

Тема 12

Расчет по второй группе предельных состояний.

Расчет по образованию и раскрытию трещин.

ЖБК делятся на 3 категории:

I категории: образование трещин не допускается (предварительно напряженные элементы; ЖБК, находящиеся под давлением жидкости или газов (резервуары, напорные трубы и т.д.) при полностью растянутом сечении или при частично сжатом сечении с проволочной арматурой диаметром менее 3 мм);

II категория – допускается ограниченное по ширине непродолжительное раскрытие трещин при условии их последующего закрытия (опоры ЛЭП);

III категория – допускается ограниченное по ширине непродолжительное и продолжительное раскрытие трещин (большинство конструкций).

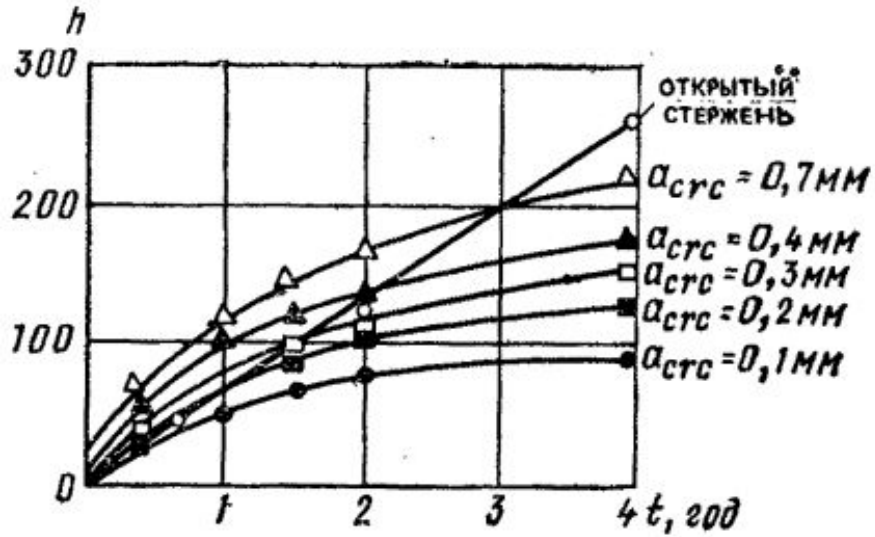
Непродолжительное раскрытие трещин определяют от совместного действия постоянных и временных нагрузок.

Продолжительное раскрытие – только от постоянных и временных длительных нагрузок.

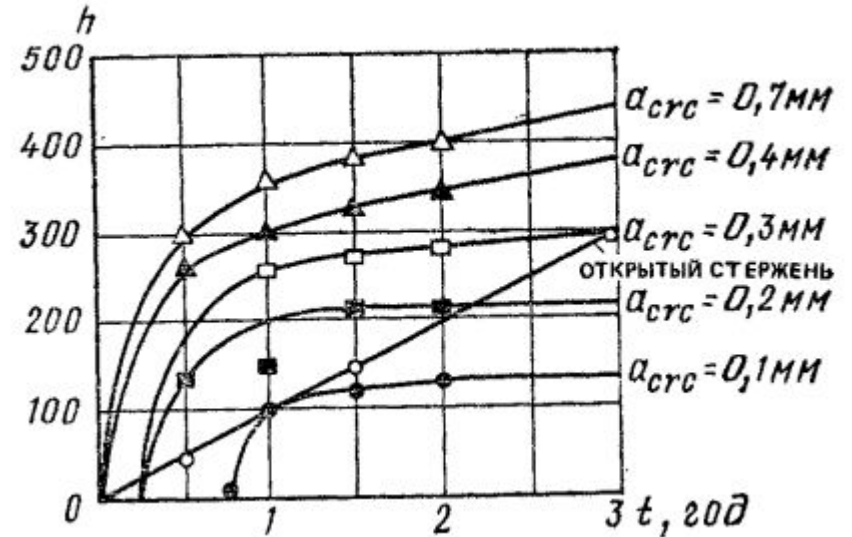
Предельно допустимая ширина раскрытия трещин:

По старым нормам			По новым нормам (СП)		
Условие	Раскрытие	$a_{ср},$ мм	Условие	Раскрытие	$a_{ср},$ мм
В помещении, на открытом воздухе, в грунте выше или ниже уровня грунтовых вод	Непродолжительное	0.4	Обеспечение сохранности арматуры	Непродолжительное	0.4
	Продолжительное	0.3		Продолжительное	0.3
В грунте при переменном уровне грунтовых вод	Непродолжительное	0.3	Ограничение проницаемости конструкций	Непродолжительное	0.3
	Продолжительное	0.2		Продолжительное	0.2

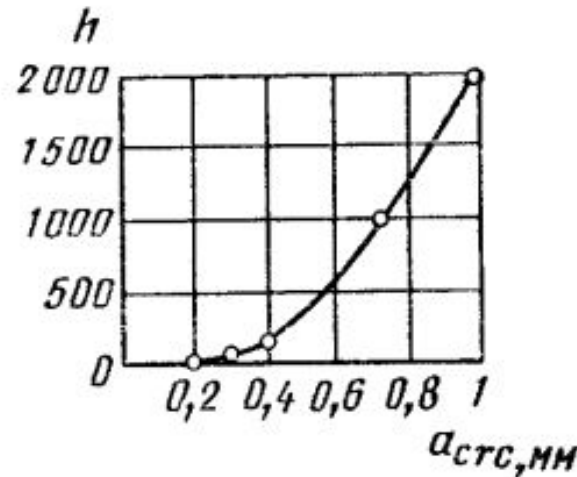
Связь между шириной раскрытия трещины и коррозией арматуры (h – глубина язв в мкм)



в атмосферных условиях



при периодическом увлажнении

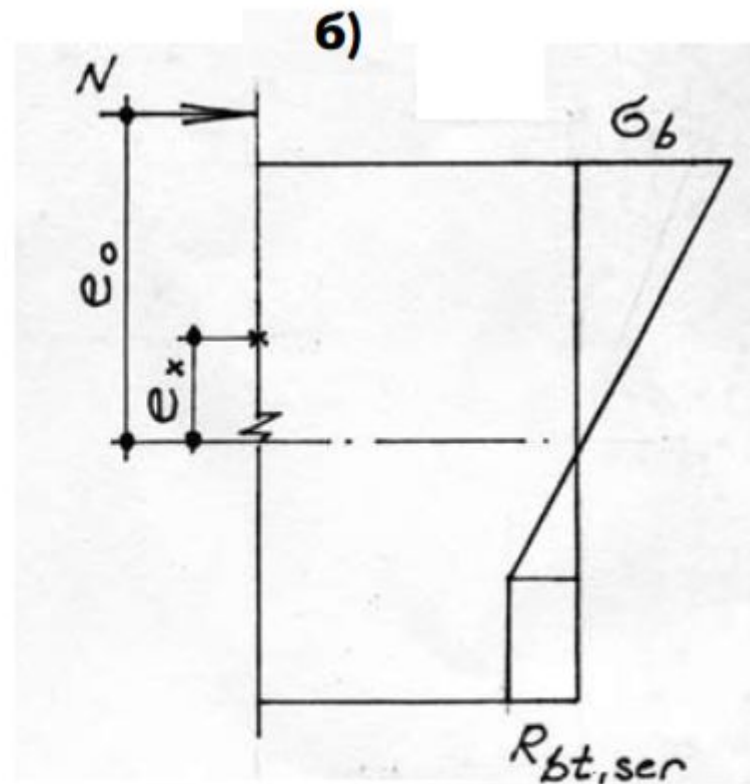
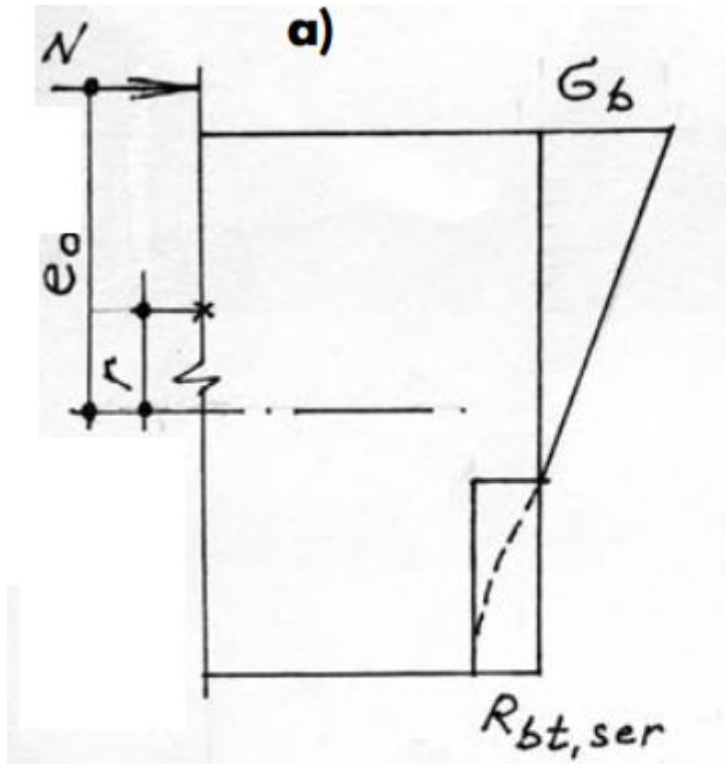


в агрессивной среде при $a_{crc} > 0,3$ мм

Основные положения норм:

1. Сечения после деформирования остаются плоскими;
2. Эпюру напряжений в сжатой зоне бетона принимают треугольной формы, как для упругого тела;
3. Эпюру напряжений в растянутой зоне бетона принимают трапециевидной формы с напряжениями, не превышающими расчетных значений сопротивления бетона растяжению $R_{bt,ser}$;
4. Относительную деформацию крайнего растянутого волокна бетона принимают равной ее предельному значению $\varepsilon_{bt,ult}$: при кратковременном действии нагрузки $\varepsilon_{bt,ult} = \varepsilon_{bt2}$ принимают по таблице 5.6 СП 52-101-2003 (в зависимости от величины относительной влажности окружающей среды); при двухзначной эпюре деформаций в сечении элемента $\varepsilon_{bt,ult} = 0.00015$.
5. Напряжения в арматуре принимают в зависимости от относительных деформаций как для упругого тела.

Расчетные эпюры напряжений по старым и новым нормам

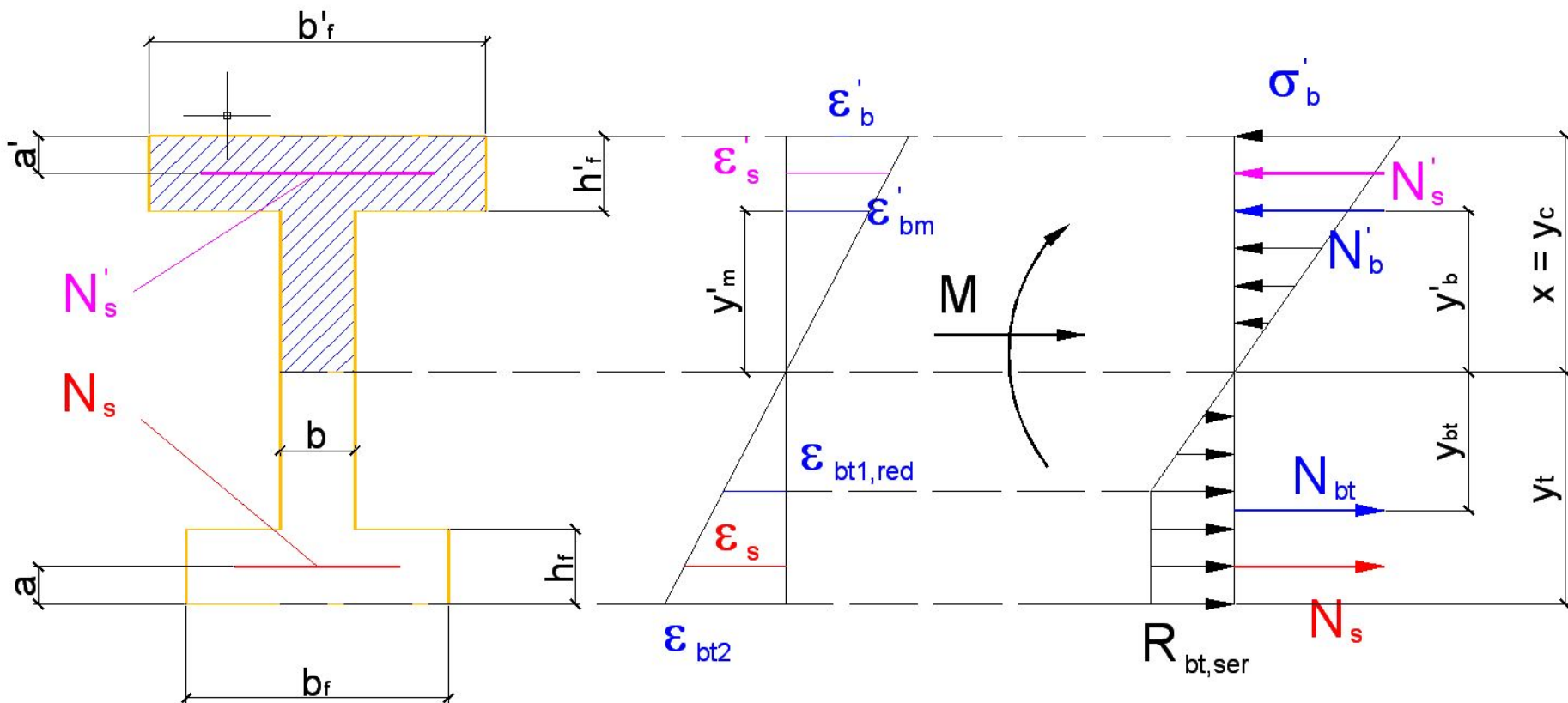


Расчетные эпюры нормальных напряжений в сечении:

а) с учетом неупругой работы бетона (по СНиП 2.03.01-84*) ,

б) с учетом неупругой работы бетона (по СП)

Расчет по образованию трещин



Расчет элементов без предварительного напряжения

В основе расчета лежит **первая** стадия работы конструкций.

$$M \leq M_{crc}$$

Момент образования трещин без учета неупругих деформаций растянутого бетона определяют как для сплошного упругого тела по формуле:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W$$

где W – момент сопротивления приведенного сечения для крайнего растянутого волокна бетона;

$$W = \frac{I_{red}}{y_t}$$

где I_{red} – момент инерции приведенного поперечного сечения относительно его центра тяжести;

$$I_{red} = I + I_s \alpha + I'_s \alpha$$

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

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

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

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

$$A_{red} = A + A_s \alpha + A'_s \alpha$$

α – коэффициент приведения арматуры к бетону:

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

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

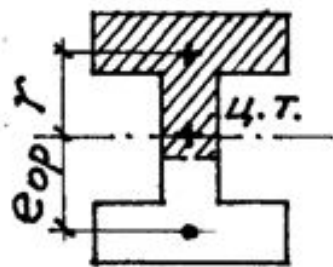
Для прямоугольных тавровых и двутавровых сечений допускается заменять W_{red} на W_{pl} :

$$W_{pl} = W \cdot \gamma$$

Величина W в этом случае определяется без учета арматуры, γ - табличный коэффициент.

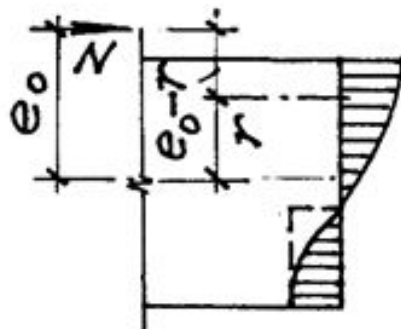
При внецентренном сжатии или растяжении

Моменты продольных сил N от внешней нагрузки принимают относительно ядровых точек



при внецентренном сжатии

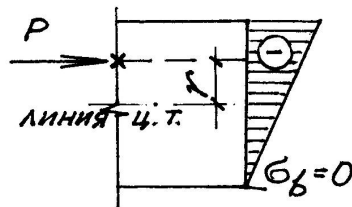
$$M_p = N(e_0 - r)$$



при внецентренном растяжении

$$M_p = N \cdot (e_0 + r)$$

Отличительной особенностью ядровой точки является то, что приложенная в ней продольная сила вызывает на противоположной грани сечения нулевые напряжения.



По нормам:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W \pm N e_x$$

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

$$e_x = \frac{W}{A_{red}}$$

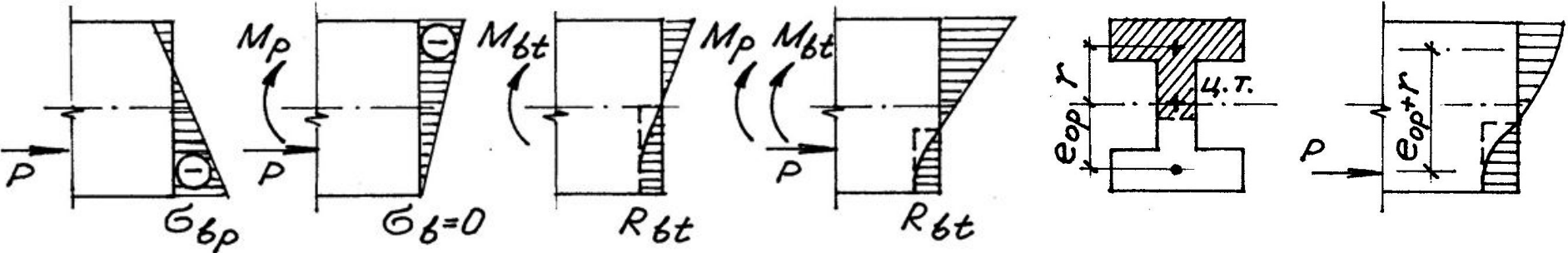
В формуле знак «плюс» принимают при **сжимающей** продольной силе N , «минус» - при **растягивающей** силе.

При центральном растяжении

Усилие N_{crc} при образовании трещин :

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

Этапы трещинообразования в преднапряженных конструкциях



$$M_{crc} = M_p + M_{bt}$$

M_p – момент, который погашает предварительное обжатие крайнего волокна бетона, т.е. уменьшает в нем сжимающие напряжения от σ_{bp} до 0

M_{bt} – момента, который повышает в этом же волокне растягивающие напряжения от 0 до сопротивления бетона растяжению $R_{bt,ser}$

$$M_p = W_{red} \cdot \sigma_{pb}$$

Из уравнения моментов относительно ц.т. сечения:

$$\sigma_{bp} = \frac{P}{A_{red}} + \frac{P \cdot e_{op}}{W_{red}}$$

$$M_p = W_{red} \cdot \left(\frac{P}{A_{red}} + \frac{P \cdot e_{op}}{W_{red}} \right) = P \cdot (r + e_{op})$$

$r = \frac{W_{red}}{A_{red}}$ - расстояние от центра тяжести приведенного сечения до верхней ядровой точки

$$M_{bt} = W_{pl} \cdot R_{bt,ser}$$

W_{pl} – упруго-пластический момент сопротивления приведенного сечения.

Расчет преднапряженных элементов.

Момент образования трещин предварительно напряженных изгибаемых элементов без учета неупругих деформаций растянутого бетона определяют как для сплошного упругого тела по формуле:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W \cdot \gamma \pm P \cdot e_{яp}$$

где W - момент сопротивления приведенного сечения для крайнего растянутого волокна;

$e_{яp} = e_{op} + r$ - расстояние от точки приложения усилия предварительного обжатия P до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны, трещинообразование которой проверяется;

e_{op} - то же, до центра тяжести приведенного сечения;

r - расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки.

γ - коэффициент, учитывающий влияние неупругих деформаций растянутой зоны на сопротивление сечения

В формуле знак « + » принимают, когда направления вращения моментов $P \cdot e_{яp}$ и внешнего изгибающего момента M противоположны; « - » - когда направления совпадают.

Момент сопротивления W и расстояние от центра тяжести приведенного поперечного сечения до ядровой точки r определяют по формулам:

$$W = \frac{I_{red}}{y_t}$$

$$r = \frac{W}{A_{red}}$$

где

I_{red} - момент инерции приведенного поперечного сечения относительно его центра тяжести;

A_{red} - площадь приведенного поперечного сечения элемента;

α - коэффициент приведения арматуры к бетону;

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

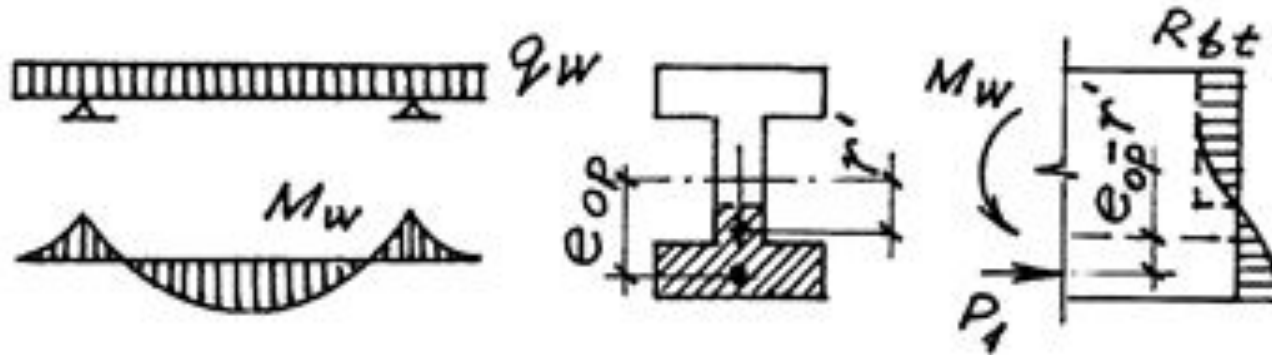
Указанные величины определяются по тем же формулам, что и для конструкций без предварительного напряжения.

Допускается момент сопротивления W определять без учета арматуры. В этом случае значения I_s , I'_s , A_s , A'_s в формулах принимают равными нулю.

Усилие N_{crc} при образовании трещин в центрально растянутых элементах определяют по формуле:

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

Трещиностойкость в стадии обжатия, транспортировки и монтажа:



Сила обжатия P_1 (с учетом первых потерь) создает момент того же знака, поэтому ее рассматривают как внешнюю силу, которая растягивает верхнюю грань.

$$M_w + P_1 \cdot (e_{op} - r') \leq R_{bt,ser} \cdot W'_{pl}$$

где W'_{pl} – упруго-пластический момент сопротивления для верхней грани. Величина $R_{bt,ser}$ должна соответствовать передаточной прочности бетона.