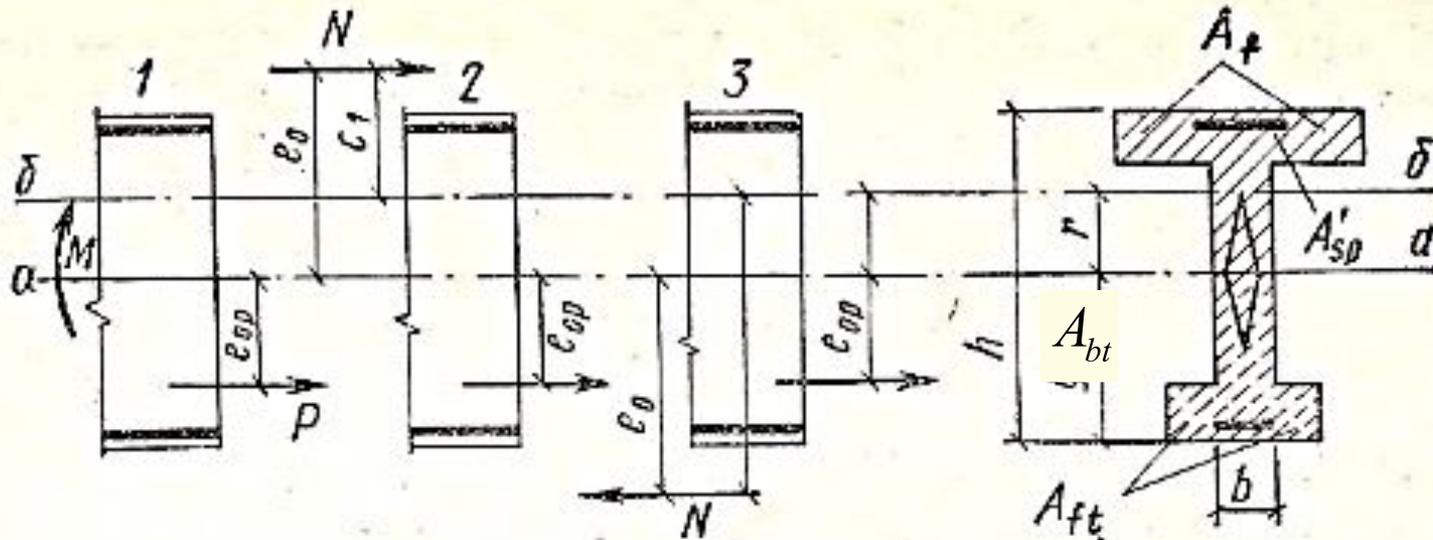


Момент образования трещин в изгибаемых элементах по способу ядровых моментов



К расчету трещиностойкости изгибаемых 1, внецентренно сжатых 2 и внецентренно растянутых элементов 3 по способу ядровых моментов

a — линия центра тяжести приведенного сечения; *b* — линия границы условного ядра сечения

Расчет изгибаемых, внецентренно сжатых, а также внецентренно растянутых элементов по образованию трещин производится из условия:

$$M_r \leq M_{crc}$$

Где M_r – момент внешних сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого сечения, относительно оси, параллельной нулевой линии и проходящей через ядровую точку, наиболее удаленную от растянутой зоны, трещинообразование которой проверяется

$$M_r = \begin{cases} M - \text{изгиб}; \\ N \cdot (e_0 - r) - \text{вц.сжатие} \\ N \cdot (e_0 + r) - \text{вц.растяжение} \end{cases}$$

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl} + M_{rp}$$

$$M_{rp} = P(e_{op} + r)$$

M_{crc} — момент, воспринимаемый сечением, нормальным к продольной оси элемента, при образовании трещин и определяемый по формуле:

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

где M_{rp} — момент усилия P относительно той же оси, что и для определения M_r ; знак момента определяется направлением вращения., т.е.

$$M_{rp} = P(e_{op} + r)$$

W_{pl} — упругопластический момент сопротивления железобетонного сечения по растянутой зоне в предположении, что продольная сила отсутствует;

e_{op} — эксцентриситет усилия обжатия относительно центра тяжести приведенного сечения;

r - расстояние от ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны, до центра тяжести приведенного сечения.

1. Ширина раскрытия трещин, нормальных к оси элементов

Расчет по раскрытию трещин.

Ширина раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, представляет собой разность удлинений арматуры и растянутого бетона на участке между трещинами длиной Δ_{crc} , т.е.

$$a_{crc} = \bar{\varepsilon}_s \cdot \Delta_{crc} - \bar{\varepsilon}_{bt} \cdot \Delta_{crc}$$

Средней деформацией растянутого бетона $\bar{\varepsilon}_{bt}$ как величиной малой в сравнении со средней деформацией растянутой арматуры $\bar{\varepsilon}_s$ обычно пренебрегают и принимают

$$a_{crc} = \bar{\varepsilon}_s \cdot \Delta_{crc}$$

или

$$a_{crc} = \psi_s \cdot \varepsilon_s \cdot \Delta_{crc} = \psi_s \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \Delta_{crc}$$

Ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента a_{crc} , мм определяют по формуле 144 СНиП 2.03.01-84*.

$$a_{crc} = \delta \varphi_l \eta \frac{\sigma_s}{E_s} 20(3,5 - 100 \mu) \sqrt[3]{d},$$

где δ - коэффициент, учитывающий напряженное состояние элемента;

φ_l — коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки;

η — коэффициент, зависящий от вида и профиля продольной растянутой арматуры;

σ_s — напряжение в продольной арматуре или приращение напряжений после погашения обжатия в растянутой арматуре;

μ — коэффициент армирования сечения;

d — диаметр арматуры, мм.

По СП 52-101-2003 по п.7.2.12 ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента a_{crc} , мм определяют:

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

σ_s – напряжение в продольной растянутой арматуре в нормальном сечении с трещиной от соответствующей внешней нагрузки, определяемое согласно п.7.2.13;

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

ψ_s – коэффициент, учитывающий равномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами, определяемый по п.7.2.15;

φ_1 – коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки, принимаемый

1,0 – при непродолжительном действии нагрузки;

1,4 – при продолжительном действии нагрузки;

φ_2 – коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры, принимаемый равным

0,5 – для арматуры периодического профиля;

0,8 – для гладкой арматуры;

φ_3 – коэффициент, учитывающий характер нагружения, принимаемый равным

1,0 – для элементов изгибаемых и внецентренно сжатых;

1,2 – для растянутых элементов

Шаг трещин определяется из условия разности усилий в арматуре в трещине и между трещинами силами сцепления:

$$N_s - \bar{N}_s = \tau \cdot a \cdot \varpi_{crc} \cdot \omega$$

где a – периметр арматурных стержней.

$$N_s = \sigma_s \cdot A_s;$$

$$\bar{N}_s = \bar{\sigma}_s \cdot A_s = \psi_s \cdot \sigma_s \cdot A_s$$

По п. 7.2.14 СП 52-101-2003 значение базового расстояния между трещинами определяют

$$\varpi_s = 0,5 \cdot \frac{A_{bt}}{A_s} \cdot d_s$$

Здесь A_{bt} – площадь сечения растянутого бетона.

$$\varpi_s \geq \begin{cases} 10 \cdot d_s \\ 10 \text{ см} \end{cases}, \quad \text{но} \quad \varpi_s \leq \begin{cases} 40 \cdot d_s \\ 40 \text{ см} \end{cases}$$

Существует 3 категории трещиностойкости:

1. трещины не допустимы;
2. трещины допустимы непродолжительные (a_{crc2}) с

последующим закрытием.

При сумме постоянной и длительно действующих нагрузок $g+g_{длит}$ – трещин быть не должно, при добавлении к этой сумме кратковременной нагрузки $g_{крат}$ – трещины открываются. Как только нагрузку $g_{крат}$ убирают, трещины закрываются (склеиваются).

3. трещины допускаются непродолжительные (a_{crc2}) и продолжительные (a_{crc1}).

При сумме постоянной и длительно действующих нагрузок $g+g_{длит}$ – трещин допускаются ограниченной ширины a_{crc1} , при добавлении к этой сумме кратковременной нагрузки $g_{крат}$ – образуются трещины a_{crc2}

Расчет по закрытию трещин.

Закрытие трещин, нормальных и наклонных к продольной оси элемента, должно быть обеспечено в предварительно напряженных конструкциях, отвечающих требованиям 2-ой категории трещиностойкости. Это обусловлено тем, что для коррозии арматуры наиболее опасно продолжительное раскрытие трещин.

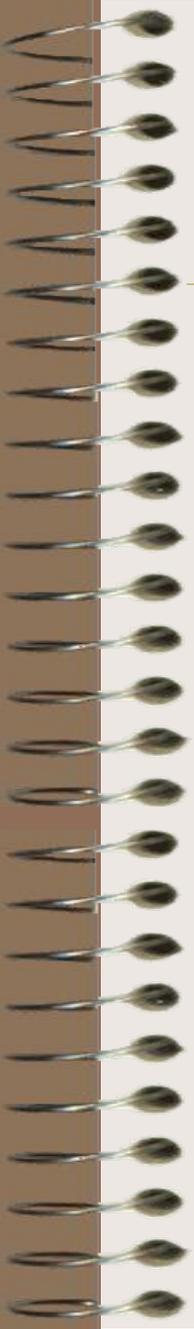
Для надежного закрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, должно соблюдаться 2 условия:

$$1. \sigma_{sp} + \Delta\sigma_s \leq 0,8 \cdot R_{s,ser} \quad ,$$

где σ_{sp} – предварительное напряжение в арматуре с учетом всех потерь; $\Delta\sigma_s$ – приращение растягивающего напряжения в арматуре от действия внешних нагрузок.

2. сечение с трещиной в растянутой зоне при постоянной и длительной нагрузках должно оставаться обжатым с нормальными напряжениями на растягиваемой внешними нагрузками грани $\sigma_b \geq 0,5 \text{ МПа}$.

Если нет преднапряжения, то расчет ведут по 3 категории трещиностойкости.



РАСЧЕТ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ (ПРОГИБАМ)

1. Определение кривизны железобетонного элемента

Расчет перемещений железобетонных элементов – прогибов и углов поворота – связан с определением кривизны оси при изгибе или с определением жесткости элементов. По длине железобетонного элемента в зависимости от вида нагрузки и характера напряженного состояния могут быть участки без трещин (или участки, где трещины закрыты) и участки, где в растянутой зоне есть трещины. Элементы, или участки элементов не имеют трещин в растянутой зоне, если при действии постоянных, длительных и краевременных нагрузок с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1$ трещины не образуются.

2. Определение прогибов

Прогиб f_m , обусловленный деформацией изгиба, определяется по формуле (171) СНиП 2.03.01 –84*:

$$f_m = \int_0^{\boxtimes} \overline{M}_x \left(\frac{1}{r} \right)_x dx$$

где \overline{M}_x – изгибающий момент в сечении x от действия единичной силы, приложенной по направлению искомого перемещения элемента в сечении x по длине пролета, для которого определяется прогиб;

$\left(\frac{1}{r} \right)_x$ – полная кривизна элемента в сечении x от нагрузки, при которой определяется прогиб; знак $\frac{1}{r}$ принимается в соответствии с эпюрой кривизны.

Для изгибаемых элементов при $\lambda_1 < 10$ необходимо учитывать влияние поперечных сил на их прогиб. В этом случае полный прогиб f_{tot} равен сумме прогибов, обусловленных соответственно деформацией изгиба f_m и деформацией сдвига f_q .

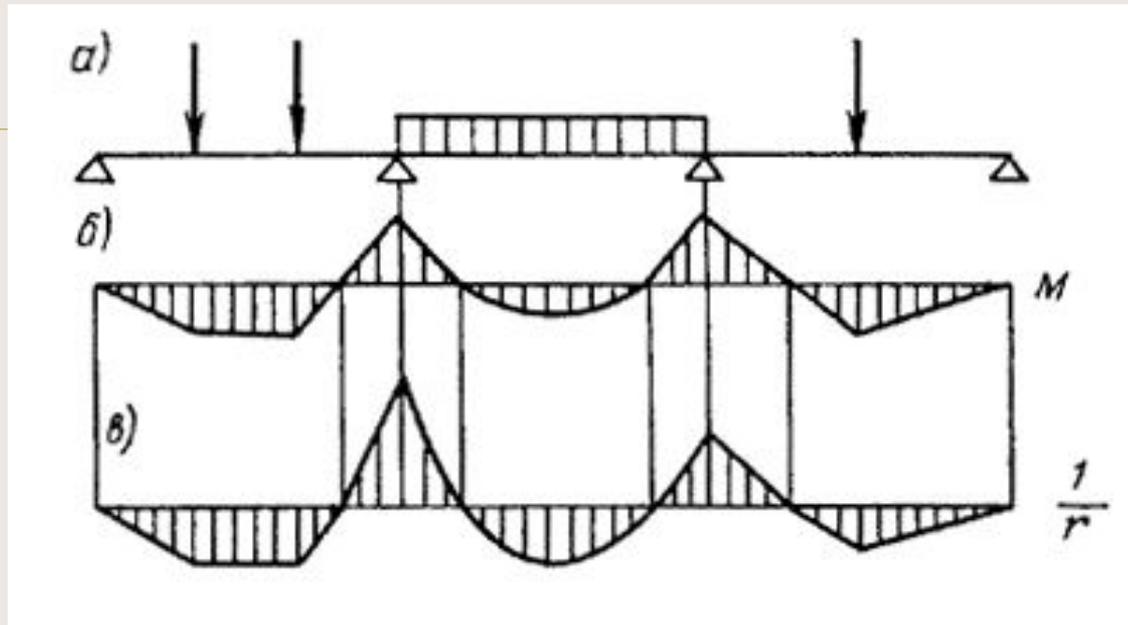


Рис.17.3. Эпюры изгибающих моментов и кривизны для железобетонных элементов постоянного сечения

- 1 – схема расположения нагрузки;*
- 2 – эпюра изгибающих моментов;*
- 3 – эпюра кривизны*

Определение кривизны железобетонных элементов на участках без трещин в растянутой зоне.

На участках, где не образуются нормальные к продольной оси трещины, полная величина кривизны изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов определяется по формуле (155) СНиП 2.03.01-84*

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 - \left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4$$

где $\left(\frac{1}{r}\right)_1$ — кривизна от действия кратковременных нагрузок, определяемых согласно указаниям п. 1.12* СНиП 2.03.01-84*.

$\left(\frac{1}{r}\right)_2$ — кривизна от действия постоянных и длительных временных нагрузок (без учета усилия Р).

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{1}{r}\right)_1 &= \frac{M}{\varphi_{b1} \cdot E_b \cdot I_{red}}; \\ \left(\frac{1}{r}\right)_2 &= \frac{M \cdot \varphi_{b2}}{\varphi_{b1} \cdot E_b \cdot I_{red}} \end{aligned} \right\}$$

где M — момент от соответствующей внешней нагрузки (кратковременной, длительной) относительно оси, нормальной к плоскости действия изгибающего момента и проходящей через центр тяжести приведенного сечения;

φ_{b1} — коэффициент, учитывающий влияние кратковременной ползучести бетона.

φ_{b2} — коэффициент, учитывающий влияние длительной ползучести бетона на деформации элемента без трещин.

$\left(\frac{1}{r}\right)_3$ — кривизна, обусловленная выгибом элемента от кратковременного действия усилия предварительного обжатия P

$$\left(\frac{1}{r}\right)_3 = \frac{P \cdot e_{op}}{\varphi_{b1} \cdot E_b \cdot I_{red}}$$

$\left(\frac{1}{r}\right)_4$ — кривизна, обусловленная выгибом элемента вследствие усадки и ползучести бетона от усилия предварительного обжатия

$$\left(\frac{1}{r}\right)_4 = \frac{\varepsilon_b - \varepsilon'_b}{h_0}$$

здесь $\varepsilon_b, \varepsilon'_b$ — относительные деформации бетона, вызванные его усадкой и ползучестью от усилия предварительного обжатия и определяемые соответственно на уровне центра тяжести растянутой продольной арматуры и крайнего сжатого волокна бетона

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_s}; \quad \varepsilon'_b = \frac{\sigma'_b}{E_s}$$

σ_b — принимается численно равным сумме потерь предварительного напряжения от быстроснатекающей ползучести, усадки бетона, т.е.

$$\sigma_b = \sigma_6 + \sigma_8$$

σ'_b — принимается для напрягаемой арматуры на уровне крайнего сжатого волокна бетона.

$$\left(\frac{1}{r}\right)_3 + \left(\frac{1}{r}\right)_4 \geq \frac{P \cdot e_{op} \cdot \varphi_{b2}}{\varphi_{b1} \cdot E_b \cdot I_{red}}$$

Для элементов без предварительного напряжения значения кривизны

$\left(\frac{1}{r}\right)_3$ и $\left(\frac{1}{r}\right)_4$ принимают равными нулю.

Определение кривизны железобетонных элементов на участках с трещинами в растянутой зоне.

На участках, где образуются нормальные к продольной оси элемента трещины в стадии II, общее деформированное состояние определяют средними деформациями растянутой арматуры $\bar{\varepsilon}_s$, средними деформациями бетона сжатой зоны $\bar{\varepsilon}_b$ и средним положением нейтральной оси с радиусом кривизны r . Из подобия треугольников на рисунке 17.2 получаем:

$$\frac{(\bar{\varepsilon}_s + \bar{\varepsilon}_b) \cdot \boxtimes_{crc}}{h_0} = \frac{\boxtimes_{crc}}{r};$$
$$\frac{1}{r} = \frac{\bar{\varepsilon}_s + \bar{\varepsilon}_b}{h_0} = \frac{\frac{\bar{\sigma}_s}{E_s} + \frac{\bar{\sigma}_b}{\nu_b \cdot E_b}}{h_0}$$

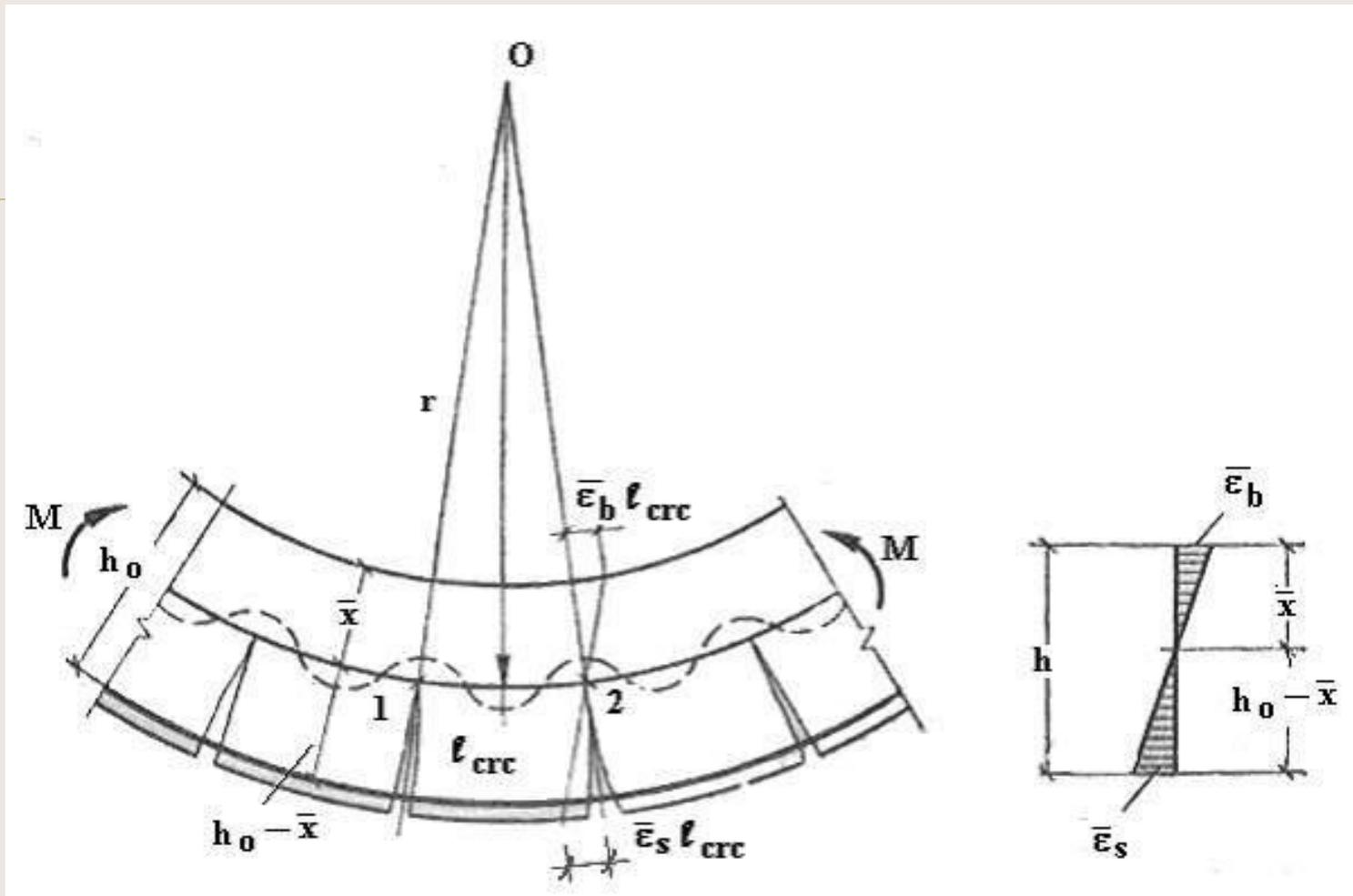


Рис. 17.2. К определению кривизны на участке с трещинами

$$\psi_s = \frac{\sigma_s}{E_s};$$

следовательно

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{h_0} \cdot \left(\frac{\psi_s \cdot \sigma_s}{E_s} + \frac{\psi_b \cdot \sigma_b}{\nu_b \cdot E_b} \right)$$

$$\psi_b = \frac{\sigma_b}{E_b}$$

учитывая, что $\sigma = \frac{M}{W_{pl}}$, получаем:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{h_0} \cdot \left(\frac{\psi_s \cdot \frac{M}{W_{pl}}}{E_s} + \frac{\psi_b \cdot \frac{M}{W_{pl}}}{\nu_b \cdot E_b} \right) = \frac{M}{h_0} \cdot \left(\frac{\psi_s}{W_{pl} \cdot E_s} + \frac{\psi_b}{W_{pl} \cdot \nu_b \cdot E_b} \right) =$$

$$= \frac{M}{h_0} \cdot \left(\frac{\psi_s}{A_s \cdot E_s \cdot z} + \frac{\psi_b}{b \cdot h_0 \cdot z \cdot \nu_b \cdot E_b} \right);$$

Таким образом,

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{h_0 \cdot z} \cdot \left(\frac{\psi_s}{A_s \cdot E_s} + \frac{\psi_b}{b \cdot h_0 \cdot \nu_b \cdot E_b} \right)$$

Учитывая свесы полок для таврового сечения коэффициентом $(\varphi_f + \xi)$, получаем:

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{h_0 \cdot z} \cdot \left(\frac{\psi_s}{A_s \cdot E_s} + \frac{\psi_b}{(\varphi_f + \xi) \cdot b \cdot h_0 \cdot \nu_b \cdot E_b} \right)$$

В общем случае на участках, где в растянутой зоне образуются нормальные к продольной оси элемента трещины, кривизна изгибаемых, внецентренно сжатых, а также внецентренно растянутых при $e_{0,tot} = 0,8 \cdot h_0$ элементов прямоугольного, таврового и двутаврового (коробчатого) сечений должна определяться по формуле:

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{h_0 \cdot z} \cdot \left(\frac{\psi_s}{A_s \cdot E_s} + \frac{\psi_b}{(\varphi_f + \xi) \cdot b \cdot h_0 \cdot \nu_b \cdot E_b} \right) - \frac{N_{tot}}{h_0} \cdot \frac{\psi_s}{E_s \cdot A_s}$$

N_{tot} – равнодействующая продольной силы N и усилия предварительного обжатия P (при внецентренном растяжении сила N принимается со знаком „минус“).

Для элементов, выполняемых без предварительного напряжения арматуры, усилие P допускается принимать равным нулю.

Значение ξ вычисляется по формуле (161) СНиП 2.03.01 –84*.

Полная кривизна $\left(\frac{1}{r}\right)$ для участка с трещинами в растянутой зоне должна определяться по формуле (170) СНиП 2.03.01 –84*.

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4$$

где $\left(\frac{1}{r}\right)_1$ — кривизна от непродолжительного действия всей нагрузки, на которую производится расчет по деформациям;

$\left(\frac{1}{r}\right)_2$ — кривизна от непродолжительного действия постоянных и длительных нагрузок;

$\left(\frac{1}{r}\right)_3$ — кривизна от продолжительного действия постоянных и длительных нагрузок;

$\left(\frac{1}{r}\right)_4$ — кривизна, обусловленная выгибом элемента вследствие усадки и ползучести бетона от усилия предварительного обжатия.

Если значения $\left(\frac{1}{r}\right)_2$ и $\left(\frac{1}{r}\right)_3$ оказываются отрицательными, то они принимаются равными нулю.