

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 3. Расчет изгибаемых элементов по раскрытию  
трещин, нормальных к продольной оси.**

КАЗАНЬ, 2012

Методические указания содержат рекомендации по расчету изгибаемых элементов по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси.

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

Составитель: Седов А.Н.

## Занятие №2.4. Расчет изгибаемых элементов по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси.

**Цель** – обеспечить сопротивление образованию трещин ( $a_{crc} \leq a_{crc,ult}$ ).

### **Задачи:**

- определить момент образования трещин,
- найти ширину раскрытия трещин.

### **Контрольные вопросы.**

1. Какая стадия напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций положена в основу расчета по образованию и раскрытию трещин?
  - а) Первая.
  - б) Вторая.
  - в) Третья.
2. От каких нагрузок производится расчет по образованию и раскрытию трещин?
  - а) От нормативных.
  - б) От расчетных.
  - в) От расчетных и нормативных.
3. Как вычисляется приведенная площадь сечения?
  - а)  $A_{red} = A_b + A_s$ .
  - б)  $A_{red} = A_b + \alpha A_{s1} + A'_{s2}$ .
  - в)  $A_{red} = A_b + A_s + A'_s$ .
4. Как вычисляется момент инерции приведенного сечения?
  - а)  $I_{red} = I_b + I_{s1} + I_{s2}$ .
  - б)  $I_{red} = I_b + \alpha I_{s1} + I_{s2}$ .
  - в)  $I_{red} = I_b + \alpha I_{s1} + \alpha I_{s2}$ .
5. Как учитываются неупругие деформации бетона при определении  $W$ ?
  - а) Заменой  $W$  на  $W_{pl} = W\gamma$ .
  - б) Заменой  $W$  на  $W_{pl} = \frac{I_{red}}{y_t}$ .
  - в) Заменой  $W$  на  $W_{pl} = \alpha \frac{I_b}{y_t}$ .
6. Укажите условие образования трещин?
  - а)  $M_{crc} < M$ .
  - б)  $M_{crc} > M$ .
  - в)  $M_{crc} = M$ .
7. Как определяется ширина продолжительного раскрытия трещин?
  - а)  $a_{crc} = a_{crc1}$ .
  - б)  $a_{crc} = a_{crc2}$ .

- в)  $a_{crc} = a_{crc3}$ .
8. Как определяется ширина непродолжительного раскрытия трещин?
- а)  $a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3}$ .
- б)  $a_{crc} = a_{crc1} - a_{crc2} + a_{crc3}$ .
- в)  $a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} + a_{crc3}$ .
9. Как найти величину напряжений в растянутой арматуре?
- а)  $\sigma_s = \frac{M}{z_s A_{s1}}$ .
- б)  $\sigma_s = \frac{M}{h_0 (A_{s1} + A_{s2})}$ .
- в)  $\sigma_s = \frac{M}{0.9 z_s A_{s1}}$ .

По [3] момент образования трещин без учета неупругих деформаций бетона определяют как для сплошного упругого тела по формуле

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W$$

где  $W$  - момент сопротивления приведенного сечения для крайнего растянутого волокна бетона.

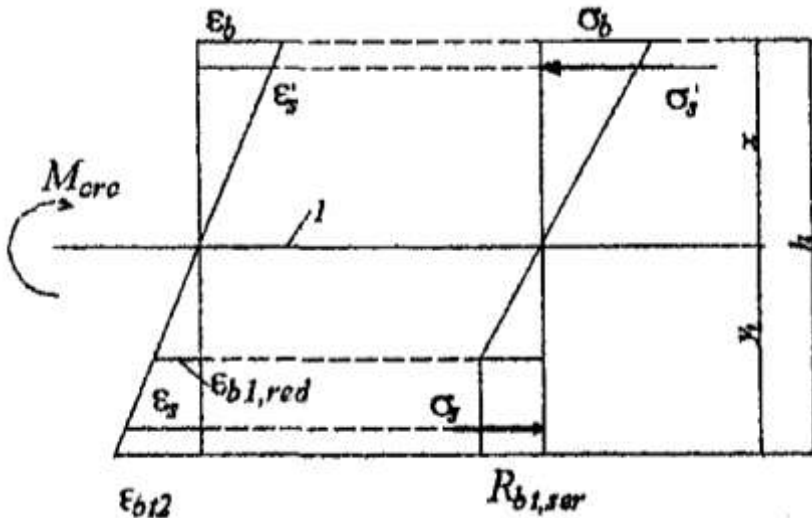


Рис.1. Схема напряженно-деформированного состояния сечения элемента при проверке образования трещин при действии изгибающего момента. 1 – уровень центра тяжести приведенного сечения.

Для прямоугольных, тавровых и двутавровых сечений при действии момента в плоскости оси симметрии момента образования трещин с учетом

неупругих деформаций растянутого бетона допускается заменять значение  $W$  на  $W_{pl} = W\gamma$ , где  $\gamma$  см. табл 4.1 [3].

Если трещины образуются, т.е. выполняется условие  $M_{crc} < M$ , то требуется выполнить расчет по раскрытию трещин.

По [3] ширину раскрытия нормальных трещин определяют по формуле

$$a_{crc} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s,$$

где  $\sigma_s$  - напряжение в продольной растянутой арматуре в нормальном сечении с трещиной от соответствующей внешней нагрузки;

$l_s$  - базовое расстояние между смежными нормальными трещинами;

$\psi_s$  - коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  - коэффициенты, определяемые согласно п. 4.10 [3].

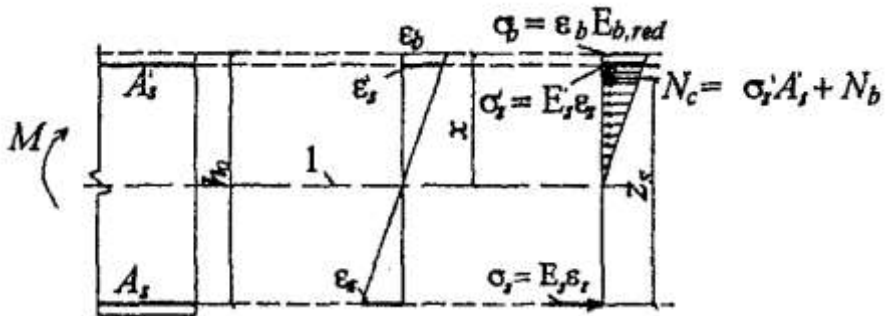


Рис.2. Схема напряженно-деформированного состояния элемента с трещинами при действии изгибающего момента. 1 – уровень центра тяжести приведенного сечения.

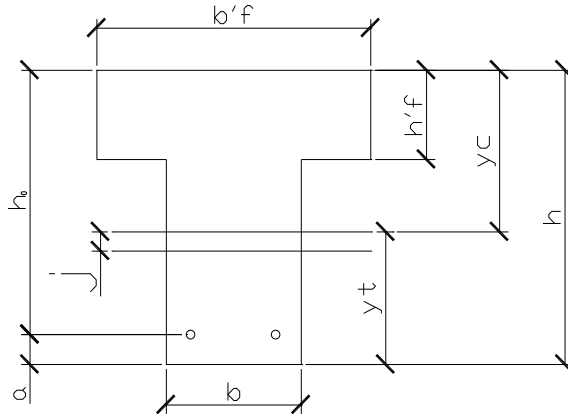


Рис.3. Сечение таврового элемента

Ширину раскрытия трещин принимают равной:

- при продолжительном раскрытии  $a_{crc} = a_{crc,1}$  ;
- при непродолжительном раскрытии  $a_{crc} = a_{crc,1} + a_{crc,2} - a_{crc,3}$  ,

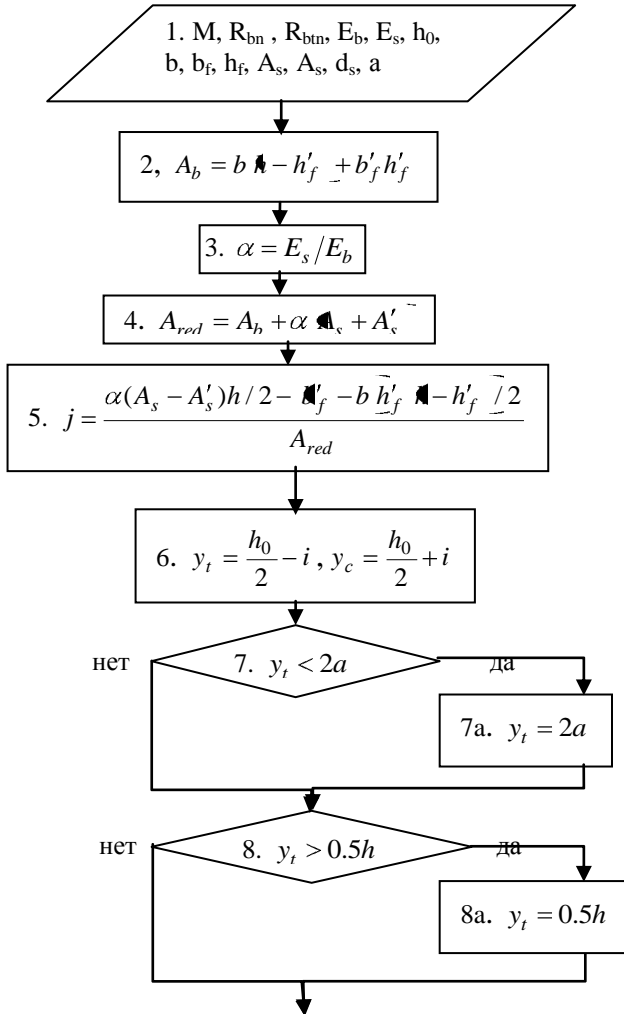
где  $a_{crc,1}$  - ширина раскрытия трещин от действия постоянных и длительных нагрузок,  $\varphi_1 = 1.4$  ;

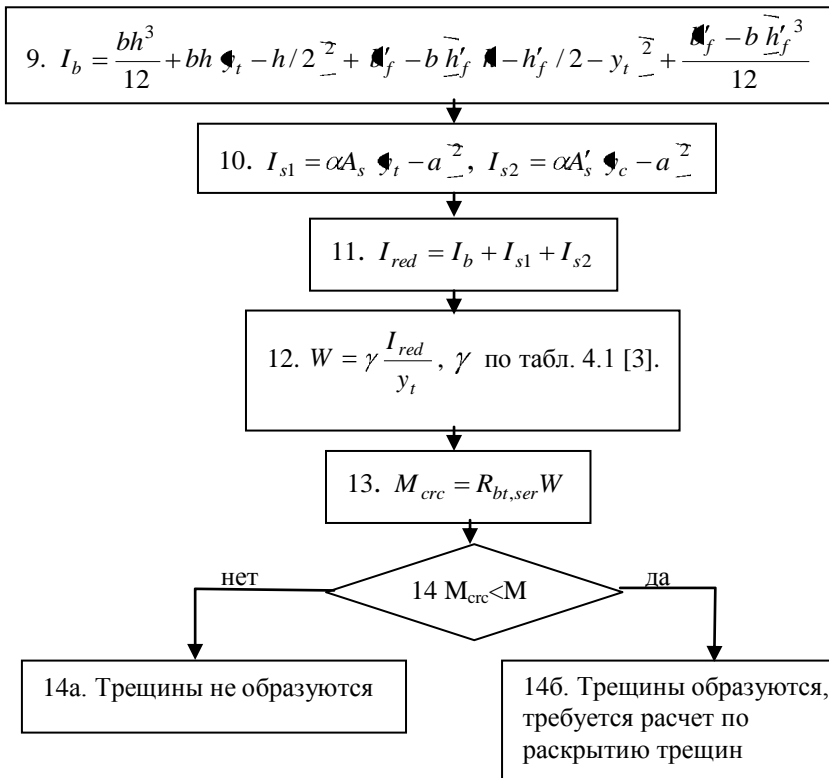
$a_{crc,2}$  - то же, от действия всех нагрузок,  $\varphi_1 = 1$  ;

$a_{crc,3}$  - то же, от действия постоянных и длительных нагрузок,  $\varphi_1 = 1$  .

Момент трещинообразования определяется по следующей блок-схеме:

Блок-схема 1





### Пример расчета 1.

Определить момент трещинообразования для таврового сечения с размерами  $b=250\text{мм}$ ,  $h=600\text{мм}$ ,  $b'_f=480\text{мм}$ ,  $h'_f=50\text{мм}$ ,  $a=a'=40\text{мм}$ .

Прочностные характеристики бетона. Для бетона класса В20

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

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

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  $M = 100.35 \cdot 0.85 = 85.3\text{кНм} = 8530\text{кНсм}$ .

$$2. A_b = 250 \cdot (600 - 50) + 480 \cdot 50 = 161500\text{мм}^2 = 1615\text{см}^2.$$

$$3. \alpha = 200000 / 27500 = 7.27.$$

$$4. A_{red} = 161500 + 7.27(565 + 251) = 167432.3\text{мм}^2 = 1674.3\text{см}^2.$$

$$5. j = \frac{7.27(565 - 251)600/2 - (480 - 250)50(600 - 50)/2}{167432.3} = -14.8 \text{ мм.}$$

$$6. y_t = \frac{560}{2} + 14.8 = 294.8 \text{ см}, \quad y_c = \frac{560}{2} - 14.8 = 265.2 \text{ мм};$$

здесь  $h_0 = 600 - 40 = 560 \text{ мм}$ .

$$7. y_t = 294.8 \text{ см} > 2 \cdot 40 = 80 \text{ мм}.$$

$$8. y_t = 294.8 \text{ см} > 0.5 \cdot 560 = 280 \text{ мм}, \quad y_t = 280 \text{ мм}.$$

$$9. I_b = \frac{250 \cdot 600^3}{12} + \frac{(480 - 250) \cdot 50^3}{12} + 250 \cdot 600(280 - 600/2)^2 + (480 - 250)50(600 - 50/2 - 280)^2 = 5563183333.3 \text{ мм}^4 = 556318.3 \text{ см}^4.$$

$$8. I_{s1} = 7.27 \cdot 565 \cdot (280 - 40)^2 = 236594880 \text{ мм}^4 = 23659.49 \text{ см}^4,$$

$$I_{s2} = 7.27 \cdot 251 \cdot (265.2 - 40)^2 = 92543283.54 \text{ мм}^4 = 9254.33 \text{ см}^4, \text{ здесь}$$

$a_s = 40 \text{ мм}$  - величина защитного слоя растянутой арматуры.

$$9. I_{red} = 556318.3 + 23659.49 + 9254.33 = 589232.12 \text{ см}^4.$$

$$10. W_{red} = 1.3 \frac{589232.12}{28} = 27357.2 \text{ см}^3, \quad \gamma = 1.3 - \text{для элемента таврового}$$

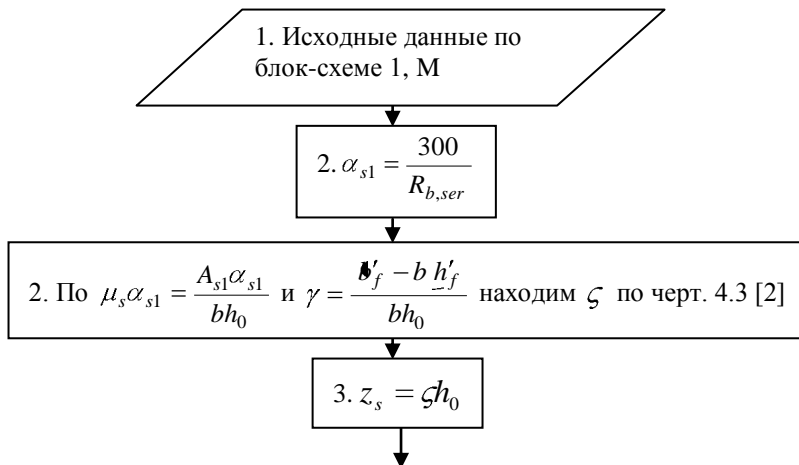
профиля.

$$11. M_{crc} = 0.135 \cdot 27357.4 = 3693.22 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

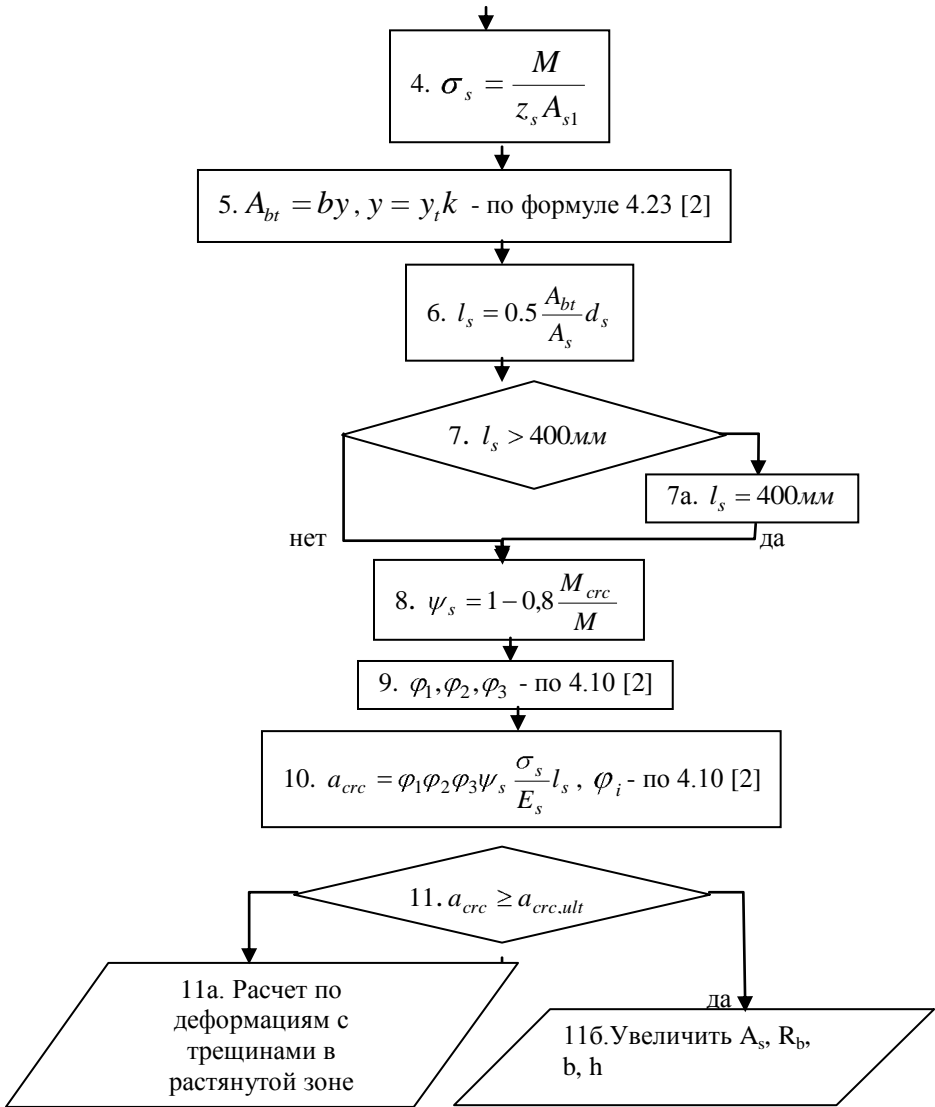
12.  $M_{crc} = 3693.22 \text{ кН} \cdot \text{см} < M = 10035 \text{ кН} \cdot \text{см}$  - трещины образуются, требуется расчет по раскрытию трещин.

➤ **Расчет по раскрытию трещин выполняется по следующей блок-схеме:**

Блок-схема 2







### Пример расчета 2.

Определить ширину продолжительного раскрытия трещин.

1. Исходные данные см. по примеру расчета 1.  $M = 85.3 \text{ кНм} = 8530 \text{ кНсм}$  - момент от нормативных постоянных и длительных нагрузок.

2.  $\alpha_{s1} = \frac{300}{15} = 20.$

$$3. \mu_s \alpha_{s1} = \frac{565 \cdot 20}{250 \cdot 560} = 0,081, \gamma = \frac{480 - 250 \cdot \frac{50}{100}}{250 \cdot 560} = 0,0821, \text{ по черт. 4.3 [2]}$$

находим  $\zeta = 0,88$

$$3. z_s = 0,88 \cdot 560 = 492,8 \text{ мм} = 49,28 \text{ см}.$$

$$4. \sigma_s = \frac{8530}{49,28 \cdot 5,65} = 30,63 \text{ кН / см}^2.$$

$$5. A_{bt} = 250 \cdot 252 = 63000 \text{ мм}^2, y = 280 \cdot 0,9 = 252 \text{ мм} - \text{ по формуле 4.23 [2].}$$

$$6. l_s = 0,5 \frac{63000}{565} 12 = 669 \text{ мм} > 400 \text{ мм}, l_s = 400 \text{ мм}.$$

$$8. \psi_s = 1 - 0,8 \frac{3693,22}{8530} = 0,654.$$

9.  $\varphi_1 = 1,4$ ;  $\varphi_2 = 0,5$  - для арматуры класса А400;  $\varphi_3 = 1$  - для изгибаемых элементов.

$$10. a_{crc1} = 1,4 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,654 \frac{30,63}{200000} 400 = 0,028 \text{ см} = 0,28 \text{ мм}.$$

11.  $d_{\underline{=}} = 0,3 \text{ мм}$  - из условия сохранности арматуры при продолжительном раскрытии.  $a_{crc} = a_{crc,1} = 0,28 \text{ мм} < a_{\underline{=}} = 0,3 \text{ мм}$  - ширина раскрытия трещин ниже допустимой.

### 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	Класс бетона	Класс арма- туры	As, мм <sup>2</sup>	A's мм <sup>2</sup>	M, кН*м
1	250	600	35	430	60	B25	A-300	226	226	135,0
2	200	500	20	-	-	B20	A-400	462	308	128,0
3	150	300	25	450	60	B35	A-300	308	-	56,4
4	180	400	30	-	-	B15	A-400	452	-	101,7
5	200	500	20	430	50	B25	A-300	616	-	89,0
6	180	400	25	-	-	B20	A-400	226	226	79,1
7	150	300	35	420	60	B35	A-300	308	226	48,8
8	150	300	20	-	-	B15	A-400	452	226	54,2
9	250	600	25	460	60	B25	A-300	616	308	152,5
10	200	500	30	-	-	B20	A-400	509	-	86,4
11	200	500	20	440	60	B35	A-300	308	452	133,9
12	180	400	25	-	-	B15	A-400	452	226	82,4
13	250	600	35	400	60	B25	A-300	763	-	160,6
14	150	300	20	-	-	B20	A-400	226	226	58,8
15	180	400	25	480	50	B35	A-300	308	-	83,5
16	250	600	30	-	-	B15	A-400	452	462	132,8
17	180	400	20	470	50	B25	A-300	616	308	82,0
18	200	500	25	-	-	B20	A-400	226	-	136,0
19	150	300	35	490	50	B35	A-300	308	308	50,5
20	250	600	20	-	-	B15	A-400	452	-	195,0
21	150	300	25	450	60	B25	A-300	402	-	45,7
22	180	400	30	-	-	B20	A-400	308	226	101,7
23	200	500	20	440	50	B35	A-300	452	-	85,5

**Примечание.**

- 1. Определять непродолжительную ширину раскрытия трещин.**
- 2. Значение изгибающего момента М в таблице приведено от нормативных нагрузок.**