

## 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  $f$ .

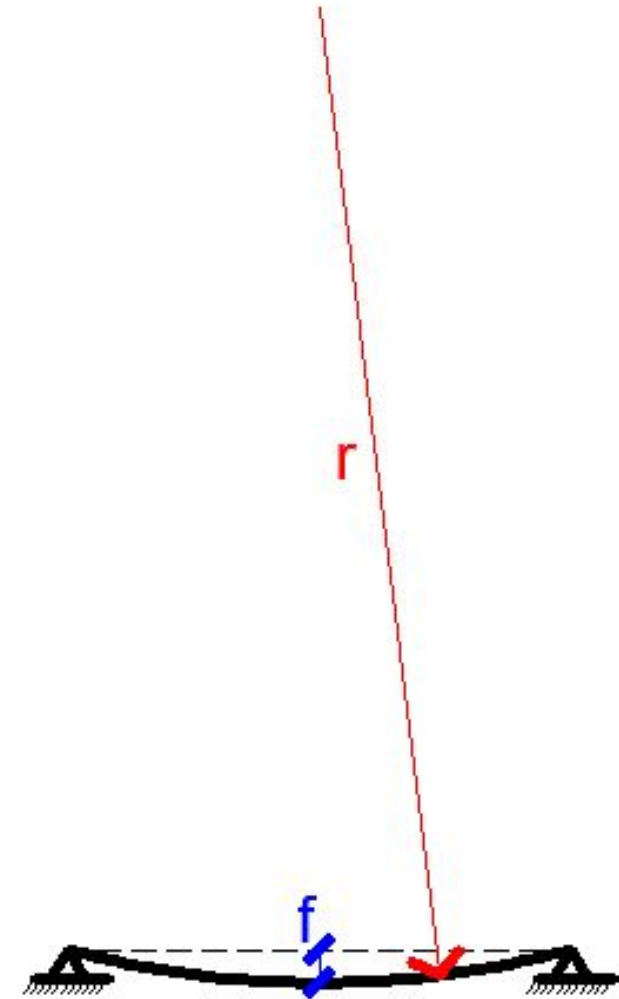
Для определения полной кривизны конструкции существует 2 методики:

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  $\alpha$ .

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

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;

$\alpha$  – 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  $\psi_s$ .

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  $\alpha_{s1}$  и растянутой арматуры с коэффициентом приведения арматуры к бетону  $\alpha_{s2}$  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

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