



РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ

1. Расчет прочности нормальных сечений

Рассмотрим для примера однопролетную железобетонную балку, свободно лежащую на двух опорах, симметрично нагруженную двумя сосредоточенными силами. Участок балки между грузами находится в условиях чистого изгиба; в его пределах действует только изгибающий момент M , поперечная сила равна нулю.

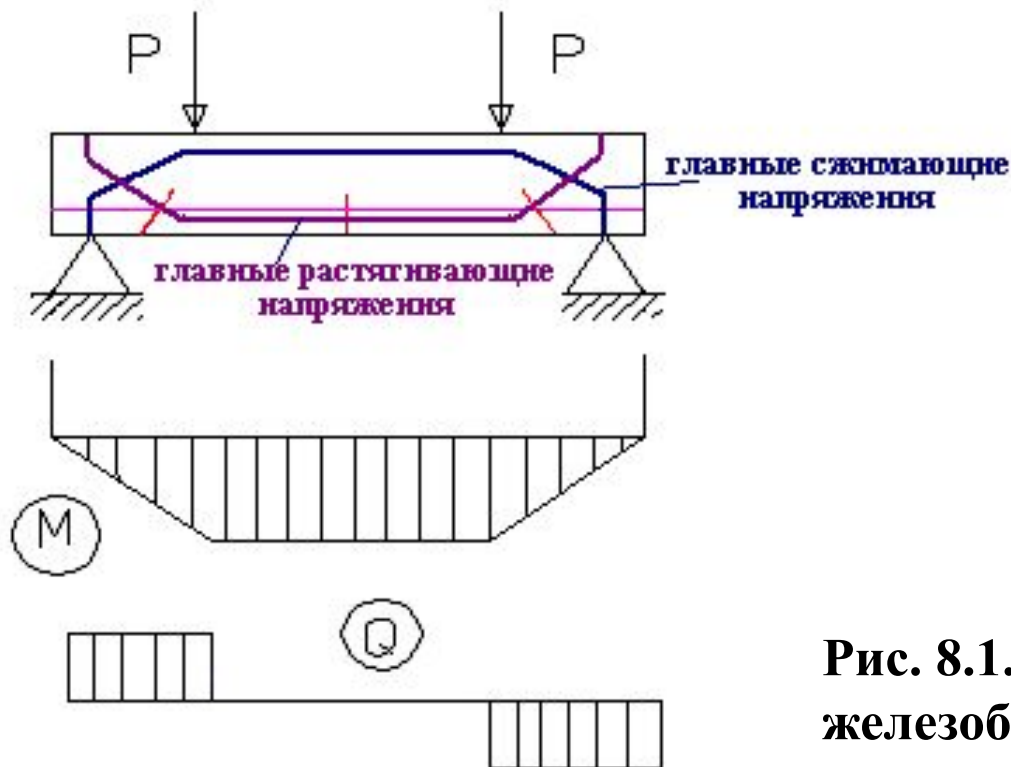
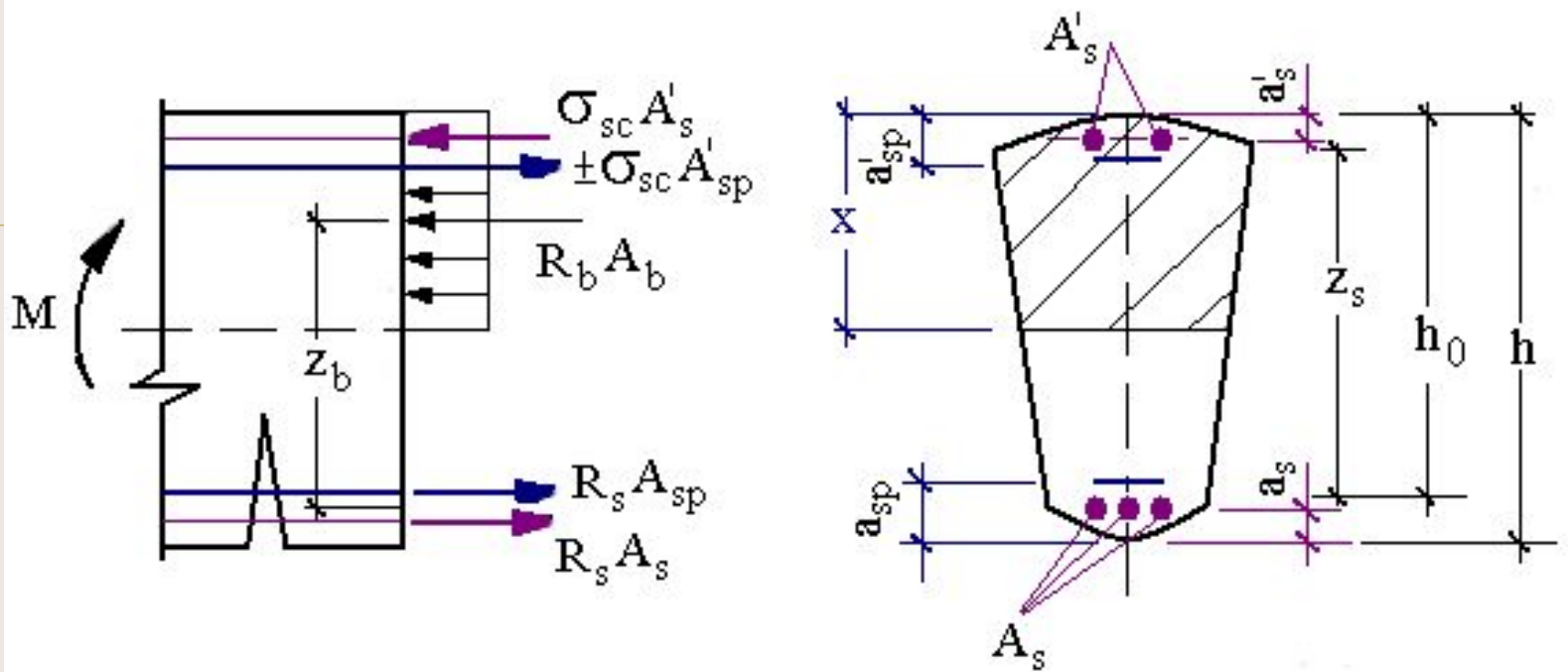


Рис. 8.1. Схема изгибаемого железобетонного элемента

В сечениях, нормальных к продольной оси элементов – изгибаемых, внецентренно сжатых, внецентренно растянутых – при двузначной эпюре напряжений в стадии III характерно одно и то же НДС. В расчетах прочности элементов усилия, воспринимаемые сечением, нормальным к продольной оси элемента, определяют по расчетным сопротивлениям материалов с учетом коэффициентов условий работы.

$$\sigma_{sc} \leq \begin{cases} R_s \\ E_s \cdot \varepsilon_{bu} \end{cases} = \begin{cases} \varepsilon_{bu}^{sh} = 400 \text{ МПа} \\ \varepsilon_{bu}^{p\boxtimes} = 500 \text{ МПа} \end{cases}$$



**Рис. 8.2. К расчету прочности сечений
любой симметричной формы**

$$\sum x = 0 \quad R_s \cdot A_{sp} + R_s \cdot A_s - \sigma_{sc} \cdot A'_{sc} \pm \sigma_{sc} \cdot A'_{sp} - R_b \cdot A_b = 0$$

$$\sum m = 0 \quad R_b \cdot S_b \mp \sigma_{sc} \cdot S'_{sp} + \sigma_{sc} \cdot S'_{sc} - M = 0$$

2. Общий случай расчета нормальных сечений

Основные предпосылки:

1. растянутый бетон в деформировании сечения не учитывается;
2. эпюра напряжений бетона в сжатой зоне принимается прямоугольной;
3. сжатая зона ограничена линией, параллельной нейтральной оси (нейтральному слою), но не совпадающей с ней;
4. рабочая высота сечения принимается для каждого арматурного слоя индивидуально;
5. распределение напряжения в арматуре осуществляется с использованием гипотезы плоских сечений;
6. соотношение между условной линией, ограничивающей сжатую зону, и фактическим нейтральным слоем учитывается коэффициентом полноты эпюры напряжений.

$\omega = \frac{x}{x_{\phi}}$ определяется по формуле 26 СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции».

$$\omega = \alpha - 0,08 \cdot R_b \quad (8.3)$$

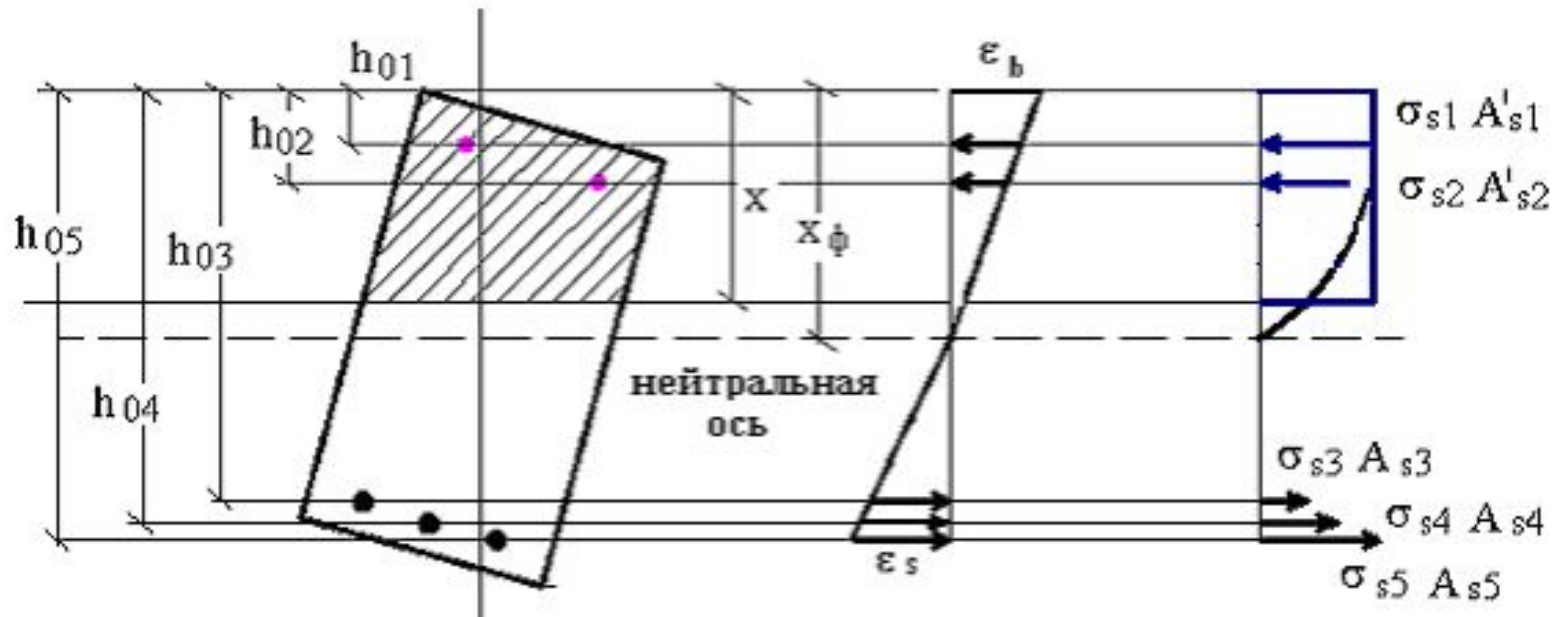


Рис. 8.3. К определению ω – коэффициента полноты эпюры напряжений

Высоту сжатой зоны для сечений, деформирующихся по случаю 1, когда в растянутой арматуре и сжатом бетоне достигнуты предельные сопротивления, определяют из уравнения равновесия:

$$R_b \cdot A_b - \sum_{i=1}^n \sigma_{si} \cdot A_{si} = 0; (\pm N) \quad (8.4)$$

$$N = \begin{cases} > 0 - \text{растяжение} \\ = 0 - \text{изгиб} \\ < 0 - \text{сжатие} \end{cases}$$

При изгибе уравнение моментов запишется как

$$M \pm \sum_{i=1}^n \sigma_{si} \cdot A_{si} \cdot z_{si} - \sum_{j=1}^k \sigma'_{sj} \cdot A'_{sj} \cdot z_{sj} - R_b \cdot A_b \cdot z_b = 0; \quad (8.5)$$

Распределение напряжений по высоте сечений происходит линейно:

$$\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_b} = \frac{h_0 - x_\phi}{x_\phi} = \frac{1}{\xi_\phi} - 1;$$
$$x = h_0 \cdot \xi;$$
$$\frac{x}{x_\phi} = \frac{h_0 \cdot \xi}{h_0 \cdot \xi_\phi} = \omega;$$
$$\varepsilon_s = \varepsilon_b \cdot \left(\frac{1}{\xi_\phi} - 1 \right) = \varepsilon_b \cdot \left(\frac{\omega}{\xi} - 1 \right)$$

(8.6)

предельная деформация в бетоне сжатой зоны

$$\varepsilon_{bu} = \frac{-\varepsilon_{scu}}{\frac{\omega}{\xi} - 1} = \frac{\varepsilon_{scu}}{1 - \frac{\omega}{\xi}} \quad (8.7)$$

где ε_{scu} – предельная деформация в арматуре сжатой зоны.

При центральном сжатии принимают, что $x = h$, тогда относительная высота сжатой зоны равна

$$\xi = \frac{h}{h_0} \approx 1,1$$

Тогда

$$\varepsilon_{bu} = \frac{\varepsilon_{scu}}{1 - \frac{\omega}{1,1}} \quad \varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{scu}}{1 - \frac{\omega}{1,1}} \cdot \left(\frac{\omega}{\xi} - 1 \right) \quad (8.8)$$

напряжение в i -ом стержне продольной арматуры:

$$\sigma_{si} = \frac{\sigma_{scu}}{1 - \frac{\omega}{1,1}} \cdot \left(\frac{\omega}{\xi_i} - 1 \right) \leq \beta \cdot R_s \quad (8.9)$$

где σ_{scu} — предельное напряжение в арматуре сжатой зоны;

$\beta = \frac{R_s^{e\boxtimes}}{R_s}$ — коэффициент отношения сопротивления арматуры в упругой зоне к общему сопротивлению арматуры.

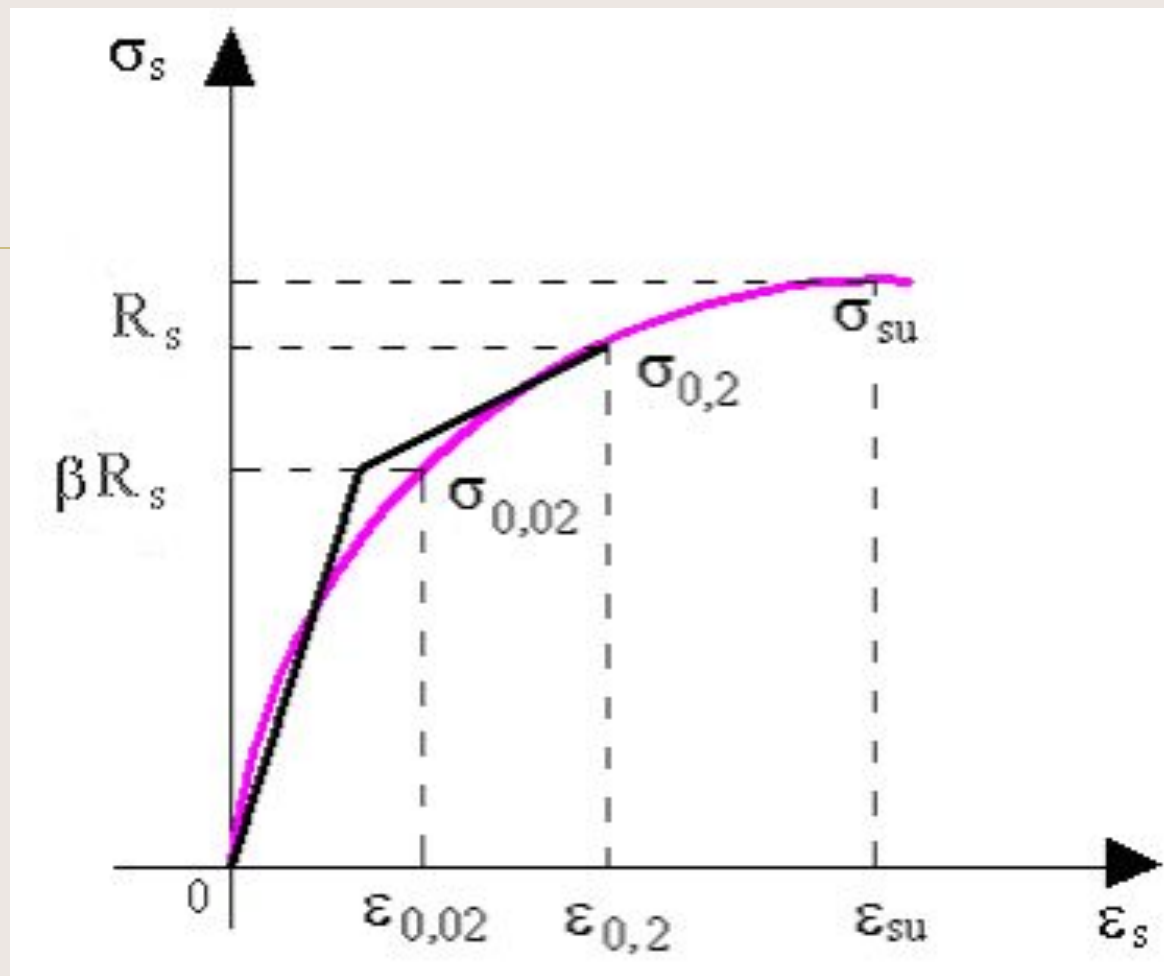


Рис. 8.4. К определению βR_s

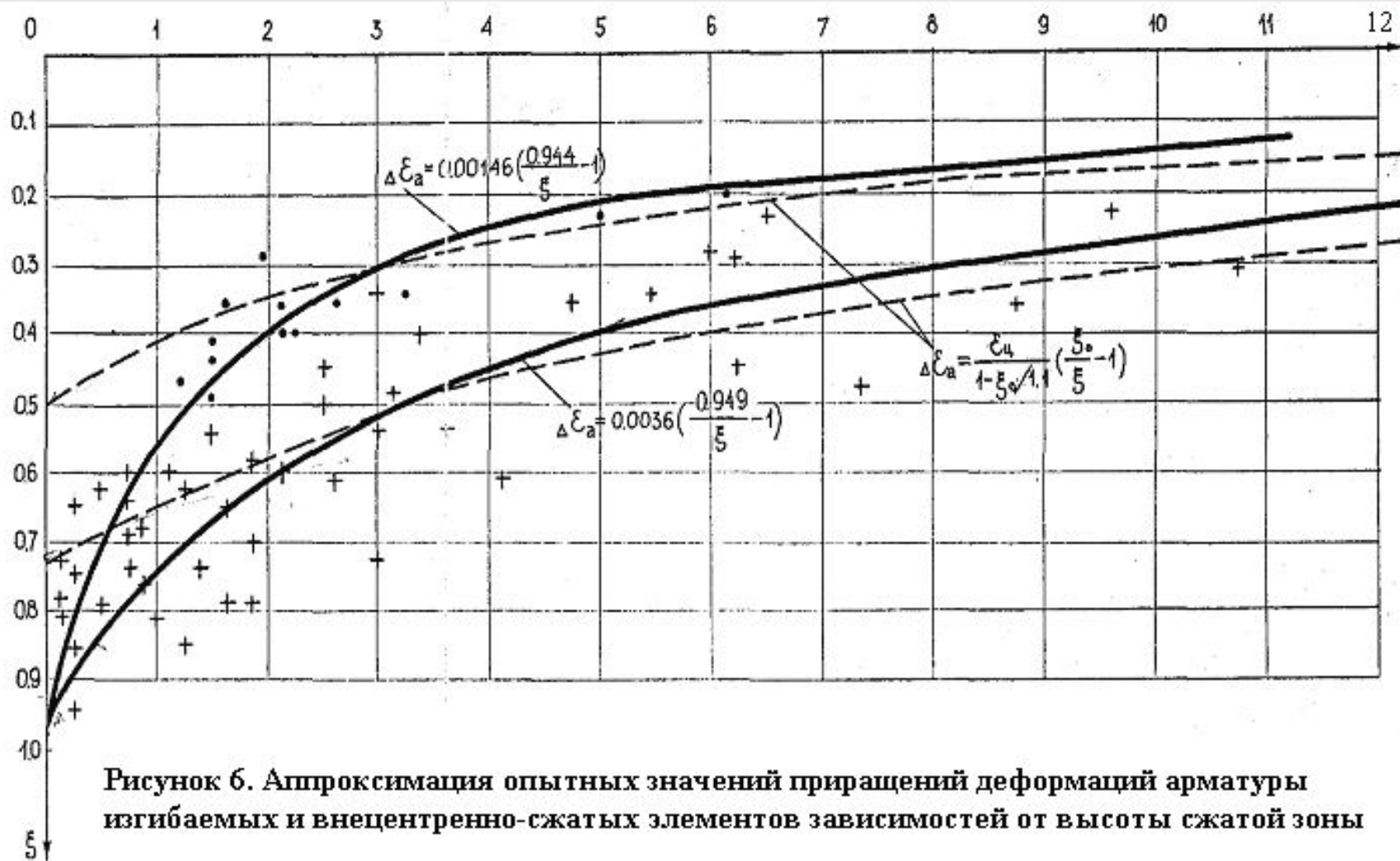


Рисунок 6. Аппроксимация опытных значений приращений деформаций арматуры изгибаемых и внецентренно-сжатых элементов зависимостей от высоты сжатой зоны

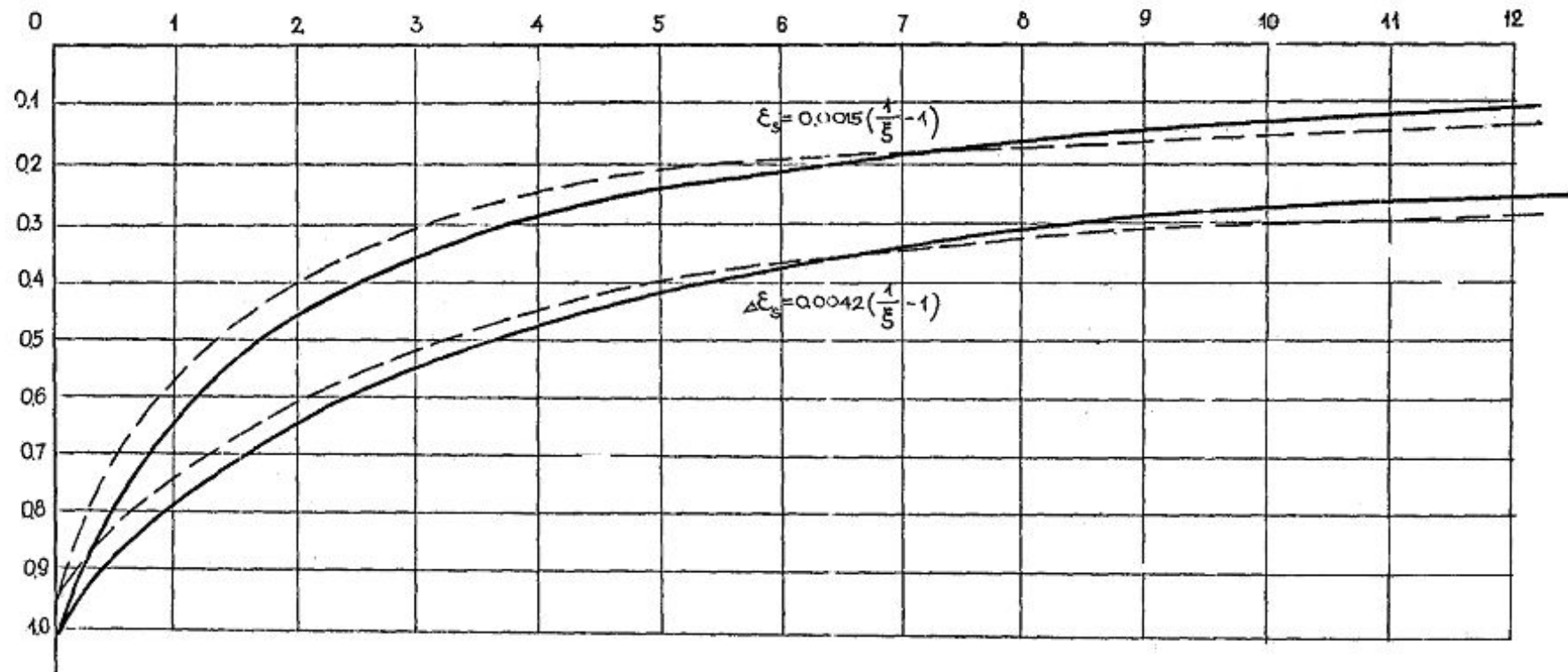


Рисунок 7. Зависимость приращений деформаций арматуры $\Delta \epsilon_a$ от высоты сжатой зоны ξ

- - - - - полученное аппроксимацией опытных данных
- — — — — полученные теоретически

При механическом, а также автоматизированных электротермическом, электромеханическом способах предварительного напряжения арматуры классов А-IV (А600), А-V (А800), А-VI (А1000):

$$\beta = 0,5 \frac{\sigma_{spi}}{R_{si}} + 0,4 \geq 0,8 \quad (8.10)$$

где σ_{spi} — предварительное напряжение в i -ом стержне продольной арматуры, принимаемое при коэффициенте γ_{sp} который назначается в зависимости от расположения стержня.

Для арматуры классов В-II (В500), Вр-II (В1500), К-7 (К 1400, К1500), К-19 (К1500)

$$\text{при } \Delta\sigma_{spi} = 0 \quad \beta = 0,8 \quad (8.11)$$

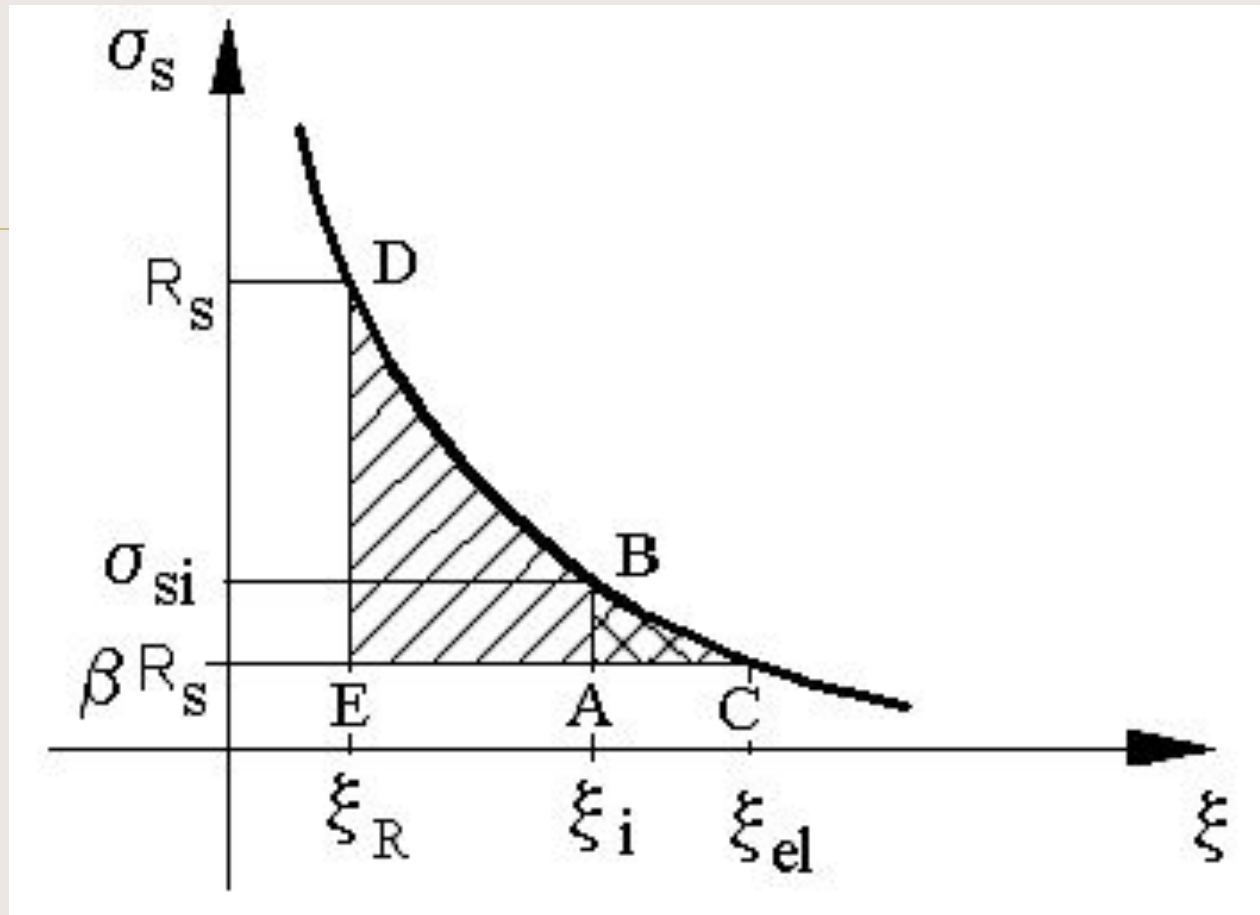


Рис. 8.5. Эмпирическая зависимость между предельными напряжениями в арматуре и высотой сжатой зоны в стадии III

Из подобия треугольников $\triangle ABC \sim \triangle EDC$:

$$\frac{\sigma_{si} - \beta \cdot R_s}{R_s - \beta \cdot R_s} = \frac{\xi_{e\boxtimes} - \xi_i}{\xi_{e\boxtimes} - \xi_R} \quad (8.12)$$

$$\sigma_{si} - \beta \cdot R_s = R_s \cdot (1 - \beta) \cdot \frac{\xi_{e\boxtimes} - \xi_i}{\xi_{e\boxtimes} - \xi_R} \quad (8.13)$$

$$\beta \cdot R_s < \sigma_{si} = \left[\beta + (1 - \beta) \cdot \frac{\xi_{e\boxtimes} - \xi_i}{\xi_{e\boxtimes} - \xi_R} \right] \cdot R_s \leq \gamma_{s6} \cdot R_s \quad (8.14)$$

Определение граничной высоты сжатой зоны

Принимаем предположение, что $\xi_i = \xi_R$.

Тогда $\varepsilon_s = \varepsilon_{su}$ и уравнение (8.9) преобразуется:

$$\frac{\omega}{\xi_R} - 1 = \frac{\sigma_{sRu}}{\sigma_{scu}} \quad (8.15)$$
$$1 - \frac{\omega}{1.1}$$

$$\frac{\omega}{\xi_R} = 1 + \frac{\sigma_{sRu} \cdot \left(1 - \frac{\omega}{1.1}\right)}{\sigma_{scu}} \cdot \frac{1}{\frac{\omega}{\xi_R}} \quad \text{ИЛИ} \quad \frac{\xi_R}{\omega} = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_{sRu} \cdot \left(1 - \frac{\omega}{1.1}\right)}{\sigma_{scu}}}$$

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{sRu}}{\sigma_{scu}} \cdot \left(1 - \frac{\omega}{1.1}\right)} \quad (8.16)$$

$$\xi_i = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{e\boxtimes}}{\sigma_{scu}} \cdot \left(1 - \frac{\omega}{1.1}\right)} \quad (8.17)$$

σ_{sRu} условное напряжение, которое при выполнении закона Гука соответствует граничной высоте сжатой зоны.

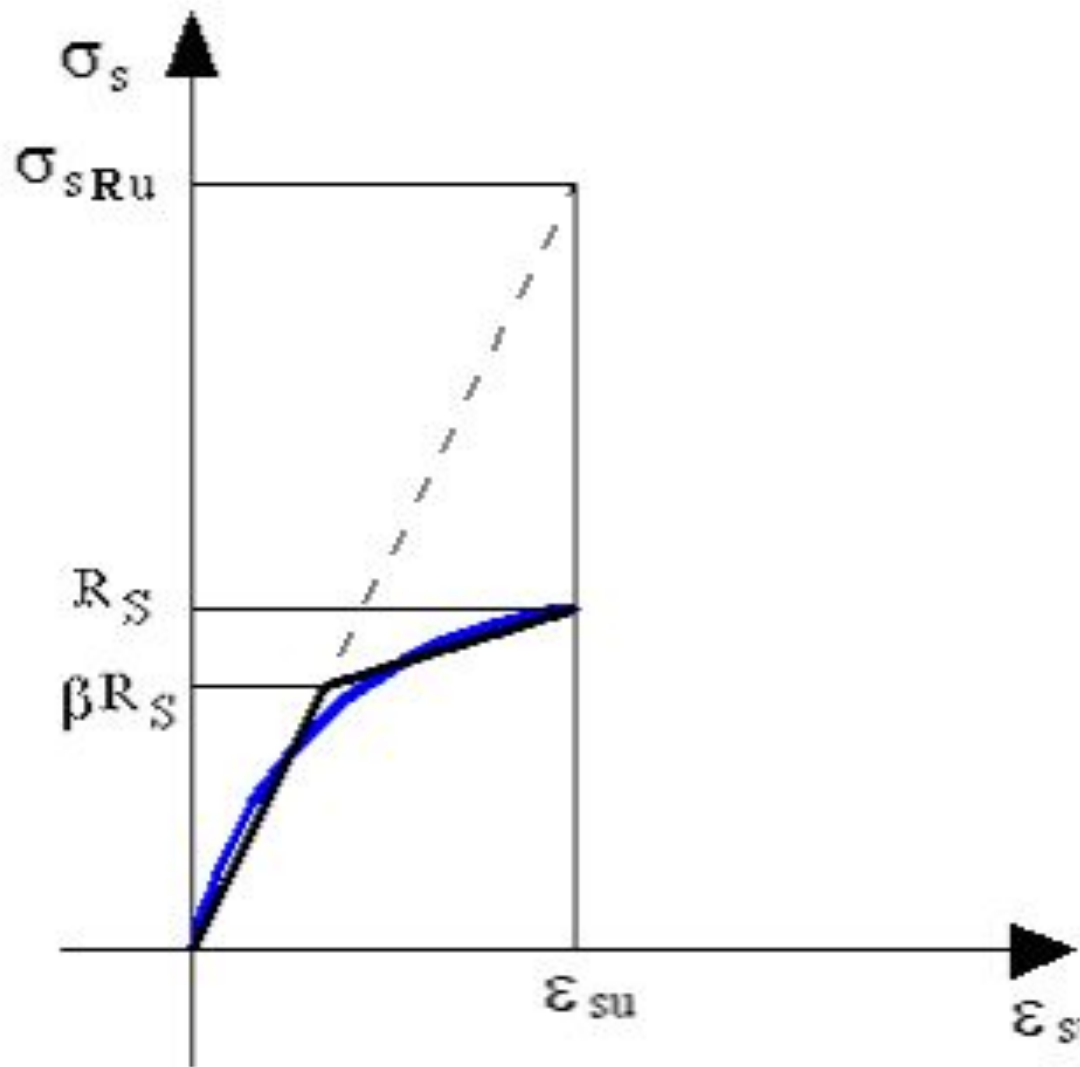


Рис. 8.6. К определению σ_{sRu}

σ_{sRu} – напряжение в арматуре, МПа, принимаемое для арматуры классов:

A-I (A240), A-II (A300), A-III (A400), Bp-I (Bp500)

$$\sigma_{sRu} = R_s - \sigma_{sp}$$

B-II (B1500), Bp-II (Bp1500), K-7 (K1400, K1500), K-19 (K1500)

$$\sigma_{sRu} = R_s + 400 - \sigma_{sp}$$

По п. 3.2.2.6 СП 52-101-03 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения» значения $\xi_{\zeta R}$ определяются по формуле:

$$\xi_{\zeta R} = \frac{x_R}{h_o} = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b,ult}}} \quad (8.18)$$

где $\varepsilon_{s,el}$ – относительная деформация растянутой арматуры при напряжениях, равных R_s

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s} \quad (8.19)$$

$\varepsilon_{b,ult} = 0,0035$ – относительная деформация сжатого бетона при напряжениях, равных R_b .