

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Казанский Государственный архитектурно-строительный университет

Кафедра железобетонных и каменных конструкций

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по железобетонным конструкциям

**Тема 2. Проектирование (расчет и конструирование)
изгибаемых элементов**

**Занятие 5. Расчет железобетонных элементов по
деформациям.**

КАЗАНЬ, 2012

Методические указания содержат рекомендации по расчету железобетонных элементов по деформациям.

Под редакцией д-ра техн. наук, проф. Соколова Б.С.

Составитель: Седов А.Н.

Занятие №2.5. Расчет железобетонных элементов по деформациям.

Определение прогибов железобетонных элементов.

Цель – обеспечить несущую способность железобетонного элемента.

Задача – вычислить прогиб и сравнить с предельно допустимым значением.

Контрольные вопросы.

1. Как определяется кривизна элемента на участке без трещин в растянутой зоне?

а) $\left(\frac{1}{r}\right)_i = \frac{M}{E_{b1} I_{red}}$.

б) $\left(\frac{1}{r}\right)_i = \frac{M}{E_b I_{red}}$.

в) $\left(\frac{1}{r}\right)_i = \frac{M}{E_{b,red} I_{red}}$.

2. Как определяется кривизна элемента на участке с трещинами в растянутой зоне?

а) $\left(\frac{1}{r}\right)_i = \frac{M}{E_{b1} I_{red}}$.

б) $\left(\frac{1}{r}\right)_i = \frac{M}{E_b I_{red}}$.

в) $\left(\frac{1}{r}\right)_i = \frac{M}{E_{b,red} I_{red}}$.

3. От каких нагрузок вычисляется прогиб элемента?

а) От нормативных.

б) От расчетных.

в) От нормативных и расчетных.

4. От чего зависит коэффициент S в формуле $f = SI^2 \left(\frac{1}{r}\right)_{\max}$?

а) От нагрузки.

б) От условий закрепления.

в) От условий эксплуатации.

5. Как определить полную кривизну изгибаемого элемента не имеющего трещин в растянутой зоне?

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

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

$$в) \frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2.$$

6. Как определить полную кривизну изгибаемого элемента с трещинами в растянутой зоне?

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

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

$$в) \frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2.$$

Расчет железобетонных элементов по прогибам производят из условия $f \leq f_{ult}$, где f - прогиб железобетонного элемента от действия внешней нагрузки, f_{ult} - значение предельного прогиба железобетонного элемента.

Для изгибаемых элементов постоянного сечения, имеющих трещины на каждом участке, в пределах которого изгибающий момент не меняет знак, допускается вычислять кривизну для наиболее напряженного сечения и принимать для остальных сечений такого участка кривизны изменяющимися пропорционально значениям изгибающего момента. В этом случае для свободно опертых и консольных элементов максимальный прогиб определяют по формуле

$$f = Sl^2 \left(\frac{1}{r}\right)_{\max},$$

где $\left(\frac{1}{r}\right)_{\max}$ - полная кривизна в сечении с наибольшим изгибающим

моментом, определяемая на участке без трещин в растянутой зоне по п. 4.23[2], на участке с трещинами в растянутой зоне по п. 4.24[2];

S - коэффициент, принимаемый по табл. 4.3 [2].

Для изгибаемых элементов с защемленными опорами прогиб в середине пролета может определяться по формуле:

$$f = \left\{ \left[\left(\frac{1}{r}\right)_{\max} S - 0.5 \left[\left(\frac{1}{r}\right)_{\text{sup},l} + \left(\frac{1}{r}\right)_{\text{sup},r} \right] * \left(\frac{1}{8} - S\right) \right] \right\} l^2, \text{ где } \left(\frac{1}{r}\right)_{\max}$$

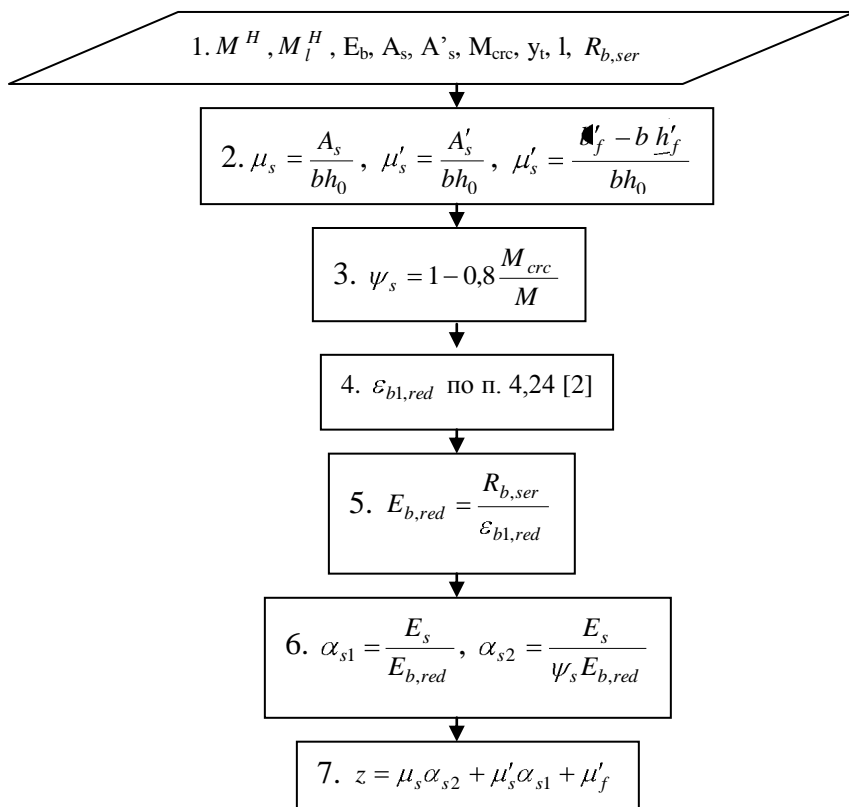
$\left(\frac{1}{r}\right)_{\text{sup},l}$, $\left(\frac{1}{r}\right)_{\text{sup},r}$ - кривизна соответственно в середине пролета, на левой и правой опорах;

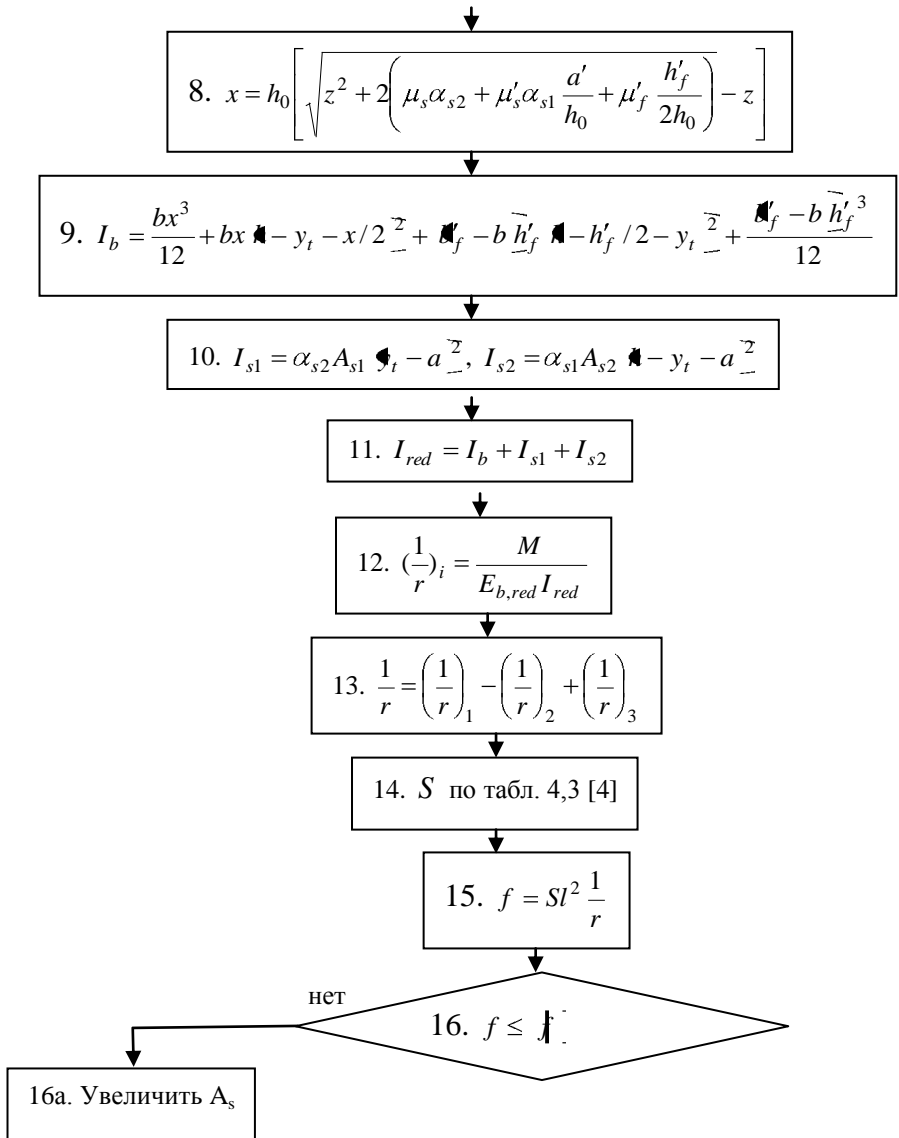
S - коэффициент, принимаемый по табл. 4.3 [2] как для свободно опертой балки.

Полную кривизну изгибаемых элементов для участков с трещинами в растянутой зоне определяют по формуле: $\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3$, где $\left(\frac{1}{r}\right)_1$ - кривизна от непродолжительного действия всех нагрузок, на которые производят 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. $R_{b,ser}$

По [2] расчет по деформациям ригеля на участке с трещинами в растянутой зоне выполняем по блок-схеме:

Блок-схема 1





При определении прогибов железобетонного элемента на участке без трещин в растянутой зоне в блок-схеме 1 в п.12 кривизну определяют по формуле

$$\left(\frac{1}{r}\right)_i = \frac{M}{E_{b1} I_{red}}.$$

Здесь E_{b1} - модуль деформации сжатого бетона, принимаемый равным:

при непродолжительном действии нагрузки $E_{b1} = 0.85E_b$;

при продолжительном действии нагрузки $E_{b1} = \frac{E_b}{1 + \varphi_{b,crc}}$, где $\varphi_{b,crc}$ -

коэффициент ползучести бетона, принимаемый в зависимости от относительной влажности воздуха и класса бетона по табл. 4.4 [2].

Полную кривизну изгибаемых элементов для участков без трещин в растянутой зоне в п. 13 определяют по формуле: $\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2$, где $\left(\frac{1}{r}\right)_1$ и

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

- кривизны соответственно от непродолжительного действия

кратковременных нагрузок и от продолжительного действия постоянных и длительных нагрузок.

Пример расчета 1.

Определить прогиб железобетонного элемента с трещинами в растянутой зоне. Исходные данные по примеру расчета 1 методического указания к занятию 5.

1. Элемент таврового сечения с размерами $b=250\text{мм}$, $h=600\text{мм}$, $b'_f=480\text{мм}$, $h'_f=50\text{мм}$, $a=a'=40\text{мм}$, $h_0 = 600 - 40 = 560\text{мм}$. Длина элемента $l=6\text{м}$.

Прочностные характеристики бетона. Для бетона класса В20

$$R_{bn} = R_{b,ser} = 15\text{МПа}, R_{bt,ser} = 1.35\text{МПа} = 0.135\text{кН/см}^2,$$

$$E_b = 27500\text{МПа}, \sigma_{b1} = 0.6R_{bn} = 0.6 \cdot 15 = 9\text{МПа}.$$

Для арматуры класса А400 $E_s = 200000\text{МПа}$, $A_s = 565\text{мм}^2 = 5.65\text{см}^2$,

$$d_s = 12\text{мм}, A_s^* = 251\text{мм}^2.$$

Изгибающий момент от расчетных нагрузок $M=115,4\text{кН*м}$. Изгибающий момент от нормативных нагрузок $M = 115.4 / 1.15 = 100.35\text{кНм} = 10035\text{кНсм}$, в т.ч. от длительно действующих $M = 100.35 \cdot 0.85 = 85.3\text{кНм} = 8530\text{кНсм}$.

$$y_t = 280\text{мм}, M_{crc} = 3693.22\text{кН*см}.$$

Определим кривизну $\left(\frac{1}{r}\right)_1$ - от непродолжительного действия всех

нагрузок, на которые производят расчет по деформациям ($M = 100.35\text{кНм} = 10035\text{кНсм}$).

$$2. \mu_s = \frac{565}{250 \cdot 560} = 0.004, \mu'_s = \frac{251}{250 \cdot 560} = 0.0018,$$

$$\mu'_s = \frac{480 - 250 - 50}{250 \cdot 560} = 0.082.$$

$$3. \psi_s = 1 - 0.8 \frac{3693.22}{10035} = 0.71.$$

4. $\varepsilon_{bl,red} = 0.0015$ для непродолжительного действия нагрузки.

$$5. E_{b,red} = \frac{15}{0.0015} = 10000 \text{ МПа}.$$

$$6. \alpha_{s1} = \frac{200000}{10000} = 20, \alpha_{s2} = \frac{200000}{0.71 \cdot 10000} = 28.17.$$

$$7. z = 0.044 \cdot 28.17 + 0.0018 \cdot 20 + 0.082 = 1.358.$$

8.

$$x = 560 \left[\sqrt{1.358^2 + 2 \left(0.044 \cdot 28.17 + 0.018 \cdot 20 \frac{40}{560} + 0.082 \frac{50}{2 \cdot 560} \right)} - 1.358 \right] = 411 \text{ мм}$$

9.

$$I_b = \frac{250 \cdot 411^3}{12} + 250 \cdot 411 \left[(100 - 280 - 411/2)^2 + (80 - 250/2)^2 + (100 - 50/2 - 280)^2 \right] + \frac{(80 - 250/2)^3}{12} = 3796647583 \text{ мм}^4.$$

$$10. I_{s1} = 28.17 \cdot 565 \left[(80 - 40)^2 \right] = 916764480 \text{ мм}^4,$$

$$I_{s2} = 20 \cdot 251 \left[(100 - 280 - 40)^2 \right] = 650592000 \text{ мм}^4.$$

$$11. I_{red} = 3796647583 + 916764480 + 650592000 = 13614904063 \text{ мм}^4.$$

$$12. \left(\frac{1}{r} \right)_1 = \frac{10035}{10000 \cdot 13614904063} = 7.37 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{мм}}. \text{ Повторяя расчет с п.3}$$

блок-схемы находим кривизны $\left(\frac{1}{r} \right)_2 = 5.14 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{мм}}$ и $\left(\frac{1}{r} \right)_3 = 7.89 \cdot 10^{-7}$.

$$13. \frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r} \right)_1 - \left(\frac{1}{r} \right)_2 + \left(\frac{1}{r} \right)_3 = 7.37 - 5.14 + 7.89 \cdot 10^{-7} = 1.02 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{мм}}.$$

$$14. S = \frac{5}{48}.$$

$$15. f = \frac{5}{48} 6000^2 \cdot 1.02 \cdot 10^{-6} = 3.8 \text{ мм} < f_{ult} = 24 \text{ мм}$$

Литература.

1. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М.: ГУП НИИЖБ Госстроя России.
2. Железобетонные и каменные конструкции: Учеб. для строит. Спец. вузов. В.М. Бондаренко. – М.: Высш. шк.,2002. – 876с.
3. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003). ЦНИИПромзданий, НИИЖБ.- М.: ОАО «ЦНИИПромзданий, 2005. – 214 с.

Варианты заданий.

№	b, мм	h, мм	a, мм	b'f, мм	h'f, мм	Длина, L, м	Класс бетона	Класс арма- туры	As, мм ²	A's мм ²	M, кН*м
1	250	600	35	430	60	5.4	B25	A-300	226	226	135,0
2	200	500	20	-	-	7.2	B20	A-400	462	308	128,0
3	150	300	25	450	60	6	B35	A-300	308	-	56,4
4	180	400	30	-	-	6.6	B15	A-400	452	-	101,7
5	200	500	20	430	50	7.5	B25	A-300	616	-	89,0
6	180	400	25	-	-	4.8	B20	A-400	226	226	79,1
7	150	300	35	420	60	6.3	B35	A-300	308	226	48,8
8	150	300	20	-	-	5.4	B15	A-400	452	226	54,2
9	250	600	25	460	60	7.2	B25	A-300	616	308	152,5
10	200	500	30	-	-	6	B20	A-400	509	-	86,4
11	200	500	20	440	60	6.6	B35	A-300	308	452	133,9
12	180	400	25	-	-	7.5	B15	A-400	452	226	82,4
13	250	600	35	400	60	4.8	B25	A-300	763	-	160,6
14	150	300	20	-	-	6.3	B20	A-400	226	226	58,8
15	180	400	25	480	50	5.4	B35	A-300	308	-	83,5
16	250	600	30	-	-	7.2	B15	A-400	452	462	132,8
17	180	400	20	470	50	6	B25	A-300	616	308	82,0
18	200	500	25	-	-	6.6	B20	A-400	226	-	136,0
19	150	300	35	490	50	7.5	B35	A-300	308	308	50,5
20	250	600	20	-	-	4.8	B15	A-400	452	-	195,0
21	150	300	25	450	60	6.3	B25	A-300	402	-	45,7
22	180	400	30	-	-	5.4	B20	A-400	308	226	101,7
23	200	500	20	440	50	7.2	B35	A-300	452	-	85,5

Примечание.

- 1. Значение изгибающего момента M в таблице приведено от нормативных нагрузок.**
- 2. Коэффициент S для всех вариантов принимать 5/48.**