

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ

1. *Общие сведения*
2. *Определение прогиба и кривизны железобетонных элементов на участках без трещин в растянутой зоне*
3. *Основные предпосылки к расчету деформаций элементов, имеющих трещины в бетоне растянутой зоны*

1. Общие сведения

Широкое применение сборных железобетонных конструкций из материалов высокой прочности привело к уменьшению размеров поперечного сечения элементов, а, следовательно, и снижению их жесткости и увеличению прогибов. В связи с этим расчёт перемещений приобрёл в последние годы особо важное значение.

Цель расчёта состоит в ограничении прогибов конструкции до таких пределов, которые не могли бы нарушить эксплуатационных качеств конструкций.

Деформации (прогибы, углы поворота) элементов железобетонных конструкций вычисляются по формулам строительной механики, при этом значения кривизны, входящих в эти формулы, определяются с учётом особенностей железобетона.

В том случае, если в растянутой зоне элемента трещины не образуются (конструкции I категории трещиностойкости) либо они закрыты (конструкции II категории трещиностойкости), то кривизна оси определяется как для сплошного приведённого сечения в стадии I напряжённо-деформированного состояния.

При образовании трещин в растянутой при эксплуатации зоне сечения (конструкции III категории трещиностойкости), кривизна элемента вычисляется в стадии II напряжённо-деформированного состояния через средние деформации растянутой арматуры ε_{sm} , средние деформации сжатой зоны бетона ε_{bm} и среднее положение нейтральной оси с радиусом кривизны r .

В общем случае расчет по прогибам сводится к проверке условия

$$f \leq f_u \quad (1)$$

где f - прогиб от расчётных нагрузок при $\gamma_f = 1$; f_u - допустимый нормами предельный прогиб, установленный на основании технологических, конструктивных, эстетико-психологических и других требований, принимается по СНиП 2.01.07 - 85*. Например, для элементов покрытий и перекрытий для эстетико-психологических требований при пролетах $l \leq 6$ м предельный прогиб $f_u = l/200$; а при $l = 24$ м - $f_u = l/250$.

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

Полное значение прогиба железобетонного элемента, не имеющего трещин в растянутой зоне, определится по формуле (левая часть (1)).

$$f = f_1 + f_2 - f_3 - f_4, \quad (2)$$

где f_1 - прогиб от кратковременной нагрузки; f_2 - прогиб от постоянной и длительно действующей нагрузки; f_3 - выгиб от кратковременного действия усилия предварительного обжатия P (P - с учетом всех потерь); f_4 - выгиб вследствие ползучести бетона от обжатия.

Для элементов постоянного сечения (однопролётных балок, плит, консолей и т.п.) прогиб определяется от соответствующих нагрузок (2) по кривизне в сечении с

максимальным моментом по общей формуле

$$f = \rho_m l_0^2 \cdot \left(\frac{1}{r} \right), \quad (3)$$

где коэффициент ρ_m зависит от расчётной схемы элемента и вида нагрузки (табл. 1); $\frac{1}{r}$ - кривизна оси элемента для изгибаемых и внецентренно нагруженных железобетонных элементов определится по формуле

$$\frac{1}{r} = \frac{M \cdot \varphi_{b2}}{\varphi_{b1} \cdot E_b \cdot I_{red}} \quad (4)$$

где M - изгибающий момент от нагрузок, для которых определяется кривизна (в соответствии с формулой (2)), т.е. если определяется f_l , то и момент $M = M_l$ определяется от кратковременных нагрузок и т.д.); φ_{b2} - коэффициент, учитывающий снижение жёсткости (увеличение кривизны) при длительном действии нагрузок под влиянием ползучести бетона сжатой зоны: при средней относительной влажности воздуха выше 40% он равен 2; при средней относительной влажности воздуха 40% и ниже он равен 3; при действии кратковременных нагрузок $\varphi_{b2} = 1$.

φ_{b1} - коэффициент, учитывающий снижение жесткости сечения вследствие проявления кратковременной ползучести бетона растянутой зоны (зависит от вида бетона, для тяжелого бетона $\varphi_{b1} = 0,85$, для легкого $\varphi_{b1} = 0,7$);

I_{red} - приведённый момент инерции сечения.

Кривизна оси ($1/r$), вызванная выгибом от кратковременного действия усилия предварительного обжатия, также определяется по формуле (4) при значении момента

$$M = P \cdot e_{op}, \quad (5)$$

где e_{op} - эксцентриситет усилия обжатия (P) относительно центра тяжести приведённого сечения.

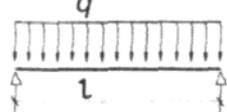
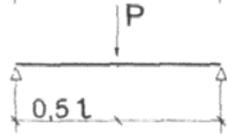
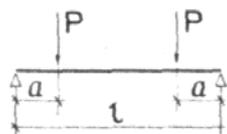
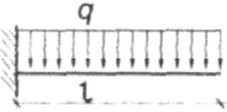
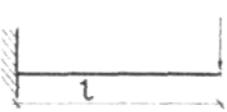
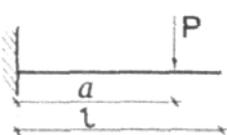
Выгиб предварительно напряжённых элементов, вызванный ползучестью бетона от усилия предварительного обжатия $-f_s$, определяется также по формуле (3), в которой коэффициент ρ_m принимается равным $1/8$, а кривизна по формуле

$$\frac{1}{r} = \frac{\varepsilon_b - \varepsilon'_b}{h_0}, \quad (6)$$

где ε_b и ε'_b - деформации бетона, вызванные ползучестью от усилия предварительного обжатия на уровне центра тяжести растянутой арматуры и крайнего сжатого волокна бетона.

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_{sb}}{E_s}; \quad \varepsilon'_b = \frac{\sigma'_{sb}}{E_s} \quad (7)$$

Значения коэффициентов ρ_m

Схема загрузки балки		Коэффициент ρ_m
А. Свободно опертой	1) 	5/48
	2) 	1/12
	3) 	$\frac{1}{8} - \frac{a^2}{6l^2}$
	4) 	1/8
Б. Консольной	1) 	1/4
	2) 	1/3
	3) 	$\frac{a}{6l} \left(3 - \frac{a}{l} \right)$

Примечание. При загрузении элемента одновременно по нескольким схемам, представленным в табл. 1 $\rho_m = (\rho_1 M_1 + \rho_2 M_2 + \dots) / (M_1 + M_2 + \dots)$, где ρ_1 и M_1 , ρ_2 и M_2 - соответственно коэффициент ρ и наибольший изгибающий момент для каждой схемы загрузки

Величина σ_{sb} - принимается численно равной сумме потерь предварительного напряжения арматуры от усадки и ползучести бетона для арматуры растянутой зоны:

$$\sigma_{sb} = \sigma_6 + \sigma_8 + \sigma_9$$

σ'_{sb} - то же, для напрягаемой арматуры, если бы она имелась на уровне крайнего сжатого волокна бетона

$$\sigma'_{sb} = \sigma'_6 + \sigma'_8 + \sigma'_9$$

Для коротких элементов ($l/h < 10$) постоянного сечения, работающих как свободно опертые балки, прогиб вычисляется по формуле (4) и умножается на коэффициент ρ_q , учитывающий влияние деформаций сдвига.

Если трещины в растянутой зоне, нормальные к продольной оси элемента, при действии рассматриваемой нагрузки закрыты, то кривизны, определяемые по формуле (4),

увеличиваются на 20%.

3. Основные предпосылки к расчету деформаций элементов, имеющих трещины в бетоне растянутой зоны

В основу расчета положена гипотеза плоских сечений (сечения плоские до деформаций, остаются плоскими после деформаций). Железобетон рассматривается как упругопластический материал с трещинами в бетоне растянутой зоны. Неупругие деформации сжатой зоны бетона учитываются путём введения коэффициента ν , представляющего собой отношение упругого укорочения бетона к полному укорочению:

$$\nu = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_b} \quad (9)$$

Неравномерность деформаций крайнего волокна бетона сжатой зоны, вследствие образования трещин в бетоне растянутой зоны, учитывают путём введения коэффициента Ψ_b , представляющего собой отношение среднего укорочения крайнего волокна сжатой зоны на участке между трещинами к наибольшему укорочению его непосредственно в сечении над трещиной:

$$\Psi_b = \frac{\varepsilon_{bm}}{\varepsilon_b} .$$

Для расчета принята стадия II напряженно-деформированного состояния. Эпюра напряжений в бетоне сжатой зоны принимается прямоугольной.

Влияние работы растянутого бетона между трещинами на деформативность железобетонных элементов оценивают коэффициентом ψ_s , представляющим собой отношение средних деформаций арматуры на участке между трещинами к деформациям её в сечении с трещиной

$$\psi_s = \frac{\varepsilon_{sm}}{\varepsilon_s}$$