

СОСТОЯНИЙ

Расчет по деформациям

Расчет по деформациям производят на действие нагрузок при ограничении деформаций:

✓ технологическими или конструктивными требованиями:

постоянных, временных длительных и кратковременных ;

✓ эстетическими требованиями:

постоянных и временных длительных нагрузок;

Расчет железобетонных элементов по прогибам производят из условия $f \leq f_{ult}$

где f - прогиб железобетонного элемента от действия внешней нагрузки;

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

Значения предельно допустимых деформаций элементов принимают согласно СНиП 2.01.07

“Нагрузки и воздействия”.

При действии постоянных, длительных и кратковременных нагрузок прогиб балок или плит во

всех случаях не должен превышать $\frac{1}{150}$ пролета и $\frac{1}{75}$ вылета консоли.

СОСТОЯНИЙ

Расчет прогибов

Расчет кривизны

Суть расчета прогибов заключается в определении кривизны $\left(\frac{1}{r}\right)$, зная которую, по соответствующим зависимостям определяется прогиб f .

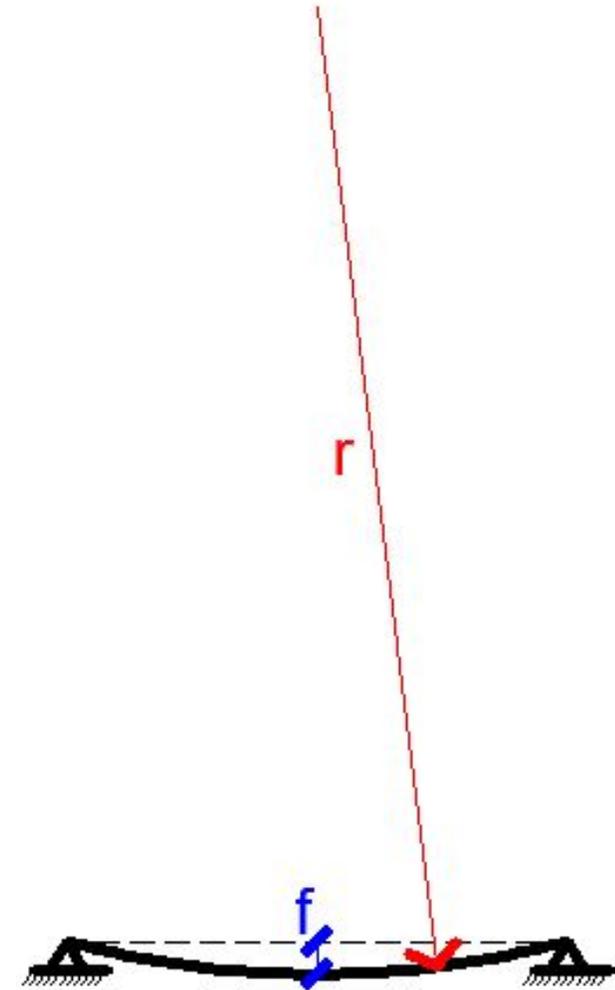
Для определения полной кривизны конструкции существует 2 методики:

1 Для участков без трещин в растянутой зоне

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

$\left(\frac{1}{r}\right)_1$ – кривизна от непродолжительного действия кратковременных нагрузок;

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



СОСТОЯНИЙ

Расчет прогибов

Расчет кривизны

2 Для участков с трещинами в растянутой зоне

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

$\left(\frac{1}{r}\right)_1$ – кривизна от непродолжительного действия всей нагрузки на которую производят расчет;

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

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

Подобное суммирование кривизн объясняется тем, что при наличии трещин невозможно непосредственно определить приращение кривизны от кратковременной нагрузки, а затем добавить ее к кривизне от постоянной и длительной нагрузок – приходится применять данный искусственный прием.

СОСТОЯНИЙ

Расчет прогибов

Расчет кривизны

Кривизну железобетонных элементов $\frac{1}{r}$ от действия соответствующих нагрузок определяют по формуле:

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{D}$$

M – изгибающий момент от внешней нагрузки;

D – изгибная жесткость приведенного поперечного сечения элемента;

$$D = E_{b1} \cdot I_{red}$$

E_{b1} – модуль упругости сжатого бетона, определяемый в зависимости от продолжительности действия нагрузки;

I_{red} – момент инерции приведенного поперечного сечения относительно его центра тяжести, определяемый с учетом наличия или отсутствия трещин.

Л
е
к
ц
и
я
1
5

СОСТОЯНИЙ

Расчет прогибов

Расчет прогибов

Прогиб железобетонных элементов, обусловленный деформациями изгиба, определяют по

формуле:

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

\overline{M}_x – изгибающий момент в сечении x от действия единичной силы по направлению перемещения;

$\left(\frac{1}{r}\right)_x$ – полная кривизна элемента в сечении x от действия внешней нагрузки, при которой

определяется прогиб.

В общем случае для железобетонных элементов вычисление прогиба производят путем разбиения элементов на ряд участков, определения кривизны на границах этих участков (с учетом наличия или отсутствия трещин) и перемножения эпюр моментов \overline{M}_x и кривизны $\left(\frac{1}{r}\right)_x$ по длине элемента при линейном распределении кривизны в пределах каждого участка.

состояний Расчет прогибов

Жесткость железобетонного элемента на участке без трещин в растянутой зоне
8.2.26 Жесткость железобетонного элемента D на участке без трещин определяют по формуле (8.143).

Момент инерции I_{red} приведенного поперечного сечения элемента относительно его центра тяжести определяют как для сплошного тела по общим правилам сопротивления упругих элементов с учетом всей площади сечения бетона и площадей сечения арматуры с коэффициентом приведения арматуры к бетону α .

$$I_{red} = I + I_s \cdot \alpha + I'_s \cdot \alpha , \quad (8.144)$$

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;

α – коэффициент приведения арматуры к бетону

СОСТОЯНИЙ Расчет прогибов

$$\alpha = \frac{E_s}{E_{b1}}. \quad (8.145)$$

Значение I определяют по общим правилам расчета геометрических характеристик сечений упругих элементов.

Допускается определять момент инерции I_{red} без учета арматуры.

Значения модуля деформации бетона в формулах (8.143), (8.145) принимают равными:

при непродолжительном действии нагрузки

$$E_{b1} = 0,85 \cdot E_b ; \quad (8.146)$$

при продолжительном действии нагрузки

$$E_{b1} = E_{b\tau} = \frac{E_b}{1 + \varphi_{b,cr}} , \quad (8.147)$$

где $\varphi_{b,cr}$ — принимают по таблице 6.12.

СОСТОЯНИЙ

Расчет прогибов

Жесткость железобетонного элемента на участке с трещинами в растянутой зоне

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

- сечения после деформирования остаются плоскими;
- напряжения в бетоне сжатой зоны определяют как для упругого тела;
- работу растянутого бетона в сечении с нормальной трещиной не учитывают;
- работу растянутого бетона на участке между смежными нормальными трещинами учитывают посредством коэффициента ψ_s .

Жесткость железобетонного элемента D на участках с трещинами определяют по формуле (8.143) и принимают не более жесткости без трещин.

Значения модуля деформации сжатого бетона E_{b1} принимают равными значениям приведенного модуля деформации $E_{b,red}$, определяемым по формуле (6.9) при расчетных сопротивлениях бетона $R_{b,ser}$ для соответствующих нагрузок (непродолжительного и продолжительного действия).

Момент инерции приведенного поперечного сечения элемента I_{red} относительно его центра тяжести определяют по общим правилам сопротивления упругих элементов с учетом площади сечения бетона только сжатой зоны, площадей сечения сжатой арматуры с коэффициентом приведения арматуры к бетону α_{s1} и растянутой арматуры с коэффициентом приведения арматуры к бетону α_{s2} по формуле

$$I_{red} = I_b + I_s \cdot \alpha_{s2} + I'_s \cdot \alpha_{s1} , \quad (8.148)$$

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.

СОСТОЯНИЙ Расчет прогибов

8.2.28 Для изгибаемых элементов положение нейтральной оси (средняя высота сжатой зоны бетона) определяют из уравнения

$$S_{b0} = \alpha_{s2} \cdot S_{s0} - \alpha_{s1} \cdot S'_{s0} , \quad (8.149)$$

где S_{b0} , S_{s0} и S'_{s0} – статические моменты соответственно сжатой зоны бетона, растянутой и сжатой арматуры относительно нейтральной оси.

Для прямоугольных сечений только с растянутой арматурой высоту сжатой зоны определяют по формуле

$$x_m = h_0 \left(\sqrt{(\mu_s \cdot \alpha_{s2})^2 + 2\mu_s \cdot \alpha_{s2}} - \mu_s \cdot \alpha_{s2} \right) , \quad (8.150)$$

где $\mu_s = \frac{A_s}{b \cdot h_0}$.

СОСТОЯНИЙ

Расчет прогибов

8.2.28 Для изгибаемых элементов положение нейтральной оси (средняя высота сжатой зоны бетона) определяют из уравнения

$$S_{b0} = \alpha_{s2} \cdot S_{s0} - \alpha_{s1} \cdot S'_{s0} , \quad (8.149)$$

где S_{b0} , S_{s0} и S'_{s0} – статические моменты соответственно сжатой зоны бетона, растянутой и сжатой арматуры относительно нейтральной оси.

Для прямоугольных сечений только с растянутой арматурой высоту сжатой зоны определяют по формуле

$$x_m = h_0 \left(\sqrt{(\mu_s \cdot \alpha_{s2})^2 + 2\mu_s \cdot \alpha_{s2}} - \mu_s \cdot \alpha_{s2} \right) , \quad (8.150)$$

где $\mu_s = \frac{A_s}{b \cdot h_0}$.

Для прямоугольных сечений с растянутой и сжатой арматурой высоту сжатой зоны определяют по формуле

$$x_m = h_0 \left[\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2 \left(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1} \frac{a'}{h_0} \right)} - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1}) \right] , \quad (8.151)$$

где $\mu'_s = \frac{A'_s}{bh_0}$.

СОСТОЯНИЙ

Расчет прогибов

Для прямоугольных сечений с растянутой и сжатой арматурой высоту сжатой зоны определяют по формуле

$$x_m = h_0 \left[\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2 \left(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1} \frac{a'}{h_0} \right) - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})} \right], \quad (8.151)$$

где $\mu'_s = \frac{A'_s}{bh_0}$.

Для тавровых (с полкой в сжатой зоне) и двутавровых сечений высоту сжатой зоны определяют по формуле

$$x_m = h_0 \left[\sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1} + \mu'_f)^2 + 2 \left(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1} \frac{a'}{h_0} + \mu'_f \frac{h'_f}{2h_0} \right) - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1} + \mu'_f)} \right], \quad (8.152)$$

где $\mu'_f = \frac{A'_f}{bh_0}$.

A'_f – площадь сечения свесов сжатой полки.

СОСТОЯНИЙ

Расчет прогибов

$$D = E_{s,red} A_s z (h_0 - x_m) , \quad (8.155)$$

где Z – расстояние от центра тяжести растянутой арматуры до точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне.

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

$$z = h_0 - \frac{1}{3} x_m . \quad (8.156)$$

Для элементов прямоугольного, таврового (с полкой в сжатой зоне) и двутаврового поперечных сечений значение Z допускается принимать равным $0,8h_0$.

8.2.30 Значения коэффициентов приведения арматуры к бетону принимают равными: для сжатой арматуры

$$\alpha_{s1} = \frac{E_s}{E_{b,red}} ; \quad (8.157)$$

для растянутой арматуры

$$\alpha_{s2} = \frac{E_{s,red}}{E_{b,red}} , \quad (8.158)$$

где $E_{b,red}$ – приведенный модуль деформации сжатого бетона, определяемый по формуле (6.9) при непродолжительном и продолжительном действии нагрузки, заменяя R_b на $R_{b,ser}$;

$E_{s,red}$ – приведенный модуль деформации растянутой арматуры, определяемый с учетом влияния работы растянутого бетона между трещинами по формуле

$$E_{s,red} = \frac{E_s}{\psi_s} . \quad (8.159)$$