемента относительно его центра тяжести, определяемый по формуле

состояний

Расчет момента образования трещин

$$I_{red} = I + I_s \cdot \alpha + I'_s \cdot \alpha; \quad (8.125)$$

I, I_s, I'_s – моменты инерции сечений бетона, растянутой арматуры и сжатой арматуры соответственно;

A_{red} – площадь приведенного поперечного сечения элемента, определяемая по формуле

$$A_{red} = A + A_s \cdot \alpha + A'_s \cdot \alpha; \quad (8.126)$$

α – коэффициент приведения арматуры к бетону

состояний

Расчет момента образования трещин

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b};$$

A, A_s, A'_s – площади поперечного сечения бетона, растянутой и сжатой арматуры соответственно;

y_t – расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного поперечного сечения элемента

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}},$$

здесь $S_{t,red}$ – статический момент площади приведенного поперечного сечения элемента относительно наиболее растянутого волокна бетона.

Допускается момент сопротивления W_{red} определять без учета арматуры.

СОСТОЯНИЙ

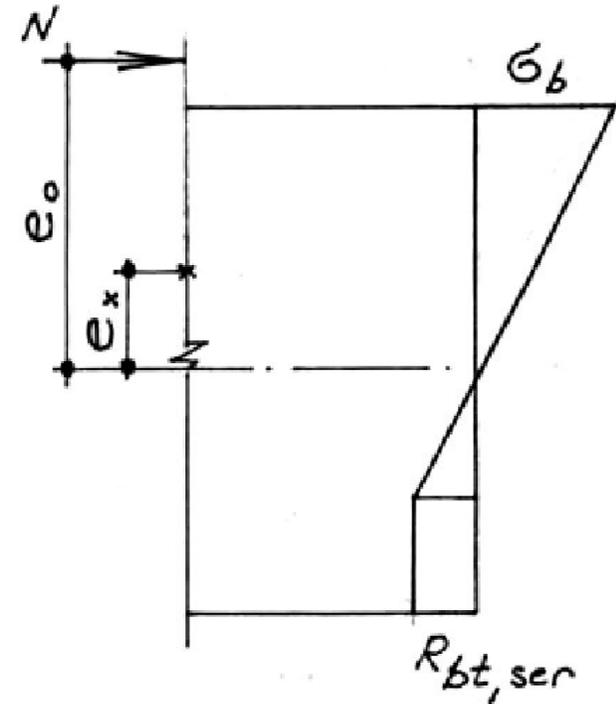
Расчет момента образования трещин

Если трещиностойкость не обеспечивается, то расчет выполняют с учетом неупругих деформаций. В этом случае эпюра растягивающих напряжений принимается трапециевидной – в соответствии с двух линейной диаграммой, однако "ручное" решение задачи становится трудно выполнимым.

Проверка трещиностойкости нормальных сечений при центральном растяжении:

$$N_{crc} = R_{bt,ser} + 20 \cdot A_s$$

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



СОСТОЯНИЙ

Расчет по раскрытию трещин

Продолжительное и непродолжительное раскрытие трещин

После того, как трещина образовалась, ширина ее раскрытия не остается неизменной: при увеличении нагрузки трещина расширяется, при уменьшении сужается.

В реальных условиях нагрузка тоже меняется:

- ✓ продолжительное время действуют постоянная и длительная нагрузки, которые вызывают раскрытие трещин на ширину a_{crc1} ;
- ✓ непродолжительное время действуют кратковременная нагрузка, которая совместно с постоянной и длительной увеличивает раскрытие трещин до ширины a_{crc} ;
- ✓ а как только кратковременная нагрузка снимается, ширина вновь уменьшается до величины a_{crc1} .

Очевидно, что $a_{crc} > a_{crc1}$.

Следовательно:

a_{crc} - это ширина непродолжительного раскрытия трещин от суммарного действия постоянных, длительных и кратковременных нагрузок,

a_{crc1} - ширина продолжительного раскрытия от действия только постоянных и длительных нагрузок.

СОСТОЯНИЙ

Расчет по раскрытию трещин

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин $a_{срс,u}$

По старым Нормам			По новым Нормам (СП)		
Условие	Раскрытие	$a_{срс,u}$, мм	Условие	Раскрытие	$a_{срс,u}$, мм
В помещении; На открытом воздухе; В грунте выше или ниже грунтовых вод;	Продолжительное	0.4	Обеспечение сохранности арматуры	Продолжительное	0.4
	Непродолжительное	0.3		Непродолжительное	0.3
В грунте при переменном уровне грунтовых вод	Продолжительное	0.3	Ограничение проницаемост и конструкций	Продолжительное	0.3
	Непродолжительное	0.2		Непродолжительное	0.2

Предельные значения $a_{срс,u}$ в новых Нормам изложены не в конкретной, а в обтекаемой форме и оставляют проектировщику право самому определять нужные предельные значения.

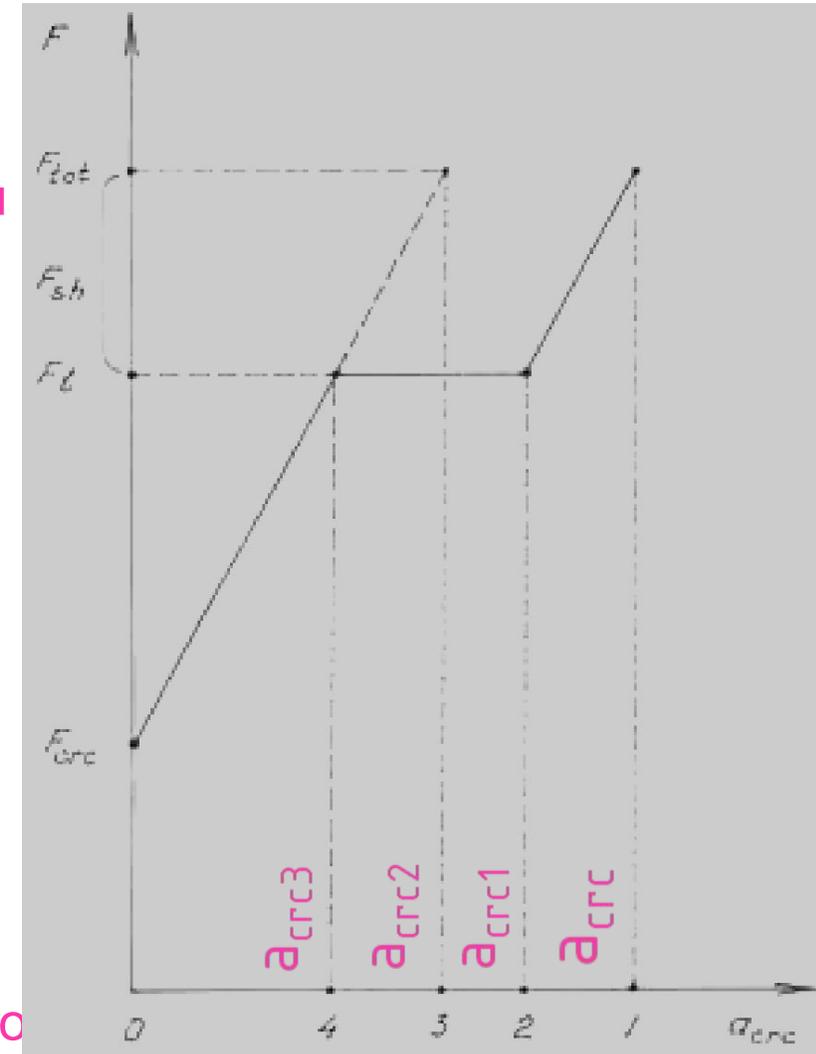
СОСТОЯНИЙ

Расчет по раскрытию трещин

Расчет ширины непродолжительного раскрытия трещин от действия полной нагрузки представляет собой условный четырехэтапный процесс.

- 1) вычисляют ширину продолжительного раскрытия трещин от длительного действия постоянной и длительной нагрузок F_l (точка 2), которую в СП обозначили как a_{crc1} .
- 2) вычисляют ширину непродолжительного раскрытия трещин от кратковременного действия полной нагрузки F_{tot} (точка 3), которая обозначена как a_{crc2} .
- 3) вычисляют ширину непродолжительного раскрытия трещин от кратковременного действия постоянных и длительных нагрузок F_l (точка 4), которую в СП обозначают как a_{crc3} .
- 4) Отсюда получают ширину непродолжительного раскрытия трещин a_{crc} (точка 1): $a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3}$,

где разность $(a_{crc2} - a_{crc3})$, т.е. расстояние между точками 3 и 4, есть приращение ширины непродолжительного раскрытия трещин от действия кратковременной нагрузки; F_{tot} – нагрузка в момент образования трещин; F_{sh} – кратковременная нагрузка; F_{crc} – нагрузка в момент образования трещин.



СОСТОЯНИЙ

Расчет по раскрытию трещин

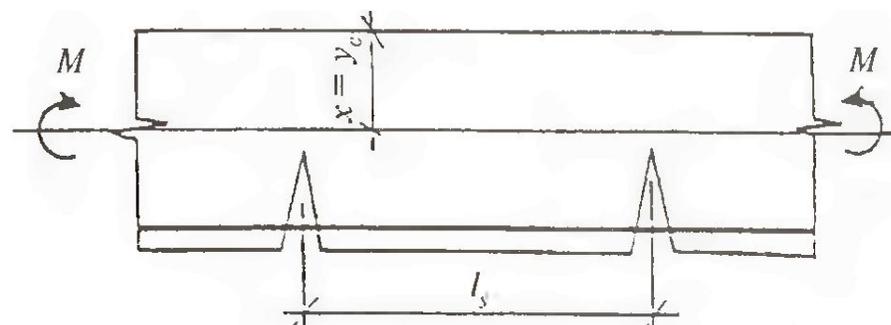
Расчет ширины непродолжительного раскрытия трещин

$$a_{crc} = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot l_s$$

φ_1 - коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки. Чем продолжительнее действует нагрузка, тем больше раскрываются трещины. $\varphi_1 = 1$ - при непродолжительном действии нагрузки, $\varphi_1 = 1.4$ - при продолжительном;

φ_2 - коэффициент, учитывающий профиль арматуры, принимаемый 0.5 - для арматуры периодического профиля, 0.8 - для гладкой арматуры. Чем более развита поверхность, тем лучше сцепление с бетоном, тем меньше шаг трещин, тем меньше a_{crc} ;

φ_3 - коэффициент, учитывающий характер нагружения; $\varphi_3 = 1$ - при изгибе и внецентренном сжатии, $\varphi_3 = 1.2$ - для растянутых элементов;



состояний

Расчет по раскрытию трещин

8.2.17 Значения базового расстояния между трещинами l_s определяют по формуле

$$l_s = 0,5 \cdot \frac{A_{bt}}{A_s} \cdot d_s \quad (8.136)$$

и принимают не менее $10 d_s$ и 10 см и не более $40 d_s$ и 40 см;

где A_{bt} – площадь сечения растянутого бетона;

A_s – площадь сечения растянутой арматуры;

d_s – номинальный диаметр арматуры.

Значения A_{bt} определяют по высоте растянутой зоны бетона x_t , используя правила расчета момента образования трещин согласно 8.2.8 – 8.2.14.

В любом случае значение A_{bt} принимают равным площади сечения при ее высоте в пределах не менее $2a$ и не более $0,5h$.

8.2.18 Значения коэффициента μ определяют по формуле

СОСТОЯНИЙ

Расчет по раскрытию трещин

Расчет ширины непродолжительного раскрытия трещин

$\sigma_s = \frac{M}{z_s \cdot A_s}$ - напряжения в растянутой арматуре (для изгибаемых элементов);

$z_s = 0.8h_0$ - расстояние от центра тяжести растянутой арматуры до точки приложения равнодействующей в сжатой зоне бетона

- при внецентренном сжатии и растяжении:

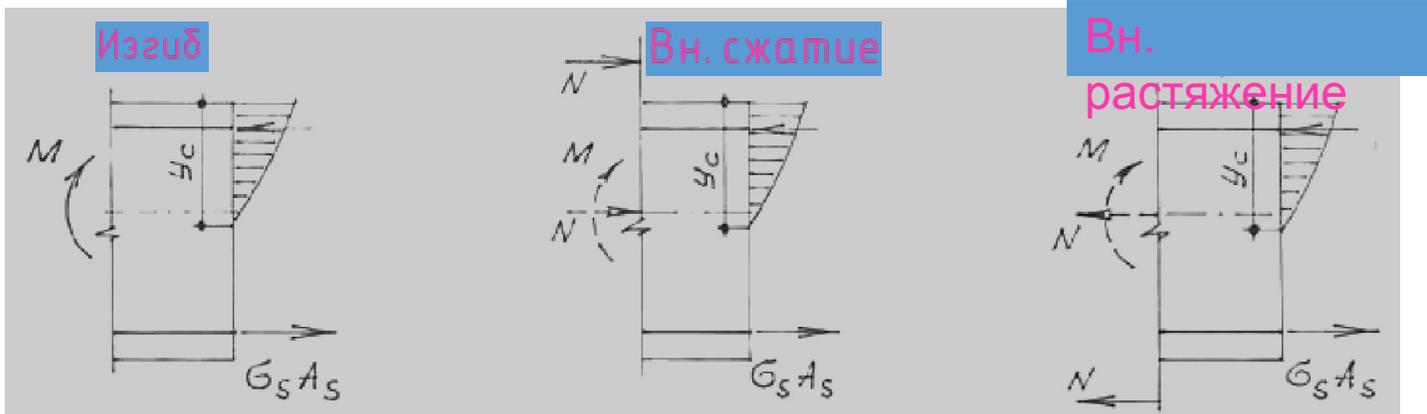
$$\sigma_s = \left(\frac{M \cdot (h_0 - y_c)}{I_{red}} \pm \frac{N}{A_{red}} \right) \cdot \alpha_{s1}$$

где A_{red} , I_{red} - площадь и момент инерции приведенного сечения;

α_{s1} - коэффициент приведения арматуры к бетону;

- при центральном растяжении:

$$\sigma_s = \frac{N}{A_s}$$



СОСТОЯНИЙ

Расчет по раскрытию трещин

Расчет ширины непродолжительного раскрытия трещин

$$\psi_s = 1 - 0.8 \cdot \frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s}$$

$\sigma_{s,crc}$ – напряжения в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин;

Для изгибаемых элементов допускается принимать:

$$\psi_s = 1 - 0.8 \cdot \frac{M_{crc}}{M}$$

Следует учитывать, что на ширину раскрытия трещин влияет диаметр продольной арматуры.

С увеличением d_s площадь сечения арматуры A_s возрастает в квадрате, а периметр p – линейно. Т.е. увеличение поверхности контакта арматуры с бетоном отстает от роста усилия $N_s = \sigma_s \cdot A_s$. Поэтому при одинаковых напряжениях σ_s чем больше диаметр стержня, тем хуже сцепление, тем больше раскрытие трещин.