

9. Расчет железобетонных элементов по второй группе предельных состояний

9.1. Расчет на образование трещин, нормальных к продольной оси элементов

9.1.1. Центрально растянутые элементы

9.1.2. Изгибаемые, внецентренно сжатые и внецентренно

9.1.2. Изгибаемые, внецентренно сжатые и внецентренно растянутые элементы

9.1.3. Расчет на раскрытие трещин, нормальных к продольной оси элементов

9.2. Расчет по деформациям

9.2.1. Общие сведения

9.2.2. Кривизна оси при изгибе и жесткость железобетонных

9.2.2. Кривизна оси при изгибе и жесткость железобетонных элементов на участках без трещин

9.2.3. Кривизна оси при изгибе и жесткость железобетонных

9.1. Расчет на образование трещин, нормальных к продольной оси элементов

Расчеты по предельным состояниям второй группы включают:

- расчет по образованию трещин;
- расчет по раскрытию трещин;
- расчет по деформациям.

Его производят, когда необходимо обеспечить отсутствие трещин (конструкции, находящиеся под давлением жидкости или газов, испытывающие воздействие радиации и т.п.), а также как вспомогательный при расчете по раскрытию трещин и по деформациям.

Расчет бетонных и железобетонных конструкций по образованию трещин следует производить из условия, по которому усилия, напряжения или деформации в конструкциях от различных воздействий не должны превышать соответствующих их предельных значений, воспринимаемых конструкцией при образовании трещин.

9.1.1. Центрально растянутые элементы

Расчет заключается в проверке условия, что трещины в сечениях, нормальных к продольной оси элемента, не образуются, если продольная сила от действия внешней нагрузки N не превосходит внутреннего продольного усилия в сечении перед образованием трещин N_{crc} , т. е. $N \leq N_{crc}$. Продольное усилие определяют по напряжениям, возникающим в материалах перед образованием трещин.



Рис. 9.1. К расчету по образованию трещин в центрально-растянутых элементах

9.1.1. Центральные растянутые элементы

Из рассмотрения расчетной схемы можно записать

$$N_{crc} = R_{bt,ser} A_b + \sigma_s A_s. \quad (9.1)$$

Из условия совместности деформаций:

$$\varepsilon_b = \varepsilon_s; \quad (9.2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b}; \quad \sigma_b = R_{bt,ser}; \\ E_b' = \nu \cdot E_b \cong 0,5E_b; \\ \varepsilon_b = \frac{2R_{bt,ser}}{E_b}; \quad \varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}; \end{array} \right. \quad \longrightarrow \quad \sigma_s = \varepsilon_s E_s = \varepsilon_b E_s = \frac{2R_{bt,ser}}{E_b} E_s = 2\alpha R_{bt,ser}. \quad (9.3)$$

С учетом этого формула приводится к виду:

$$N_{crc} = R_{bt,n} A_b + 2\alpha R_{bt,n} A_s = R_{bt,n} (A_b + 2\alpha A_s). \quad (9.4)$$

Для элемента с предварительным напряжением:

$$N_{crc} = R_{bt,ser} (A_b + 2\alpha A_s) + P, \quad (9.5)$$

где P – усилие обжатия, $P = (\sigma_{sp} - \sigma_{loc}) A_s. \quad (9.6)$

9.1.2. Изгибаемые, внецентренно сжатые и внецентренно растянутые элементы

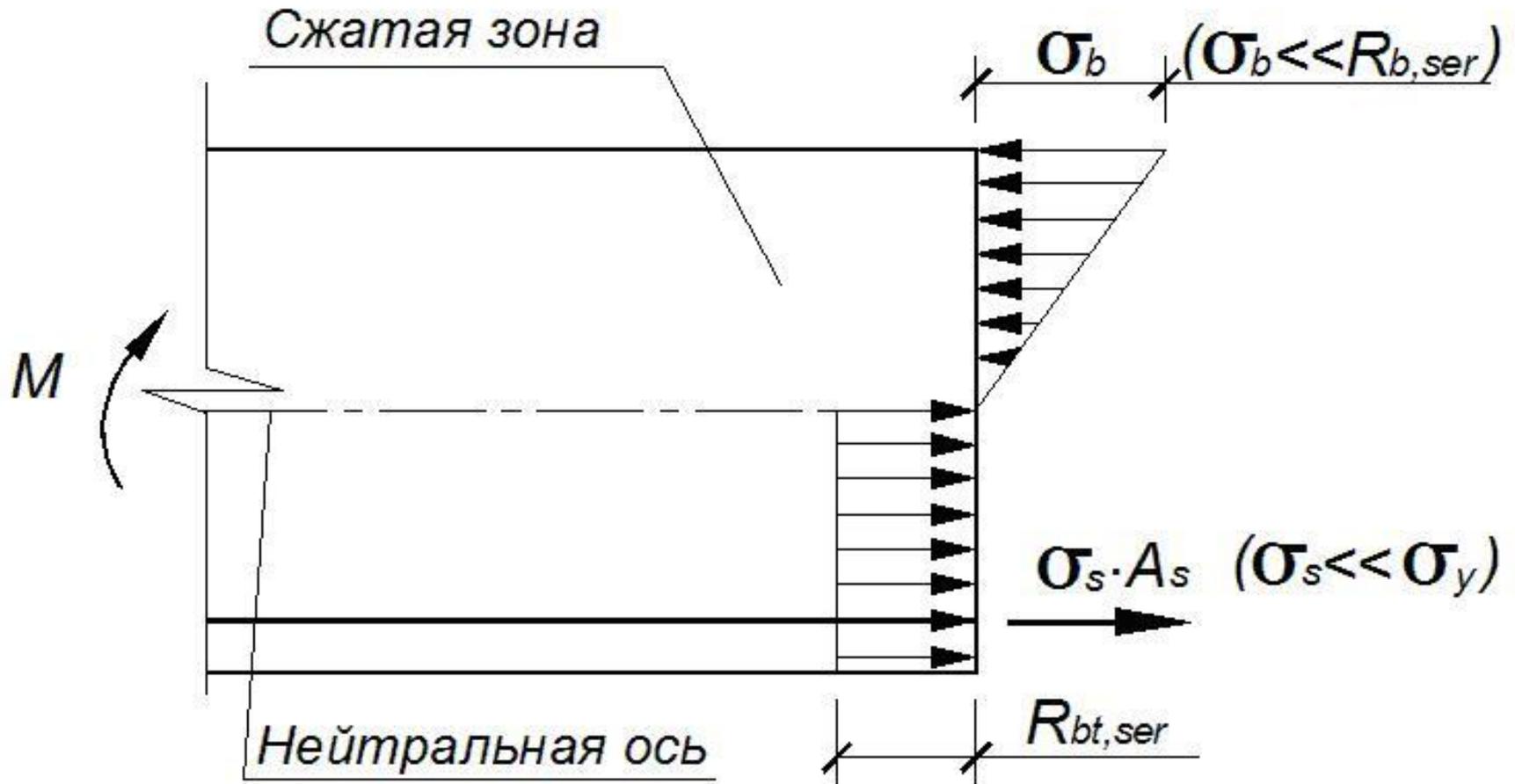


Рис. 9.2. К расчету по образованию трещин в изгибаемых элементах

9.1.2. Изгибаемые, внецентренно сжатые и внецентренно растянутые элементы

Расчет заключается в проверке условия, что трещины в сечениях, нормальных к продольной оси элемента, не образуются, если момент внешних сил M не превосходит момента внутренних усилий в сечении непосредственно перед образованием трещин, т. е. $M \leq M_{crc}$.

1 случай: элементы без предварительного напряжения.

M_{crc} находят, используя известную формулу сопротивления материалов для вычисления нормальных напряжений:

$$M_{crc} = \sigma_b W; \quad (9.7)$$

$$\sigma_b = R_{bt,ser}; \quad (9.8) \quad W = W_{pl}; \quad (9.9) \quad W_{pl} = \gamma \cdot W_{red}, \quad (9.10)$$

здесь W_{pl} – упруго-пластический момент сопротивления;
 γ – коэффициент, зависящий от формы сечения;
 W_{red} – момент сопротивления приведенного сечения.

Окончательная формула имеет вид:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl}. \quad (9.11)$$

9.1.2. Изгибаемые, внецентренно сжатые и внецентренно растянутые элементы

2 случай: элементы с предварительным напряжением.

Задачу определения напряженно – деформированного состояния сечения в стадии I перед образованием трещин от совместного действия внешней нагрузки и усилия обжатия приближенно решают как линейную задачу внецентренного сжатия, применяя принцип независимого действия сил.

При этом момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента перед образованием трещин M_{crc} рекомендуется находить по приближенному способу ядровых моментов:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl} + M_{rp}, \quad (9.12)$$

где $M_{rp} = P(e_{op} + r_b)$ - момент усилия обжатия P относительно оси, проходящей через условную ядровую точку, наиболее удаленную от растянутой зоны;
 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_b - расстояние от ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны, до центра тяжести приведенного сечения.

9.1.2. Изгибаемые, внецентренно сжатые и внецентренно растянутые элементы

Для изгибаемых предварительно напряженных и внецентренно сжатых элементов, а также внецентренно растянутых при $N \leq P$:

$$r_b = \varphi_n \frac{W_{red}}{A_{red}}; \quad (9.13)$$

$$0,7 \leq \varphi_n = 1,6 - \frac{\sigma_b}{R_{b,ser}} \leq 1, \quad (9.14)$$

где W_{red} - упругий момент сопротивления приведенного сечения по растянутой зоне;
 A_{red} - площадь приведенного сечения.

Для практических расчетов обычно принимается:

$$\frac{\sigma_b}{R_{b,ser}} \approx 0,8. \quad (9.15)$$

Тогда коэффициент $\varphi_n = 0,8$.

9.1.3. Расчет на раскрытие трещин, нормальных к продольной оси элементов

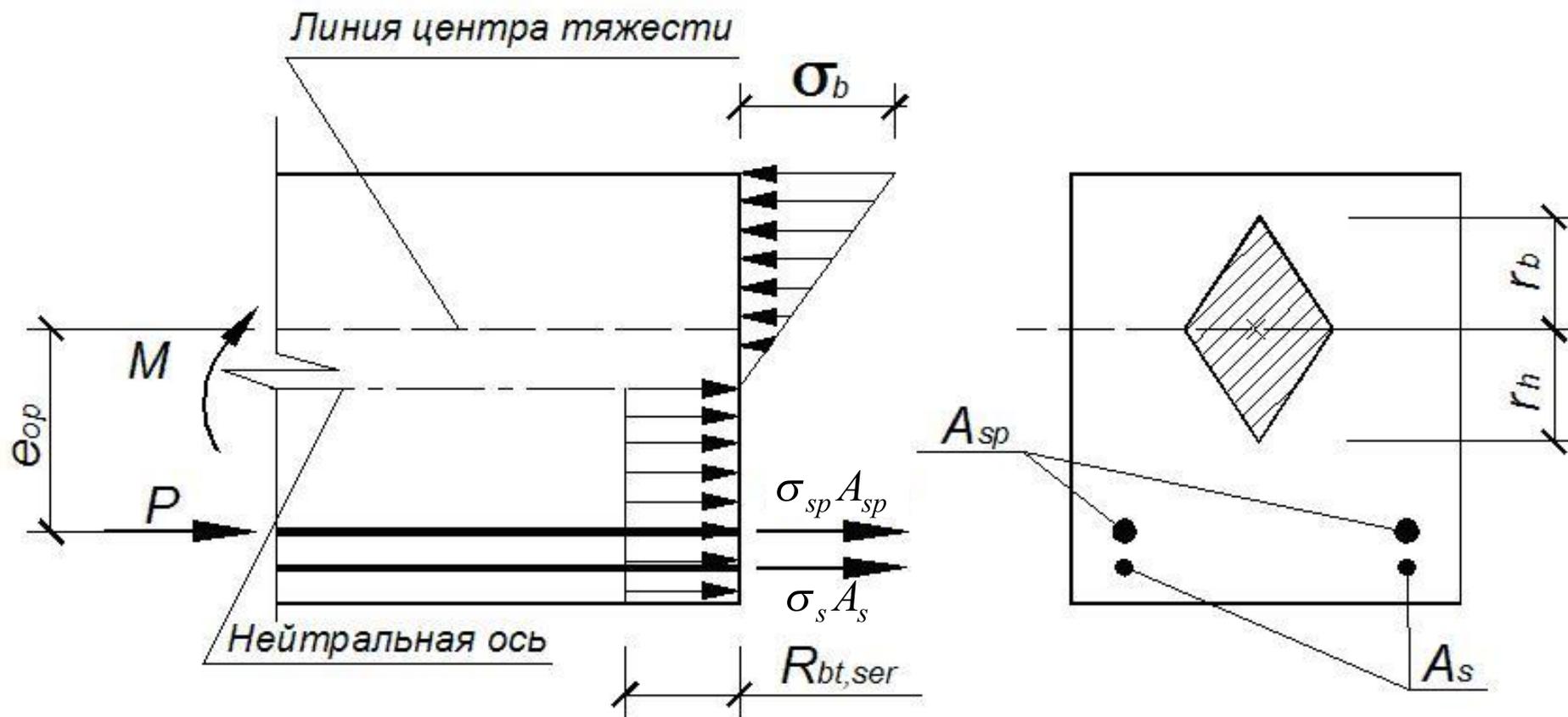


Рис. 9.3. К расчету по раскрытию трещин в элементах

9.1.3. Расчет на раскрытие трещин, нормальных к продольной оси элементов

После образования трещин в растянутых зонах железобетонных элементов при дальнейшем увеличении нагрузки происходит раскрытие трещин – II стадия НДС.

Расчет железобетонных конструкций по раскрытию трещин производят из условия, по которому ширина раскрытия трещин в конструкции от различных воздействий не должна превышать предельно допустимых значений, устанавливаемых в зависимости от требований, предъявляемых к конструкции, условий ее эксплуатации, воздействия окружающей среды и характеристик материалов с учетом особенностей коррозионного поведения арматуры.

Сущность расчета сводится к определению ширины раскрытия трещин a_{crc} , сравнению её с предельно допускаемой шириной $[a_{crc}]$ и определению условий (геометрические размеры, армирование, величина предварительного напряжения и др.), соблюдение которых необходимо для ограничения ширины трещин.

Допустимая ширина раскрытия трещин зависит от категории требований к трещиностойкости элементов и определяется по СНиП.

Ширину раскрытия нормальных трещин определяют как произведение средних относительных деформаций арматуры на участке между трещинами и длины этого участка.

9.1.3. Расчет на раскрытие трещин, нормальных к продольной оси элементов

Средние относительные деформации арматуры между трещинами определяют с учетом работы растянутого бетона между трещинами.

Относительные деформации арматуры в трещине определяют из условно упругого расчета железобетонного элемента с трещинами с использованием приведенного модуля деформации сжатого бетона, установленного с учетом влияния неупругих деформаций бетона сжатой зоны, или по нелинейной деформационной модели.

Расстояние между трещинами определяют из условия, по которому разность усилий в продольной арматуре в сечении с трещиной и между трещинами должна быть воспринята усилиями сцепления арматуры с бетоном на длине этого участка.

Ширину раскрытия нормальных трещин следует определять с учетом характера действия нагрузки (повторяемости, длительности и т.п.) и вида профиля арматуры.

Согласно нормам 1985 г. ширину раскрытия нормальных трещин определяли по эмпирической формуле:

$$a_{cr} = \delta \varphi_e \eta \frac{\sigma_s}{E_s} 20(3,5 - 100\mu) \sqrt[3]{d}, \quad (9.16)$$

9.1.3. Расчет на раскрытие трещин, нормальных к продольной оси элементов

где δ - коэффициент, учитывающий вид силового воздействия: для изгибаемых и внецентренно сжатых элементов $\delta = 1$, для растянутых элементов $\delta = 1,2$;

φ_e - коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

- при учете кратковременных нагрузок и непродолжительного действия постоянных и длительных $\varphi_e = 1$,
- при учете продолжительного действия постоянных и длительных нагрузок, а также при многократно повторяющейся нагрузке $\varphi_e = 1,2 \div 2,5$ (в зависимости от вида бетона);

η - коэффициент, характеризующий напряжения сцепления арматуры с бетоном ($\eta = 1$ - для стержней периодического профиля; $\eta = 1,2$ - для проволоки периодического профиля и канатов; $\eta = 1,3$ - для гладких стержней; $\eta = 1,4$ - для гладкой проволоки);

$\sum (A_{sp} + A_s)$ - площадь всей продольной арматуры в поперечном сечении; для изгибаемых и внецентренно сжатых элементов приращение напряжений в растянутой арматуре определяют из условия $\sum M = 0$ относительно оси, проходящей через точку приложения усилий в сжатой зоне сечения.

9.1.3. Расчет на раскрытие трещин, нормальных к продольной оси элементов

σ_s - напряжение в стержнях крайнего ряда продольной арматуры или приращение напряжений от действия внешней нагрузки (при наличии предварительного напряжения).

Эта формула достаточно проста и удобна для использования. Однако она не учитывает влияние ряда важных факторов на ширину раскрытия трещин, таких как расстояние между трещинами, зависящее от сцепления арматуры с бетоном, напряженно-деформированное состояние элемента и др.

В новой редакции СНиП (СП 63.13330.2012) ширину раскрытия трещин определяют исходя из предпосылок, выдвинутых в теории трещинообразования В.К. Мурашева, а в дальнейшем развитых Я.М. Немировским и др. учеными. Согласно этой теории ширина раскрытия трещин a_{crc} определяется из условия «Удлинение растянутой зоны бетона по оси арматуры плюс раскрытие трещин должно равняться удлинению арматуры на длине участка между трещинами», т.е.

$$\varepsilon_{sm} \cdot l_s = \varepsilon_{bt,m} \cdot l_s + a_{crc}, \quad (9.17)$$

где l_s - расстояние между смежными нормальными трещинами

9.1.3. Расчет на раскрытие трещин, нормальных к продольной оси элементов

Из данного условия получена формула:

$$a_{crc} = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot l_s, \quad (9.18)$$

где φ_1 - коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки, принимаемый равным:

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 и канатной;

0,8 – для гладкой арматуры;

- φ_3 коэффициент, учитывающий характер нагружения, принимается равным:

1,0 – для элементов изгибаемых и внецентренно сжатых;

1,2 – для растянутых элементов.

9.1.3. Расчет на раскрытие трещин, нормальных к продольной оси элементов

Значение σ_s в растянутой арматуре изгибаемых элементов допускается определять по формуле

$$\sigma_s = \frac{M}{z_s A_s}, \quad (9.19)$$

где z_s - расстояние от центра тяжести растянутой арматуры до точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне элемента.

Для элементов прямоугольного, таврового (с полкой в сжатой зоне) и двутаврового поперечного сечения допускается значение z_s принимать равным $0,8h_0$.

При действии изгибающего момента M и продольной силы N

$$\sigma_s = \frac{N(e_s \pm z_s)}{z_s A_s}, \quad (9.20)$$

где e_s - расстояние от центра тяжести растянутой арматуры до точки приложения продольной силы N с учетом эксцентриситета, равного M/N .

Для элементов прямоугольного, таврового (с полкой в сжатой зоне) и двутаврового поперечного сечения допускается значение z_s принимать равным $0,7h_0$.

9.1.3. Расчет на раскрытие трещин, нормальных к продольной оси элементов

Значение σ_s в растянутой арматуре изгибаемых предварительно напряженных элементов допускается определять по формуле

$$\sigma_s = \frac{M - N_p \cdot (z - e_{sp})}{z \cdot A_s}, \quad (9.21)$$

где z - расстояние от центра тяжести арматуры, расположенной в растянутой зоне, до точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне элемента;

e_{sp} - расстояние от центра тяжести той же арматуры до точки приложения усилия N_p .

Для элементов прямоугольного поперечного сечения при отсутствии (или без учета) сжатой арматуры значение z определяют по формуле

$$z = h_0 - \frac{x_N}{3}, \quad (9.22)$$

где x_N - высота сжатой зоны.

Для элементов прямоугольного, таврового (с полкой в сжатой зоне) и двутаврового поперечного сечения допускается значение z принимать равным $0,7h_0$.

9.1.3. Расчет на раскрытие трещин, нормальных к продольной оси элементов

Значение базового расстояния между трещинами l_s определяют по формуле

$$l_s = 0,5 \frac{A_{bt}}{A_s} d_s. \quad (9.23)$$

И принимают не менее $10 d_s$ и 10 см и не более $40 d_s$ и 40 см.

Здесь A_{bt} - площадь сечения растянутого бетона;

- A_s - площадь сечения растянутой арматуры;

- d_s - номинальный диаметр арматуры.

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

Значение коэффициента ψ_s определяют по формуле

$$\psi_s = 1 - 0,8 \frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s}, \quad (9.24)$$

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

σ_s - то же, при действии рассматриваемой нагрузки.

Для изгибаемых элементов значение коэффициента ψ_s допускается определять по формуле

$$\psi_s = 1 - 0,8 \frac{M_{crc}}{M}. \quad (9.25)$$

9.1.3. Расчет на раскрытие трещин, нормальных к продольной оси элементов

Расчет по раскрытию трещин производят из условия

$$a_{crc} \leq a_{crc,ult}, \quad (9.26)$$

где a_{crc} - ширина раскрытия трещин от действия внешней нагрузки;
 $a_{crc,ult}$ - предельно допустимая ширина раскрытия трещин.

Ширину продолжительного раскрытия трещин определяют по формуле:

$$a_{crc} = a_{crc1}, \quad (9.27)$$

а ширину непродолжительного раскрытия трещин - по формуле:

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3}, \quad (9.28)$$

где a_{crc1} - ширина раскрытия трещин от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок;

a_{crc2} - ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных (длительных и кратковременных) нагрузок;

a_{crc3} - ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок.

Если теоретическая величина $a_{crc} > a_{crc,ult}$, то увеличивают усилие предварительного обжатия бетона R , повышают класс бетона или увеличивают размеры поперечного сечения элемента.

9.2.1. Общие сведения

Расчет по деформациям железобетонных конструкций также необходим, как и расчет по прочности или трещиностойкости.

Сущность расчета по деформациям сводится к определению величин деформации, которые могут иметь место в элементах проектируемых конструкций в процессе их длительной эксплуатации и сравнения полученных данных с допустимыми предельными величинами.

Например, расчет железобетонных элементов по прогибам производят из условия

$$f \leq f_{ult}, \quad (9.29)$$

где f - прогиб железобетонного элемента от действия внешней нагрузки;

f_{ult} - значение предельно допустимого прогиба железобетонного элемента.

Для участков изгибаемых, внецентренно растянутых элементов значения прогибов определяют по их кривизнам.

В общем случае для случаев преимущественно изгибных деформаций, прогиб определяют по формуле:

$$f = \int_0^l \overline{M}_x \cdot \left(\frac{1}{r} \right)_x \cdot dx, \quad (9.30)$$

9.2.1. Общие сведения

где \overline{M}_x - изгибающий момент в сечении x от действия единичной силы, приложенной по направлению искомого перемещения элемента по длине пролета l ;
 $(1/r)_x$ - полная кривизна элемента в сечении x от внешней нагрузки, при которой определяют прогиб.

Из курса сопротивления материалов известно, что кривизна элементов при их изгибе определяется как частное от деления изгибающего момента на их жесткость:

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{D}, \quad (9.31)$$

где M - момент внешних сил или момент от усилия обжатия P :

$$M_p = P \cdot e_{op}. \quad (9.32)$$

Жесткость рассматриваемого сечения железобетонного элемента определяют по общим правилам сопротивления материалов:

- для сечения без трещин - как для условно упругого сплошного элемента;
- для сечения с трещинами - как для условно упругого элемента с трещинами (принимая линейную зависимость между напряжениями и деформациями).

9.2.1. Общие сведения

Влияние неупругих деформаций бетона учитывают с помощью приведенного модуля деформаций бетона, а влияние работы растянутого бетона между трещинами с помощью приведенного модуля деформаций арматуры.

Расчет деформаций железобетонных конструкций с учетом трещин производят в тех случаях, когда расчетная проверка на образование трещин показывает, что трещины образуются.

В противном случае производят расчет деформаций как для железобетонного элемента без трещин.

Для участков изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов, в растянутых зонах которых в стадии эксплуатации нормальные трещины не образуются, либо они закрыты, кривизну определяют как для сплошного упругого тела по стадии 1 НДС.

В этих случаях максимальный прогиб определяется по формуле:

$$f = S \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r}, \quad (9.33)$$

где S - коэффициент, зависящий от расчетной схемы элемента и вида нагрузки, определяемый по правилам строительной механики (при действии равномерно распределенной нагрузки его значения принимают равным 5/48);

$1/r$ - полная кривизна в сечении с наибольшим изгибающим моментом.

9.2.2. Кривизна оси при изгибе и жесткость железобетонных элементов на участках без трещин

Для элементов постоянного по длине сечения, работающих без трещин, прогибы определяют по общим правилам строительной механики, но при этом учитывают неупругие деформации и ползучесть бетона.

В расчетах используются величина изгибной жесткости приведенного поперечного сечения, определяемая по формуле:

$$D = E_{b1} \cdot I_{red}, \quad (9.34)$$

где E_{b1} - модуль деформации сжатого бетона, определяемый в зависимости от продолжительности действия нагрузки;

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

Момент инерции I_{red} определяют по формуле:

$$I_{red} = I + I_s \cdot \alpha + I'_s \cdot \alpha, \quad (9.35)$$

где I - момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного поперечного сечения элемента;

I_s, I'_s - моменты инерции площадей сечения соответственно растянутой и сжатой арматуры относительно центра тяжести приведенного поперечного сечения элемента;

9.2.2. Кривизна оси при изгибе и жесткость железобетонных элементов на участках без трещин

α - коэффициент приведения арматуры к бетону,

$$\alpha = \frac{E_s}{E_{b1}}. \quad (9.36)$$

Значение модуля деформации бетона находят следующим образом:

- при непродолжительном действии кратковременной нагрузки:

$$E_{b1} = 0,85 \cdot E_b; \quad (9.37)$$

- при продолжительном действии постоянной и длительной нагрузки:

$$E_{b1} = \frac{E_b}{1 + \varphi_{b,cr}}, \quad (9.38)$$

где $\varphi_{b,cr}$ - коэффициент ползучести, зависящий от класса бетона и относительной влажности воздушной среды, в которой происходит эксплуатация рассчитываемой конструкции.

Полная кривизна предварительно напряженного изгибаемого элемента, работающего без трещин в растянутой зоне, определяется как алгебраическая сумма кривизн:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_{sh,t}} + \frac{1}{r_{lt}} - \frac{1}{r_{cp}} - \frac{1}{r_{csc}}, \quad (9.39)$$

9.2.2. Кривизна оси при изгибе и жесткость железобетонных элементов на участках без трещин

где $1/r_{sh,t}$ - кривизна элемента от кратковременной нагрузки;
 $1/r_{lt}$ - кривизна от постоянной и длительно действующих нагрузок;
 $1/r_{cp}$ - кривизна элемента, вследствие выгиба при обжатии;
 $1/r_{crc}$ - кривизна элемента вследствие ползучести при действии усилий обжатия.

Кривизну $1/r_{crc}$ принимают равной тангенсу угла наклона эпюры деформаций:

$$\frac{1}{r_{csc}} = \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_b'}{h_0}. \quad (9.40)$$

Здесь ε_b и ε_b' – деформации бетона, вызванные ползучестью, на уровне центра тяжести растянутой арматуры и крайнего сжатого волокна бетона:

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_6 + \sigma_9}{E_s}; \quad (9.41)$$

$$\varepsilon_b' = \frac{\sigma_6' + \sigma_9'}{E_s}. \quad (9.42)$$

Потери напряжений от усадки и ползучести бетона вычисляются на уровне центра тяжести растянутой арматуры (σ_6 и σ_9) и крайнего сжатого волокна (σ_6' и σ_9').

9.2.2. Кривизна оси при изгибе и жесткость железобетонных элементов на участках без трещин

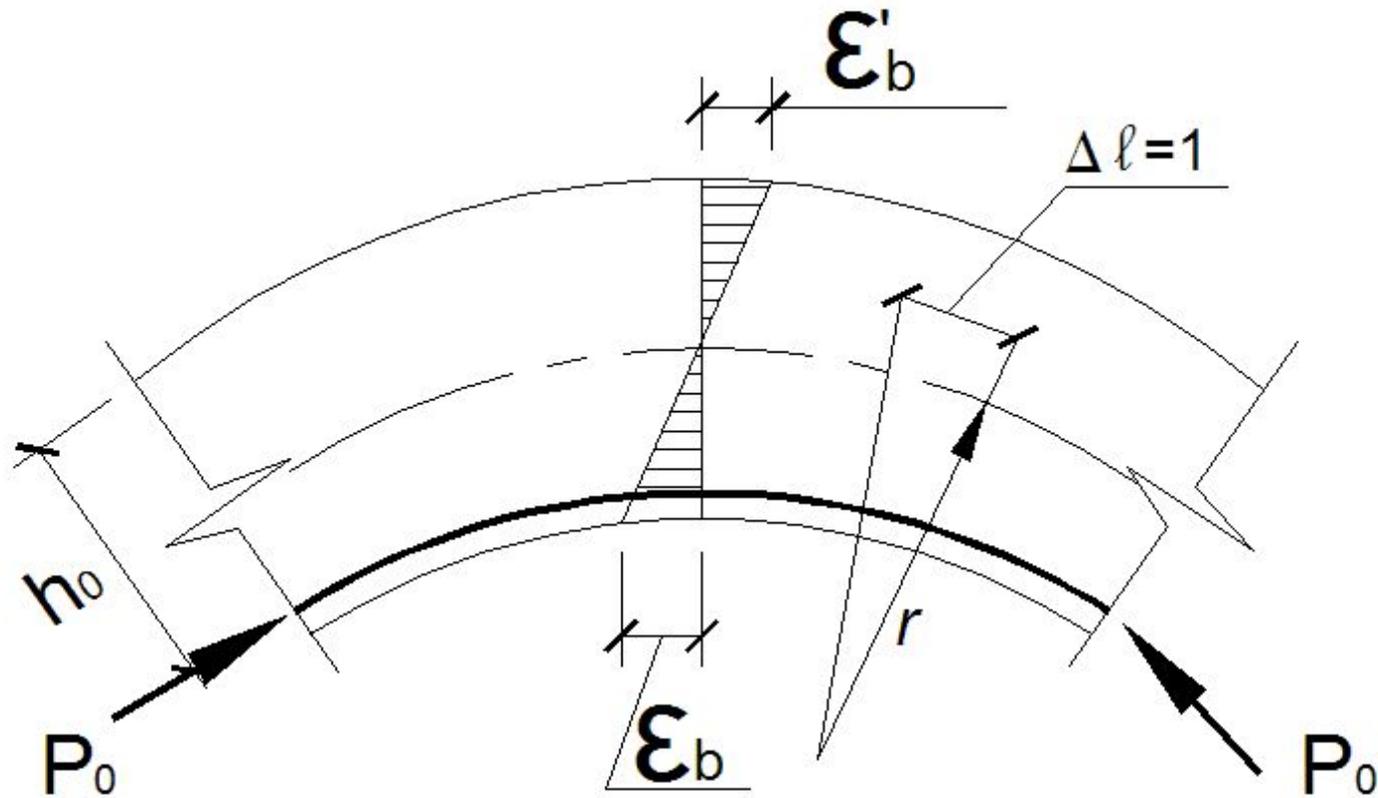


Рис. 9.4. Определение кривизны оси элемента от ползучести при действии усилия обжатия

9.2.3. Кривизна оси при изгибе и жесткость железобетонных элементов на участках с трещинами. Определение прогиба.

При определении кривизны элемента в этом случае за основу принимают вторую стадию НДС, то есть образование и раскрытие трещин в растянутой зоне.

Общее деформированное состояние определяют средними деформациями и средним радиусом кривизны, так как прогибы определяют работу элементов в целом.

Жесткость железобетонного элемента на участках с трещинами в растянутой зоне определяют с учетом следующих исходных положений:

- сечения после деформирования остаются плоскими (действует гипотеза плоских сечений);
- работу растянутого бетона в сечении с нормальной трещиной не учитывают;
- работу растянутого бетона на участке между смежными нормальными трещинами учитывают посредством коэффициента ψ_s .

При этом железобетонный элемент рассматривают как условно упругий, принимая для него линейную зависимость между напряжениями и деформациями.

Влияние неупругих деформаций бетона учитывают с помощью приведенного модуля деформаций, а влияние работы растянутого бетона между трещинами - с помощью приведенного модуля деформаций арматуры.

9.2.3. Кривизна оси при изгибе и жесткость железобетонных элементов на участках с трещинами. Определение прогиба.

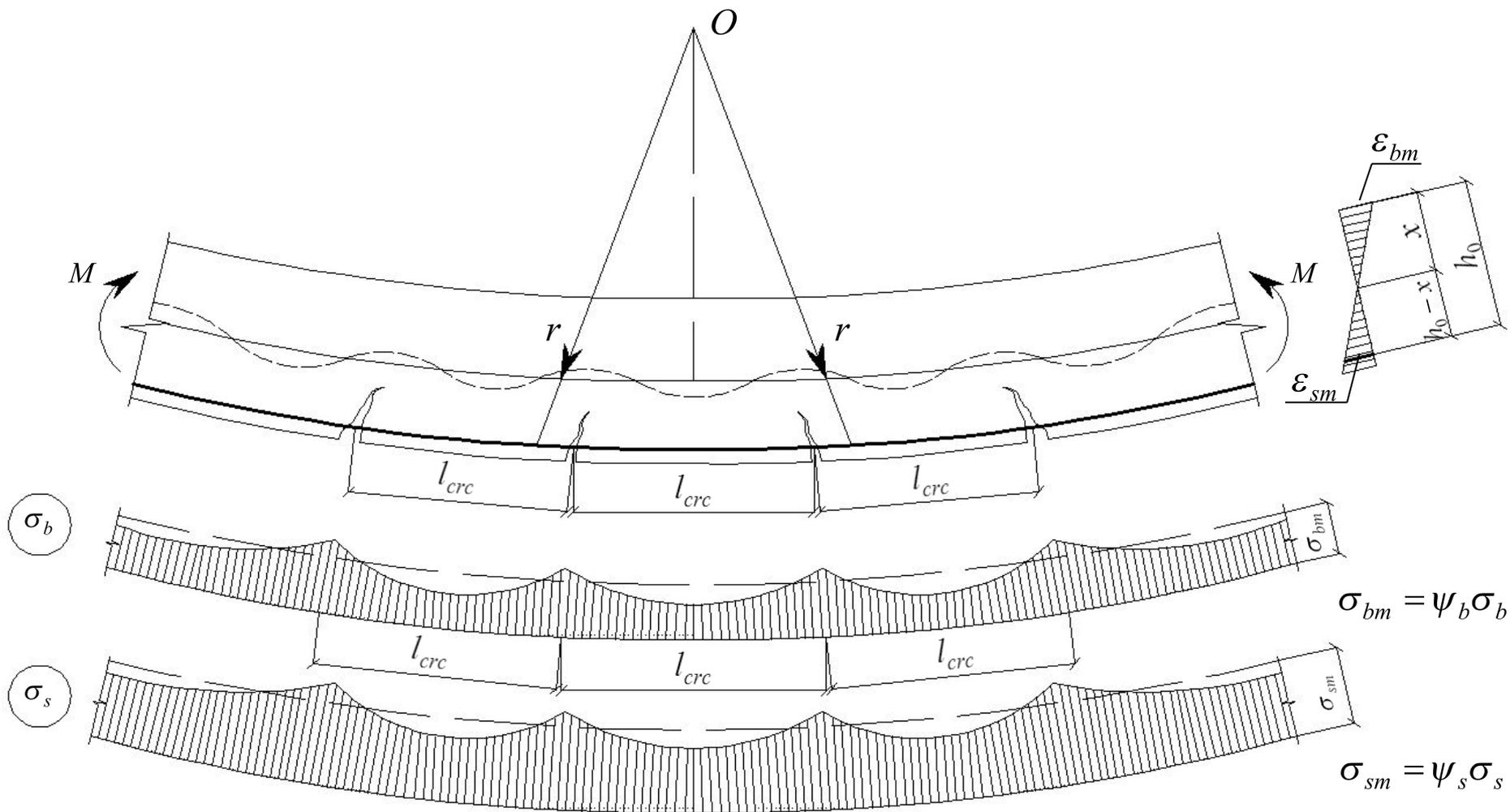


Рис. 9.5. Определение кривизны оси при изгибе элемента

9.2.3. Кривизна оси при изгибе и жесткость железобетонных элементов на участках с трещинами. Определение прогиба.

При принятии таких допущений величину жесткости железобетонного элемента на участках с трещинами можно определить по формуле:

$$D = E_{b,red} \cdot I_{red}, \quad (9.43)$$

в которой $E_{b,red}$ - приведенный модуль деформации бетона, значение которого можно вычислить по зависимости:

$$E_{b,red} = \frac{R_{b,n}}{\varepsilon_{b1,red}}. \quad (9.44)$$

Относительные деформации бетона при непродолжительном действии нагрузки принимают равными $\varepsilon_{b1,red} = 0,0015$, а при продолжительном определяют по таблицам.

Момент инерции приведенного поперечного сечения элемента I_{red} находят как сумму трех моментов инерции:

$$I_{red} = I_b + \alpha_{s2} \cdot I_s + \alpha_{s1} \cdot I'_s, \quad (9.45)$$

где I_b, I_s, I'_s - моменты инерции площадей сечения соответственно сжатой зоны бетона, растянутой и сжатой арматуры относительно центра тяжести приведенного без учета бетона растянутой зоны поперечного сечения;

α_{s1} и α_{s2} - коэффициенты приведения сжатой и растянутой арматуры к бетону.

9.2.3. Кривизна оси при изгибе и жесткость железобетонных элементов на участках с трещинами. Определение прогиба.

Полная кривизна изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых железобетонных элементов на участках с трещинами в растянутой зоне определяется по формуле:

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3, \quad (9.46)$$

где $(1/r)_1$ - кривизна от непродолжительного действия всей нагрузки, на которую производят расчет по деформациям;

$(1/r)_2$ - кривизна от непродолжительного действия постоянных и длительных временных нагрузок;

$(1/r)_3$ - кривизна от продолжительного действия постоянных и длительных временных нагрузок.

Для предварительно напряженных элементов каждую из составляющих полной кривизну от соответствующих нагрузок вычисляют по формуле:

$$\frac{1}{r} = \frac{M - N_p \cdot e_{0p}}{D}, \quad (9.47)$$

9.2.3. Кривизна оси при изгибе и жесткость железобетонных элементов на участках с трещинами. Определение прогиба.

где M - изгибающий момент от внешней нагрузки;

N_p и e_{op} - усилие предварительного обжатия, определенное с учетом всех потерь в напрягаемой арматуре, и его эксцентриситет относительно центра тяжести приведенного поперечного сечения элемента.

Составляющие полной кривизны при расчете изгибаемых предварительно напряженных элементов, допускаются определять по величине жесткости, вычисленной исходя из параметров растянутой арматуры:

$$\frac{1}{r} = \frac{M - N_p \cdot z_p}{E_{s,red} \cdot A_s \cdot z (h_0 - x_N)}, \quad (9.48)$$

где z_p и z - расстояние от точки приложения усилий обжатия N_p и центра тяжести растянутой арматуры A_s до точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне;

x_N - высота сжатой зоны с учетом влияния предварительного обжатия.

Значения z_p и z допускается определять, принимая расстояние от точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне до наиболее сжатого волокна сечения, равным $0,3h_0$.

9.2.3. Кривизна оси при изгибе и жесткость железобетонных элементов на участках с трещинами. Определение прогиба.

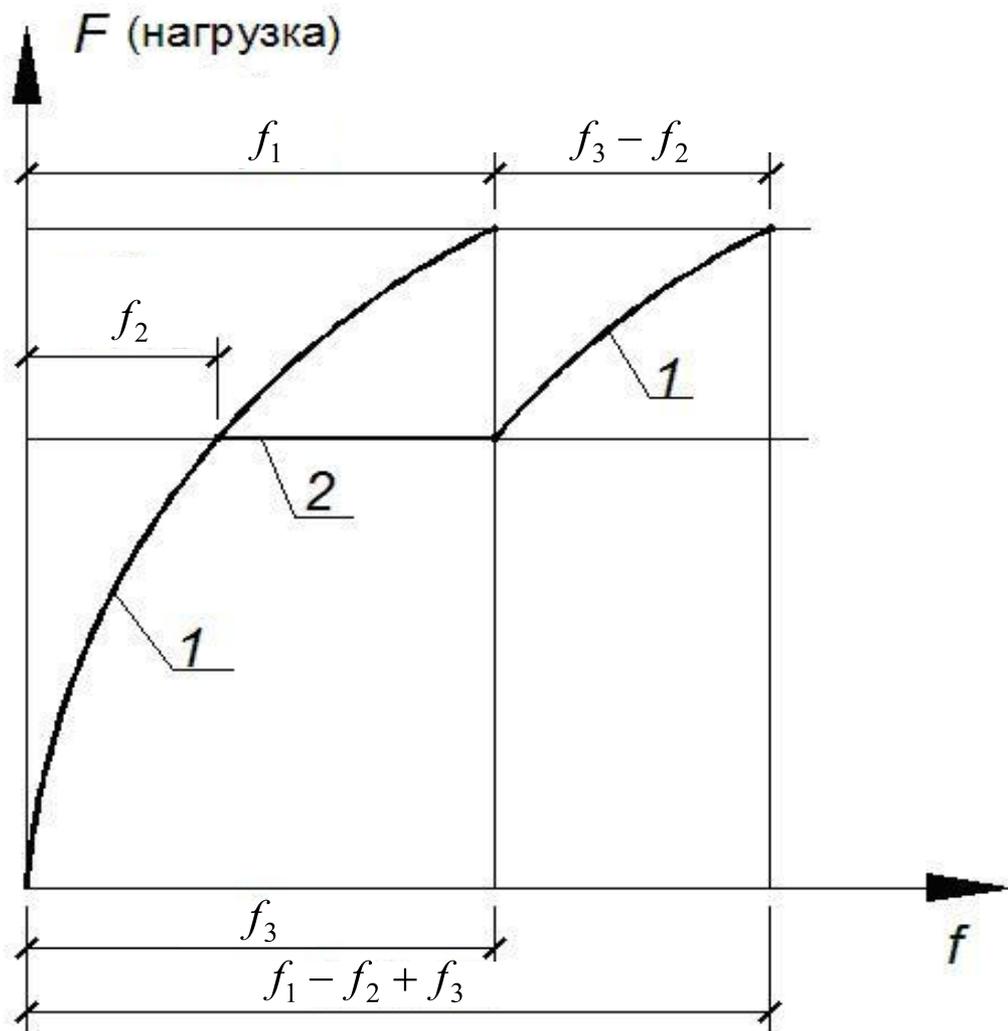


Рис. 9.6. Прогиб железобетонного элемента при действии кратковременной и длительной нагрузок



1 – прогиб кратковременный;
2 – прогиб длительный

9.2.3. Кривизна оси при изгибе и жесткость железобетонных элементов на участках с трещинами. Определение прогиба.

Прогибы элементов покрытий должны быть такими, чтобы, несмотря на их наличие, был обеспечен уклон кровли не менее $1/200$ в одном из направлений

Прогибы элементов конструкций не ограничиваются исходя из эстетико-психологических требований, если не ухудшают внешний вид конструкций (например, мембранные покрытия, наклонные козырьки, конструкции с провисающим или приподнятым нижним поясом), если элементы конструкций скрыты от обзора или находятся над помещениями с непродолжительным пребыванием людей (например, трансформаторных подстанций, чердаков).

Предельные прогибы элементов конструкций покрытий и перекрытий, ограничиваемые исходя из технологических, конструктивных и физиологических требований, следует отсчитывать от изогнутой оси, соответствующей состоянию элемента в момент приложения нагрузки, от которой вычисляется прогиб, а ограничиваемые исходя из эстетико-психологических требований - от прямой, соединяющей опоры этих элементов.

Для элементов конструкций зданий и сооружений, предельные прогибы и перемещения которых не оговорены нормативными документами, вертикальные и горизонтальные прогибы и перемещения от постоянных, длительных и кратковременных нагрузок не должны превышать $1/150$ пролета или $1/75$ вылета консоли.