

# РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ ВТОРОЙ ГРУППЫ

## РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО РАСКРЫТИЮ ТРЕЩИН

- Расчет железобетонных элементов производят по непродолжительному раскрытию трещин и продолжительному раскрытию трещин.

## РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО РАСКРЫТИЮ ТРЕЩИН

- Непродолжительное раскрытие трещин определяют от совместного действия постоянных и временных (длительных и кратковременных) нагрузок;
- Продолжительные - только от постоянных и временных длительных нагрузок.

# РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО РАСКРЫТИЮ ТРЕЩИН

Расчет по раскрытию трещин производят из условия

$$a_{crc} \leq a_{crc,ult}$$

где  $a_{crc}$  - ширина раскрытия трещин от действия внешней нагрузки;

$a_{crc,ult}$  - предельно допустимая ширина раскрытия трещин.

# РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО РАСКРЫТИЮ ТРЕЩИН

Значения  $a_{crc,ult}$  принимают равными:

а) из условия сохранности арматуры (для любых конструкций):

0,3 мм - при продолжительном раскрытии трещин;

0,4 мм - при непродолжительном раскрытии трещин;

## РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО РАСКРЫТИЮ ТРЕЩИН

б) из условия ограничения проницаемости конструкций (для конструкций, подверженных непосредственному давлению жидкостей, газов, сыпучих тел)

0,2 мм - при продолжительном раскрытии трещин;

0,3 мм - при непродолжительном раскрытии трещин.

## РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО РАСКРЫТИЮ ТРЕЩИН

- Расчет по раскрытию трещин не производится, если соблюдается условие:

$$M \leq M_{crc},$$

где  $M$  - момент от внешней нагрузки относительно оси, нормальной к плоскости действия момента и проходящей через центр тяжести приведенного поперечного сечения элемента; при этом учитываются все нагрузки (постоянные и временные) с коэффициентом надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1$ ;

$M_{crc}$  - момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин.

## РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО РАСКРЫТИЮ ТРЕЩИН

- Для центрально растянутых элементов условие по образованию трещин:

$$N \leq N_{crc},$$

где  $N_{crc}$  - продольное растягивающее усилие, воспринимаемое элементом при образовании трещин.

## ***ЦЕНТРАЛЬНО-РАСТЯНУТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ***

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

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

где  $20(МПа)$  - напряжение во всей арматуре перед образованием трещин в бетоне.



# РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО РАСКРЫТИЮ ТРЕЩИН

Относительная деформация бетона  $\varepsilon_{bt,max}$  равна:

$$\varepsilon_{bt,ult} = \left( 15 - 5 \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \right) \cdot 10^{-5},$$

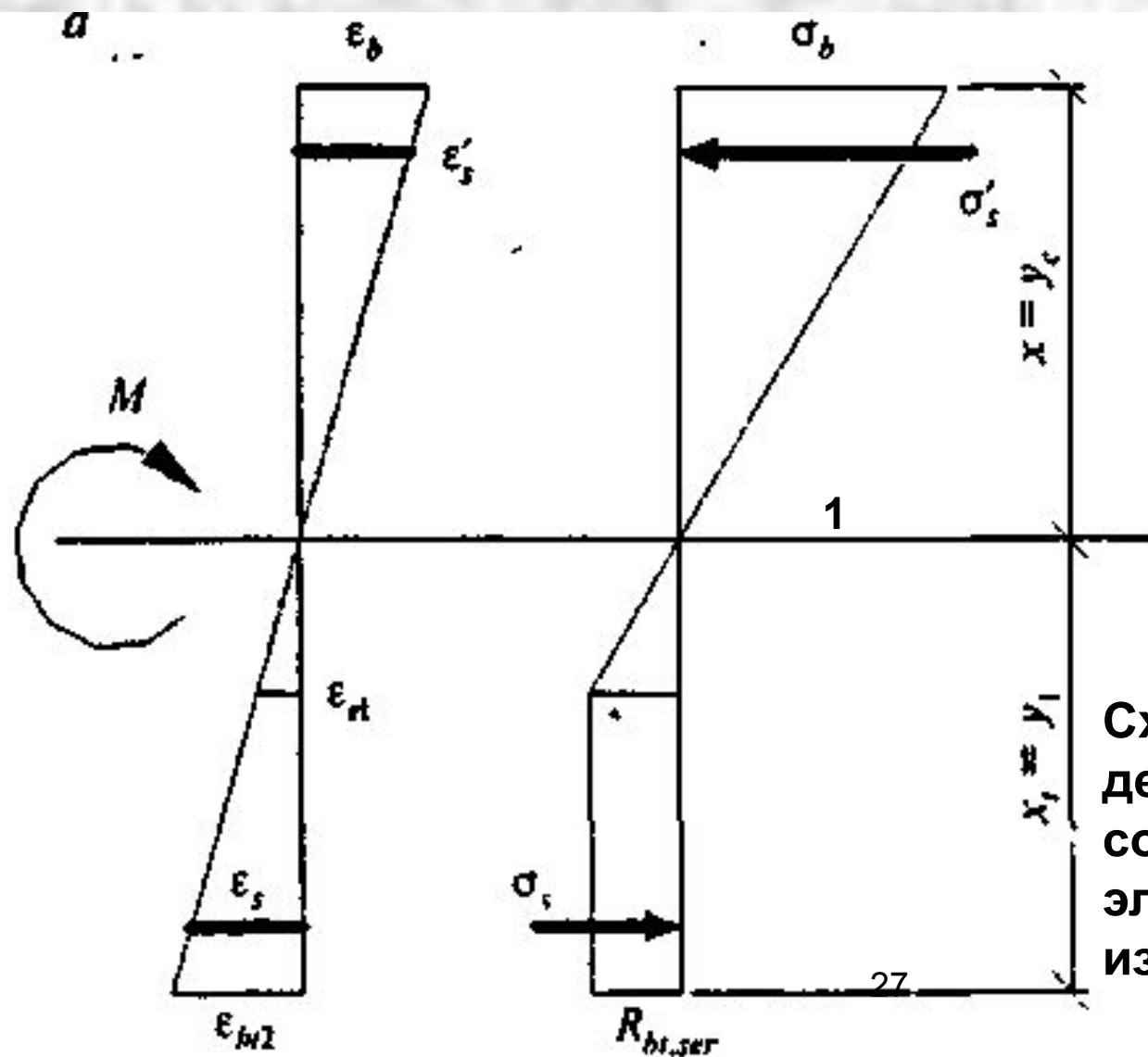
где при  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$   $\varepsilon_{bt,ult} = 10 \cdot 10^{-5} = 10^{-4}$ ,

$\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  – деформации бетона

на противоположных сторонах сечения.

$$\sigma_s = \varepsilon_{bt,ult} \cdot E_s = 10^{-4} \cdot 20 \cdot 10^4 = 20 \text{ МПа.}$$

# РАСЧЕТ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ОБРАЗОВАНИЮ ТРЕЩИН



1 - уровень центра тяжести приведенного поперечного сечения

Схема напряженно-деформированного состояния сечения элемента при действии изгибающего момента

# РАСЧЕТ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ОБРАЗОВАНИЮ ТРЕЩИН

$$M \leq M_{cr},$$

Изгибающий момент  $M_{cr}$  при образовании трещин определяется на основе деформационной модели с учетом неупругих деформаций растянутого бетона.

## РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО РАСКРЫТИЮ ТРЕЩИН

Допускается определять момент  $M_{crc}$  без учета неупругих деформаций бетона как для сплошного упругого тела по формуле:

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

Если при этом условие  $a_{crc} \leq a_{crc,ult}$  не удовлетворяется, то момент образования трещин следует определять с учетом неупругих деформаций бетона.

$W$  - момент сопротивления приведенного сечения для крайнего растянутого волокна бетона:

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

где  $I_{red}$  – момент инерции приведенного сечения относительно его центра тяжести:

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

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

$\alpha = E_s / E_b$  – коэффициент приведения арматуры к бетону;

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

*Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до растянутой грани элемента*

$$y_t = S_{red} / A_{red} ,$$

*где  $S_{red}$  – статический момент полного приведенного поперечного сечения относительно растянутой грани;*

*$A_{red}$  – площадь приведенного сечения;*

$$S_{red} = S + S_s \alpha + S'_s \alpha ,$$

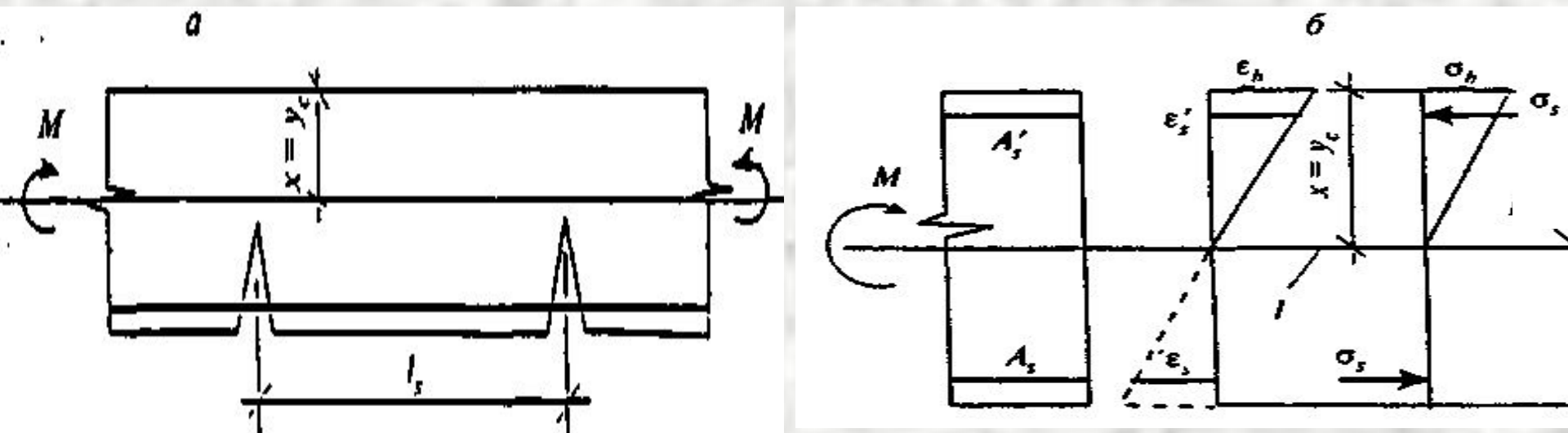
$$A_{red} = A + A_s \alpha + A'_s \alpha ,$$

Для прямоугольных, тавровых и двутавровых сечений при действии момента в плоскости оси симметрии момент образования трещин с учетом неупругих деформаций растянутого бетона допускается определять с заменой значения  $W$  на  $W_{pl} = W\gamma$

Таблица

Сечение	Коэффициент $\gamma$
Прямоугольное	1,30
Тавровое с полкой, расположенной в сжатой зоне	1,30

# Расчет ширины раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента



1- уровень центра тяжести приведенного поперечного сечения

Схема напряженно-деформированного состояния элемента с трещинами при действии изгибающего момента (а, б)



# ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН, НОРМАЛЬНЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ ЭЛЕМЕНТА

Ширину раскрытия нормальных трещин определяют по формуле:

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

где :

$\sigma_s$  – напряжение в продольной растянутой арматуре в нормальном сечении с трещиной от соответствующей внешней нагрузки;

$l_s$  – базовое (без учета влияния вида поверхности арматуры) расстояние между смежными нормальными трещинами;

## ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН, НОРМАЛЬНЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ ЭЛЕМЕНТА

$\psi_s$  – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами;

$\varphi_1$  – коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

1,0 – при непродолжительном действии нагрузки;

1,4 – при продолжительном действии нагрузки;

$\varphi_2$  – коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры, принимаемым равным:

0,5 – для арматуры периодического профиля;

0,8 – для гладкой арматуры;

$\varphi_3$  – коэффициент, учитывающий характер нагружения, принимаемым равным:

1,0 – для изгибаемых и внецентренно сжатых;

1,2 – для растянутых элементов.

## ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН, НОРМАЛЬНЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ ЭЛЕМЕНТА

$$l_s = 0,5 \frac{A_{bt}}{A_s} d_s, \quad 10d_s \leq l_s \leq 100 \text{ мм}, \quad 40d_s \geq l_s \leq 400 \text{ мм},$$

$A_{bt}$  - площадь сечения растянутого бетона.

При этом высота растянутой зоны бетона принимается  $\geq 2a$  и  $\leq 0,5h$ .

- Для прямоугольных, тавровых и двутавровых сечений высоту растянутой зоны бетона допускается определять по формуле с учетом указанных ограничений:

$$y = y_t k, \quad y_t = \frac{S_{red}}{A_{red}},$$

- где  $y_t$  - высота растянутой зоны бетона, определяемая как для упругого материала при коэффициенте приведения арматуры к бетону

$$\alpha = E_s / E_b;$$

## ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН, НОРМАЛЬНЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ ЭЛЕМЕНТА

***k*** - поправочный коэффициент, равный:

- для прямоугольных сечений и тавровых с полкой в сжатой зоне - ***0,90***;
- для двутавровых (коробчатых) сечений и тавровых с полкой в растянутой зоне - ***0,95***.

## ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН, НОРМАЛЬНЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ ЭЛЕМЕНТА

- Значение коэффициента  $\psi_s$  определяют по формуле

$$\psi_s = 1 - 0,8 \frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s},$$

– где  $\sigma_{s,crc}$  - напряжение в продольной растянутой арматуре в сечении сразу после образования нормальных трещин.

- Если  $\sigma_{s,crc} > \sigma_s$  принимают  $\psi_s = 0,2$ .
- Для изгибаемых элементов значение коэффициента  $\psi_s$  допускается определять по формуле:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \frac{M_{crc}}{M} \geq 0,2.$$

# ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН, НОРМАЛЬНЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ ЭЛЕМЕНТА

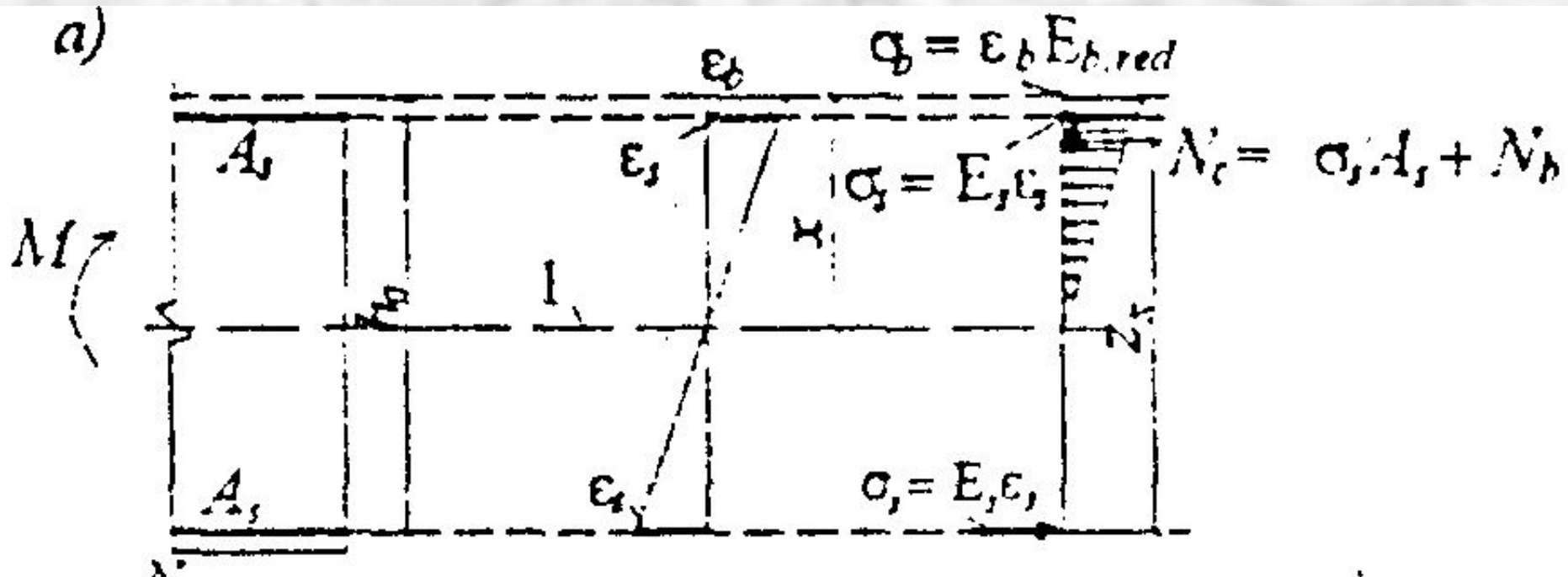


Рис. Схемы напряженно-деформированного состояния элементов с трещинами при действии: изгибающего момента (a)  
*I* -уровень центра тяжести приведенного сечения

# ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН, НОРМАЛЬНЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ ЭЛЕМЕНТА

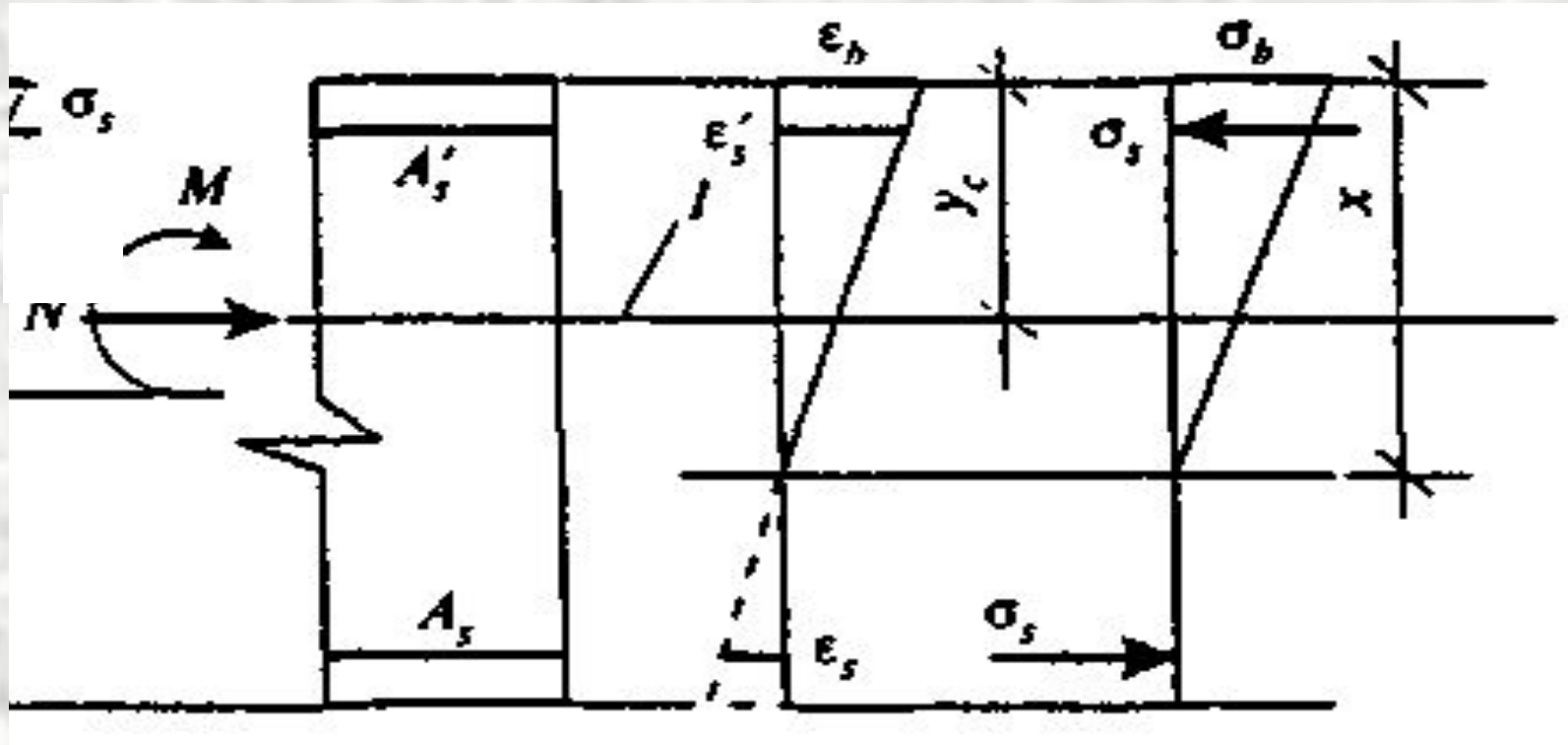


Рис. Схемы напряженно-деформированного состояния элементов с трещинами при действии: внецентренного сжатия  
 *$I$  -уровень центра тяжести приведенного сечения*



## ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН, НОРМАЛЬНЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ ЭЛЕМЕНТА

- Для центрально растянутых элементов значение коэффициента  $\sigma_s$  определяют по формуле

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

- Значение напряжения  $\sigma_s$  в растянутой арматуре изгибаемых элементов определяют по формуле

$$\sigma_s = \frac{M(h_0 - x)}{I_{red}} \alpha_{s1}, \quad \alpha_{s1} = \frac{E_s}{E_{b,red}},$$

$$E_{b,red} = \frac{R_{b,ser}}{\varepsilon_{b1,red}}, \quad \varepsilon_{b1,red} = 15 \cdot 10^{-4}$$

Высота сжатой зоны определяется из решения уравнения:

$$S_b = \alpha_{s1} (S_s - S'_s),$$

$S_b$ ,  $S_s$ ,  $S'_s$  - статические моменты, соответственно, сжатой зоны бетона, площадей растянутой и сжатой арматуры относительно нейтральной оси.

## ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН, НОРМАЛЬНЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ ЭЛЕМЕНТА

- Для тавровых, сечений высоту сжатой зоны определяют по формуле:

$$x = h_0 \left[ \sqrt{z^2 + 2 \left( \mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1} \frac{a'}{h_0} + \mu'_f \frac{h'_f}{2h_0} \right)} - z \right],$$

$$\text{где } z = \mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1} + \mu'_f;$$

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0}; \quad \mu'_s = \frac{A'_s}{bh_0}; \quad \mu_f = \frac{(b'_f - b)h'_f}{bh_0}.$$