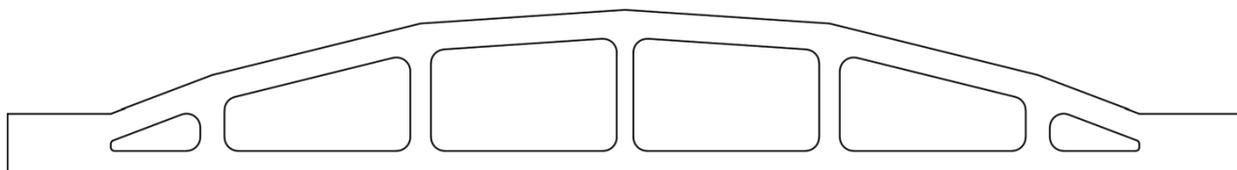


Ю. В. Сивоконь, В. Р. Касимов

# Расчет железобетонного центрально растянутого предварительно напряженного элемента

---

*Учебно-методическое пособие*



Нижний Новгород  
2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Ю. В. Сивоконь, В. Р. Касимов

## Расчет железобетонного центрально растянутого предварительно напряженного элемента

---

*Учебно-методическое пособие*

Нижний Новгород  
ННГАСУ  
2021

ББК 38.53

С 34

К 28

Рецензенты:

*А.К. Ломунов* – д-р физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории проблем прочности, динамики и ресурса НИИМ ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный ун-т им. Н. И. Лобачевского»

*А.Р. Столяров*. – канд. техн. наук, заместитель директора ООО «ИКЦ «Промтехбезопасность», директор Нижегородского филиала

Сивоконь Ю. В. Расчет железобетонного центрально растянутого предварительно напряженного элемента [Текст]: учеб. - метод. пос. / Ю. В. Сивоконь, В. Р. Касимов,; Нижегород. гос. архитектур. - строит. ун - т – Н. Новгород: ННГАСУ, 2021 – 16 с.

Приведен пример расчета предварительно напряженного центрально растянутого элемента в соответствии с действующими нормами. Даны варианты заданий для самостоятельной работы. Пособие написано на основании примера решения задачи, составленного И.В.Молевым

Предназначено студентам ННГАСУ, обучающимся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство для решения задач по дисциплине «Железобетонные конструкции».

Научный редактор – канд. техн. наук А. И. Колесов

## Оглавление

Задача Центрально-растянутый предварительно напряженный элемент .....	4
Решение:.....	4
1. Расчет по первой группе предельных состояний (расчет на прочность определение <i>Asp</i> .).....	4
2. Расчет по второй группе предельных состояний (расчет по трещиностойкости. определение <i>Ncrс</i> ) .....	5
Приложение 1 – размещение стержней или канатов в сечении предварительно напряженного центрально растянутого элемента при натяжении на упоры и числе их от 4 до 20 шт.....	11
Приложение 2. Сортамент арматурных канатов.....	13
Приложение 3. Сортамент арматуры .....	14
Приложение 4. Исходные данные для решения задач .....	15
Литература: .....	16

## Пример расчета центрально-растянутого предварительно напряженного элемента

Центрально растянутый предварительно напряженный элемент	пример
Дано: $N = 2270$ кН $N_n = 1930$ кН $N_{nl} = 1400$ кН Сечение элемента $b = 260$ мм $h = 320$ мм Арматура класса К1400 $\varnothing 15$ Класс бетона – самостоятельно по СП	Натяжение арматуры на упоры стенда механическим способом. Длина элемента 36 м. Предельно допустимую ширину раскрытия трещин принять из условия обеспечения сохранности арматуры. <b>Определить:</b> $A_{sp}$ , $N_{crc}$ , $a_{crc,l}$ , $a_{crc,sh}$ и выполнить эскиз поперечного сечения элемента
Дополнительно: Сдать до _____	Температурный перепад ____° $\Delta l =$ ____ мм

### Решение:

$N = 2270$  кН – это усилие от расчетной нагрузки (с  $\gamma_f > 1$ ), включает в себя длительную  $N_l$  и кратковременную  $N_p$  составляющую:

$$N = N_l + N_p.$$

$N_n = 1930$  кН – усилие от нормативной нагрузки (с  $\gamma_f = 1$ ), включает в себя длительную  $N_{nl}$  и кратковременную  $N_{np}$  составляющую

$$N_n = N_{nl} + N_{np}$$

$N_{nl} = 1400$  кН – усилие от длительной составляющей нормативной нагрузки (с  $\gamma_f = 1$ )

Сечение элемента 260×320 мм.

Арматура класса К1400  $\varnothing 15$ , класс бетона принять самостоятельно по СП.

Натяжение арматуры на упоры стенда механическим способом. Длина элемента 36 м.

Предельно допустимую ширину раскрытия трещин принять из условия обеспечения сохранности арматуры.

Определить  $A_{sp}$ ,  $N_{crc}$ ,  $a_{crc,l}$ ,  $a_{crc,sh}$  и выполнить эскиз поперечного сечения элемента.

### 1. Расчет по первой группе предельных состояний (расчет на прочность определение $A_{sp}$ .)

1.1 Площадь поперечного сечения одного каната по табл. приложения 2:

$$A_{sp} = 141,6 \text{ мм}^2.$$

Требуются только для канатов.

1.2 Нормативные сопротивления  $R_{sn}$  и расчетные сопротивления растяжению для предельных состояний второй группы по табл. 7 [2]:

$$R_{s,ser} = R_{s,n} = 1400 \text{ МПа.}$$

1.3 Расчетное сопротивление арматуры для предельного состояния первой группы по по табл. 8 [2]:

$$R_s = 1170 \text{ МПа.}$$

1.4 Модуль упругости арматуры по п. 2.2.5.6 [2]:

$$E_s = 1,8 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

1.5 Бетон выбираем по табл. 2.1 Пособия [8]:

Классы арматуры:	Минимальный класс бетона
A540	B20

Классы арматуры:	Минимальный класс бетона
A600	B30
A800	
A1000	
Bp1200	
Bp1300	
K1400	
K1500	B20
Bp1400	
Bp1500	

для арматуры класса K1400 больше B30, принимаем B35, характеристики по 2.1.2.2 [2].

1.6 Расчетные значения сопротивления бетона для предельных состояний второй группы по табл. 1 [2]:

$$R_{bt,ser} = R_{bt,n} = 1,95 \text{ МПа.}$$

1.7 Начальный модуль упругости бетона при сжатии бетона и растяжении табл. 4 [2]:

$$E_b = 34500 \text{ МПа.}$$

1.8 Определение требуемой площади арматуры:

$$A_{sp}^{тр} = \frac{N}{R_s} = \frac{2270}{1170 \cdot 10^3} \cdot 10^6 = 1940,17 \text{ мм}^2.$$

1.9 Количество канатов

$$n^{тр} = \frac{A_{sp}^{тр}}{A_{sp}} = \frac{1940,17}{141,6} = 13,7 \text{ шт.},$$

принимаем 14 Ø15 K1400 с  $A_{sp} = 14 \cdot 141,6 = 1982,4 \text{ мм}^2$ .

Вычисляется только для канатов. Стержневая арматура принимается по требуемой площади по сортаменту – определяют требуемый диаметр и количество стержней арматуры учитывая конструктивные требования (в данном случае минимальное количество стержней – 4 шт. см рекомендуемые сечения элементов)

1.10 Несущая способность

$$N_{ult} = R_s \cdot A_{sp} = 1170 \cdot 10^3 \cdot 1982 \cdot 10^{-6} = 2319,41 \text{ кН.}$$

## 2. Расчет по второй группе предельных состояний (расчет по трещиностойкости. определение $N_{crс}$ )

2.1 Задаемся величиной предварительного напряжения п. 2.2.3.1 [2].

СП 52-102-2004. Предварительно напряженные железобетонные конструкции [2].

2.2.3.1. Предварительные напряжения арматуры  $\sigma_{sp}$  принимают не более  $0,9R_{s,n}$  для горячекатаной и термомеханически упрочненной арматуры и не более  $0,8R_{s,n}$  для холоднодеформированной арматуры и арматурных канатов.

Таким образом:

Классы арматуры	Предварительное напряжение
Классы А,В - горячекатанная и термомеханически упрочненная	$\sigma_{sp} \leq 0,9R_{s,n}$
Класс К – холоднодеформированная арматура и арматурные канаты	$\sigma_{sp} \leq 0,8R_{s,n}$

$$\sigma_{sp} \leq 0,8 \cdot 1400 = 1120 \text{ МПа,}$$

принимаем кратно 50 МПа,  $\sigma_{sp} = 1100 \text{ МПа.}$

2.2 Площадь поперечного сечения:

$$A = b \cdot h = 260 \cdot 320 = 83200 \text{ мм}^2 = 0,0832 \text{ м}^2.$$

2.3 Коэффициент приведения (Неймана):

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{180000}{34500} = 5,22.$$

## 2.4 Определение первых потерь преднапряжения при $\gamma_{sp} = 1$ .

2.4.1 Потери от релаксации напряжений в арматуре

$$\Delta\sigma_{sp1} = \left(0,22 \cdot \frac{\sigma_{sp}}{R_{s,n}} - 0,1\right) \cdot \sigma_{sp} = \left(0,22 \cdot \frac{1\,100}{1\,400} - 0,1\right) \cdot 1\,100 = 80,14 \text{ МПа (п.2.2.3 (19) СП 52-102-2004. Предварительно напряженные железобетонные конструкции [2]).}$$

2.4.2 Потери от температурного перепада между арматурой и упорами:

$$\Delta\sigma_{sp2} = 1,25\Delta t = 1,25 \cdot 65^\circ = 81,25 \text{ МПа. (п.2.2.3 (21) СП 52-102-2004. Предварительно напряженные железобетонные конструкции [2]).}$$

2.4.3 Потери от деформации анкеров натяжных устройств (п.2.2.3 (23) СП 52-102-2004. Предварительно напряженные железобетонные конструкции [2]):

$$\Delta\sigma_{sp,4} = \frac{\Delta l}{l} E_s.$$

$\Delta l = 2$  мм (при отсутствии данных допускается принимать  $\Delta l = 2$  мм);  $l = 36 \text{ м} + 4 \text{ м} = 40000$  мм,  $l = 40 \text{ м} = 40000$  мм – длина натягиваемого каната

$$\Delta\sigma_{sp,4} = \frac{2}{40000} \cdot 180000 = 9 \text{ МПа.}$$

2.4.4 Первые потери (до передачи усилия натяжения на бетон):

$$\Delta\sigma_{sp(1)} = \Delta\sigma_{sp1} + \Delta\sigma_{sp2} + \Delta\sigma_{sp4} = 80,14 + 81,25 + 9 = 170,39 \text{ МПа.}$$

2.4.5 Предварительное напряжение с учетом первых потерь:

$$\Delta\sigma_{sp(1)} = \sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp(1)} = 1\,100 - 170,39 = 929,61 \text{ МПа.}$$

2.4.6 Усилие предварительного обжатия бетона с учетом первых потерь:

$$P_{(1)} = A_{sp} \cdot \sigma_{sp(1)} = 1\,982,4 \cdot 10^{-6} \cdot 929,61 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3} = 1842,85 \text{ кН.}$$

## 2.5 Определение вторых потерь преднапряжения (после передачи усилия обжатия на бетон) при $\gamma_{sp} = 1$ .

2.5.1 Потери от усадки бетона:

$$\Delta\sigma_{sp5} = \varepsilon_{b,sh} \cdot E_s,$$

$\varepsilon_{b,sh} = -0,0002$  для бетона класса В35 и ниже по п.2.2.3.7 [2].

$$\Delta\sigma_{sp5} = 0,0002 \cdot 180\,000 = 36 \text{ МПа.}$$

2.5.2 Потери от ползучести бетона.

Коэффициент ползучести  $\varphi_{b,crc} = 1,5$  приложение Е [1] (для относительной влажности воздуха окружающей среды выше 75 %, для влажности  $\varphi = 80\%$

Площадь приведенного сечения элемента:

$$A_{red} = A + \alpha A_{sp} = 83200 + 5,22 \cdot 1\,982,4 = 93543 \text{ мм}^2.$$

СП 52-102-2004. Предварительно напряженные железобетонные конструкции [2].

2.2.3.10. Предварительные напряжения в бетоне  $\sigma_{bp}$  при передаче усилия предварительного обжатия  $P_{(1)}$ , определяемого с учетом первых потерь, не должны превышать: если напряжения уменьшаются или не изменяются при действии внешних нагрузок -  $0,9R_{bp}$ ; если напряжения увеличиваются при действии внешних нагрузок -  $0,7R_{bp}$ .

Напряжения в бетоне  $\sigma_{bp}$  определяют по формуле

$$\sigma_{bp} = \frac{P_{(1)}}{A_{red}} \pm \frac{P_{(1)}e_{op,y}}{I_{red}} \pm \frac{M_y}{I_{red}}, \quad (30)$$

где  $P_{(1)}$  - усилие предварительного обжатия с учетом первых потерь;

$M$  - изгибающий момент от внешней нагрузки, действующей в стадии обжатия (собственный вес элемента);

$e_{op}$  - эксцентриситет усилия  $P_{(1)}$  относительно центра тяжести приведенного поперечного сечения элемента;

$y$  - расстояние от центра тяжести приведенного сечения до рассматриваемого волокна.

Сжимающее предварительное напряжение в бетоне:

$$\sigma_{bp} = \frac{P_{(1)}}{A_{red}} = \frac{1842,85 \cdot 10^{-3}}{93543 \cdot 10^{-6}} = 19,70 \text{ МПа.}$$

6.1.6 Для железобетонных конструкций следует применять класс бетона по прочности на сжатие не ниже В15.

Для предварительно напряженных железобетонных конструкций класс бетона по прочности на сжатие следует принимать в зависимости от вида и класса напрягаемой арматуры, но не ниже В20.

Передающую прочность бетона  $R_{bp}$  (прочность бетона к моменту его обжатия, контролируемая аналогично классу бетона по прочности на сжатие) следует назначать не менее 15 МПа и не менее 50% принятого класса бетона по прочности на сжатие.

Рекомендации по назначению передающей прочности бетона преднапряженных железобетонных конструкций НИИЖБ Госстроя СССР (действующий <https://www.normacs.ru/Doclist/doc/10A9H.html>) [3], [4]

Таблица 1. Минимально возможные уровни передающей прочности для проектирования преднапряженных конструкций

Класс (марка) бетона по прочности на сжатие	Уровень передающей прочности $R_{bp} / B$
В15 (М200)	Не ниже 0,7 от класса бетона
В20 (М250)	Не ниже 0,55 от класса бетона
В25 (М350)	
В30 (М400)	0,5, но не выше 0,65 от класса бетона
В35 (М450)	
В40 (М550) и более	0,5, но не выше 0,7 от класса бетона

$$R_{bp} = 35 \cdot 0.65 = 22,75 \text{ МПа} > 15 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{вр} = 19,7 \text{ МПа} > 0.7 \cdot R_{bp} = 0.7 \cdot 22,75 = 15,925 \text{ МПа}$$

В соответствии с п. 2.2.3.10. СП 52-102-2004 принимаем  $\sigma_{вр} = 15,925 \text{ МПа}$

Коэффициент армирования:

$$\mu_{spj} = \frac{A_{spj}}{A} = \frac{1982,4 \cdot 10^{-6}}{0.26 \cdot 0.32} = 0.0238$$

Здесь  $A_{spj}$  – площадь рассматриваемой группы стержней напряженной арматуры. Т.к. мы рассматриваем единственную группу стержней, то она равна площади подобранной арматуры  $A_{sp}$ .  $A$  – площадь поперечного сечения элемента.

$y_{sj}$  – расстояние между центрами тяжести сечения рассматриваемой группы стержней напрягаемой арматуры и приведенного поперечного сечения элемента. Т.к. поперечная арматура расположена симметрично относительно поперечного сечения элемента, то  $y_{sj} = 0$

и скобка:  $\left(1 + \frac{0^2 \cdot A_{red}}{J_{red}}\right) = 1$ .

Потери от ползучести бетона:

$$\Delta\sigma_{sp6} = \frac{0,8\alpha\varphi_{b,cr} \cdot \sigma_{вр}}{1 + \alpha\mu_{spj} \cdot \left(1 + \frac{y_{sj}^2 \cdot A_{red}}{J_{red}}\right) \cdot (1 + 0,8\varphi_{b,cr})} = \frac{0,8 \cdot 5,22 \cdot 1,5 \cdot 15,975}{1 + 5,2174 \cdot 0,0238 \cdot 1 \cdot (1 + 0,8 \cdot 1,5)}$$

$$= \frac{99,70}{1,273} = 78,29 \text{ МПа}$$

2.5.3 Вторые потери (после передачи усилия на бетон)

$$\Delta\sigma_{sp(2)} = \Delta\sigma_{sp5} + \Delta\sigma_{sp6} = 36 + 78,29 = 114,29 \text{ МПа.}$$

2.5.4. Полные потери

$$\Delta\sigma_{sp} = \Delta\sigma_{sp(1)} + \Delta\sigma_{sp(2)} = 170,39 + 114,29 = 284,68 \text{ МПа.}$$

2.5.5. Усилия обжатия с учетом полных потерь

$$P_{(2)} = A_{sp} \cdot (\sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp}) = 1982,4 \cdot (1100 - 284,68) \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 = 1616,28 \text{ кН.}$$

## 2.6. Усилие, соответствующее началу образования трещин

$$N_{crc} = R_{bt,ser} \cdot (A + 2\alpha A_{sp}) + P_{(2)} =$$

$$= 1,95 \cdot 10^3 \cdot (83200 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 5,22 \cdot 1982,4 \cdot 10^{-6}) + 1616,28 = 1818,86 \text{ кН} < N_n = 1930 \text{ кН.}$$

Трещины образуются и необходим расчет их раскрытия, где  $N_n$  – продольное растягивающее усилие от внешней нагрузки.

## 2.7. Расчет ширины раскрытия трещин.

Из условия  $a_{crc,l} \leq a_{crc,ult}^l$  (п. 4.2.1.3 [2]).

$$a_{crc,l} = a_{crc,1};$$

$$a_{crc,l} = 0,2 \text{ мм по п. 4.2.1.3 [2] для К1400 } \varnothing 15.$$

Приращение напряжений в растягиваемой арматуре от  $N_{n,l}$ :

$$\sigma_{s(1,3)} = \frac{N_{n,l} - P_{(2)}}{A_{sp}} = \frac{(1400 - 1616,28) \cdot 10^3}{1982,4} = -109,10 \text{ МПа}$$

Напряжение в момент образования трещин:

$$\sigma_{s,crc} = \frac{N_{crc} - P_{(2)}}{A_{sp}} = \frac{1782,06 - 1616,28}{1982,4} \cdot 10^3 = 102,19 \text{ МПа,}$$

так как приращение напряжений от длительно действующей нагрузки отрицательное

$$\sigma_{s(1,3)} = -109,10 \text{ МПа} < 0$$

то при данной нагрузке раскрытие трещин не происходит, т.е.  $a_{crc,1} = a_{crc,3} = 0$ .

$a_{crc,1}$  – ширина раскрытия трещин от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок  $N_n^l$ .

$a_{crc,2}$  – ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных (длительных и кратковременных нагрузок)  $N_n^{sh}$ .

$a_{crc,3}$  – ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок  $N_n^l$ .

Почему  $a_{crc1}$  и  $a_{crc3} = 0$ .

Ширина раскрытия трещин  $a_{crc_i}$  ( $i = 1,2,3$ ) считается по формуле 88 [2]:

$$a_{crc_i} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_3 \frac{\sigma_s}{E_s} l_s$$

Для  $a_{crc1}$   $\varphi_1 = 1,4$ .

Для  $a_{crc2}$   $\varphi_1 = 1$ .

Для  $a_{crc3}$   $\varphi_1 = 1$ .

$\varphi_2 = 0,5$  для канатной арматуры;  $\varphi_3 = 1,2$  для растянутых элементов.

$\sigma_s = -90,54 \text{ МПа}$  (сжатие  $\sigma_s = 0$ ) для  $a_{crc1}$  и  $a_{crc3} \Rightarrow a_{crc1} = a_{crc3} = 0$ .

По формуле (78) [2] при продолжительном раскрытии ширина раскрытия трещин не превышает допустимую  $a_{crc}^l = a_{crc1} = 0 < a_{crc,ult} = 0,2 \text{ мм}$  для К1400.

**Расчет непродолжительного (кратковременного раскрытия трещин)**

i	$\varphi_{1(i)}$	$\varphi_{2(i)}$	$\varphi_{3(i)}$	$\sigma_{s(i)}$ , МПа, вычислено	$\sigma_{s(i)}$ , МПа, принято	$\psi_{s(i)}$	$\sigma_{s,crc}$ , МПа
1	1.4	0.5	1.2	-109,10 - сжатие	0	$\psi_{s(1,3)}$ в данном случае вычисление не требуется т.к. вычисленное $\sigma_s = -109,10$ МПа $< 0$	102,19
2	1.0			158,25 - растяжение	158,25	0,4834	102,19
3	1.0			-109,10 - сжатие	0	$\psi_{s(1,3)}$ в данном случае вычисление не требуется т.к. вычисленное $\sigma_s = -109,10$ МПа $< 0$	102,19

Напряжение в продольной арматуре в нормальном сечении с трещиной (от нормативной нагрузки с учетом кратковременной составляющей:

$$\sigma_{s(2)} = \frac{N_{n,sh} - P_{(2)}}{A_{sp}} = \frac{1930 - 1616,28}{1982,4} \cdot 10^3 = 158,25 \text{ МПа.}$$

$$\psi_s = 1 - 0,8 \cdot \frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0,8 \cdot \frac{102,19}{158,25} = 0,4834.$$

Если  $\sigma_{s(i)} < 0$ , то соответствующий коэффициент  $\psi_{s(i)}$  вычислять не требуется т.к. ширина раскрытия трещин получается равной нулю – бетон сжат, и трещины не образуются.

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 0,5 \cdot \frac{A_{bt}}{A_{sp}} d_s = 0,5 \cdot \frac{83200}{1982,4} = 314,77 \text{ мм,}$$

где  $A_{bt} = A_b = 260 \cdot 320 = 83200 \text{ мм}^2$  – площадь растянутой зоны (все сечение растянуто);

$A_{sp}$  – площадь арматуры;

$d_s$  – диаметр стержней арматуры;

Проверка условий  $l_s < 40d_s$ ,  $l_s < 40\text{см}$ ;  $l_s > 10d_s$ ,  $l_s > 100\text{мм}$ :

$$l_s = 314,77 \text{ мм} < 40d_s = 40 \cdot 15 = 600 \text{ мм}$$

$$l_s = 314,77 \text{ мм} < 400 \text{ мм}$$

$$l_s = 314,77 \text{ мм} > 10d_s = 10 \cdot 15 = 150 \text{ мм}$$

$$l_s = 314,77 \text{ мм} > 100 \text{ мм}$$

Все условия выполняются, окончательно принимаем  $l_s = 314,77 \text{ мм}$

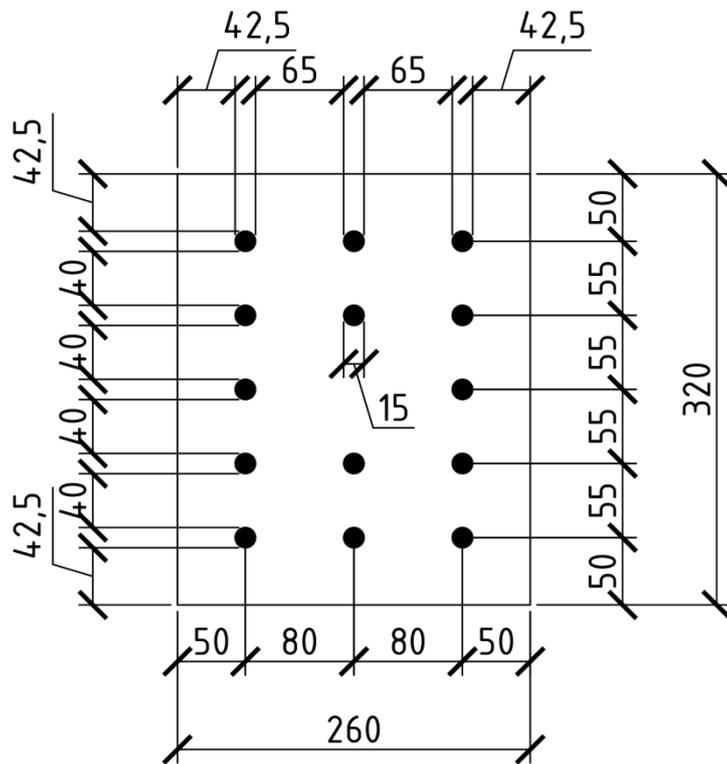
Принимаем

$$a_{crc,2} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 1 \cdot 0,5 \cdot 1,2 \cdot 0,4834 \cdot \frac{158,25}{180000} \cdot 314,77 = 0,08 \text{ мм.}$$

Согласно (79) [2]

$$a_{crc}^{sh} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0 + 0,08 - 0 = 0,08 < a_{crc,ult} = 0,3 \text{ мм (п. 4.2.1.3 [2]),}$$

следовательно, ширина раскрытия трещин не превышает допустимую.



Расположение арматуры в сечении

## Приложение 1 – размещение стержней или канатов в сечении предварительно напряженного центрально растянутого элемента при натяжении на упоры и числе их от 4 до 20 шт.

Защитный слой  $\delta$ :

СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 [1]

Таблица 10.1

Условия эксплуатации конструкций зданий	Толщина защитного слоя бетона, мм, не менее
В закрытых помещениях при нормальной и пониженной влажности	20
В закрытых помещениях при повышенной влажности (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий)	25
На открытом воздухе (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий)	30
В грунте (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий), в монолитных фундаментах при наличии бетонной подготовки	40
В монолитных фундаментах при отсутствии бетонной подготовки (только для нижней рабочей арматуры)	70

*10.3.3 Толщина защитного слоя бетона у концов предварительно напряженных элементов на длине зоны передачи напряжений (см. 9.1.12) должна составлять не менее 3 и не менее 40 мм - для стержневой арматуры, и не менее 20 мм - для арматурных канатов.*

*Допускается защитный слой бетона сечения у опоры для напрягаемой арматуры с анкерами и без них принимать таким же, как для сечения в пролете для предварительно напряженных элементов с сосредоточенной передачей опорных усилий при наличии стальной опорной детали и косвенной арматуры (сварных поперечных сеток или охватывающих продольную арматуру хомутов), установленных согласно 10.3.20.*

*10.3.4 В элементах с напрягаемой продольной арматурой, натягиваемой на бетон и располагаемой в каналах, расстояние от поверхности элемента до поверхности канала следует принимать не менее 40 мм и не менее ширины (диаметра) канала, а до боковых граней - не менее половины высоты (диаметра) канала. При расположении напрягаемой арматуры в пазах или снаружи сечения элемента толщину защитного слоя бетона, образуемого последующим торкретированием или иным способом, следует принимать не менее 20 мм.*

*10.3.5 Минимальные расстояния в свету между стержнями арматуры следует принимать такими, чтобы обеспечить совместную работу арматуры с бетоном и качественное изготовление конструкций, связанное с укладкой и уплотнением бетонной смеси, но не менее наибольшего диаметра стержня, а также не менее:*

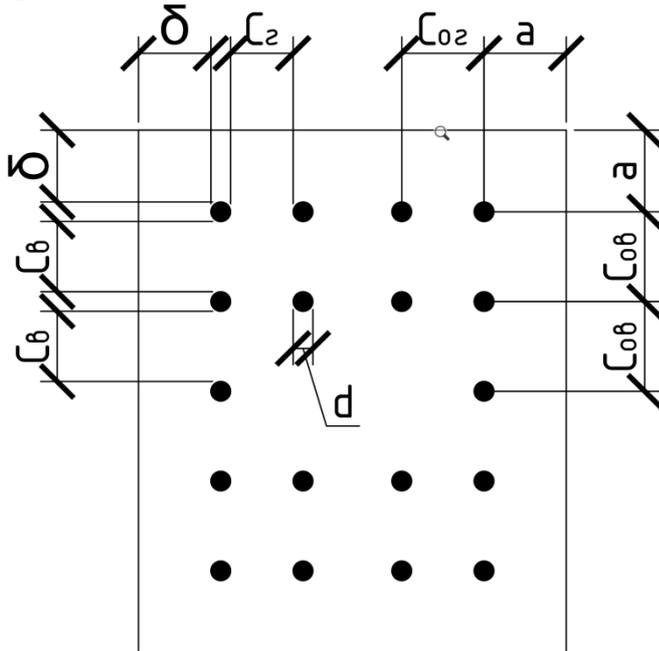
*25 мм - при горизонтальном или наклонном положении стержней при бетонировании - для нижней арматуры, расположенной в один или два ряда;*

**30 мм** - то же, для верхней арматуры;

**50 мм** - то же, при расположении нижней арматуры более чем в два ряда (кроме стержней двух нижних рядов), а также при вертикальном положении стержней при бетонировании.

При стесненных условиях допускается располагать стержни группами - пучками (без зазора между ними). При этом расстояния в свету между пучками должны быть также не менее приведенного диаметра стержня, эквивалентного по площади сечения пучка арматуры, принимаемого равным  $d_{s,red} = \sqrt{\sum_i^n d_{si}^2}$ , где  $d_{si}$  - диаметр одного стержня в пучке,  $n$  - число стержней в пучке.

Требования СП 63.13330:



$$\delta \geq \begin{cases} d \\ 20 \text{ мм} \end{cases} \quad \text{См. табл. 10.1}$$

$$c_{\text{б}} \geq \begin{cases} d \\ 30 \text{ мм} \end{cases} \quad \text{См. п. 10.3.5}$$

$$c_{\text{г}} \geq \begin{cases} d \\ 50 \text{ мм} \end{cases} \quad \text{См. п. 10.3.5}$$

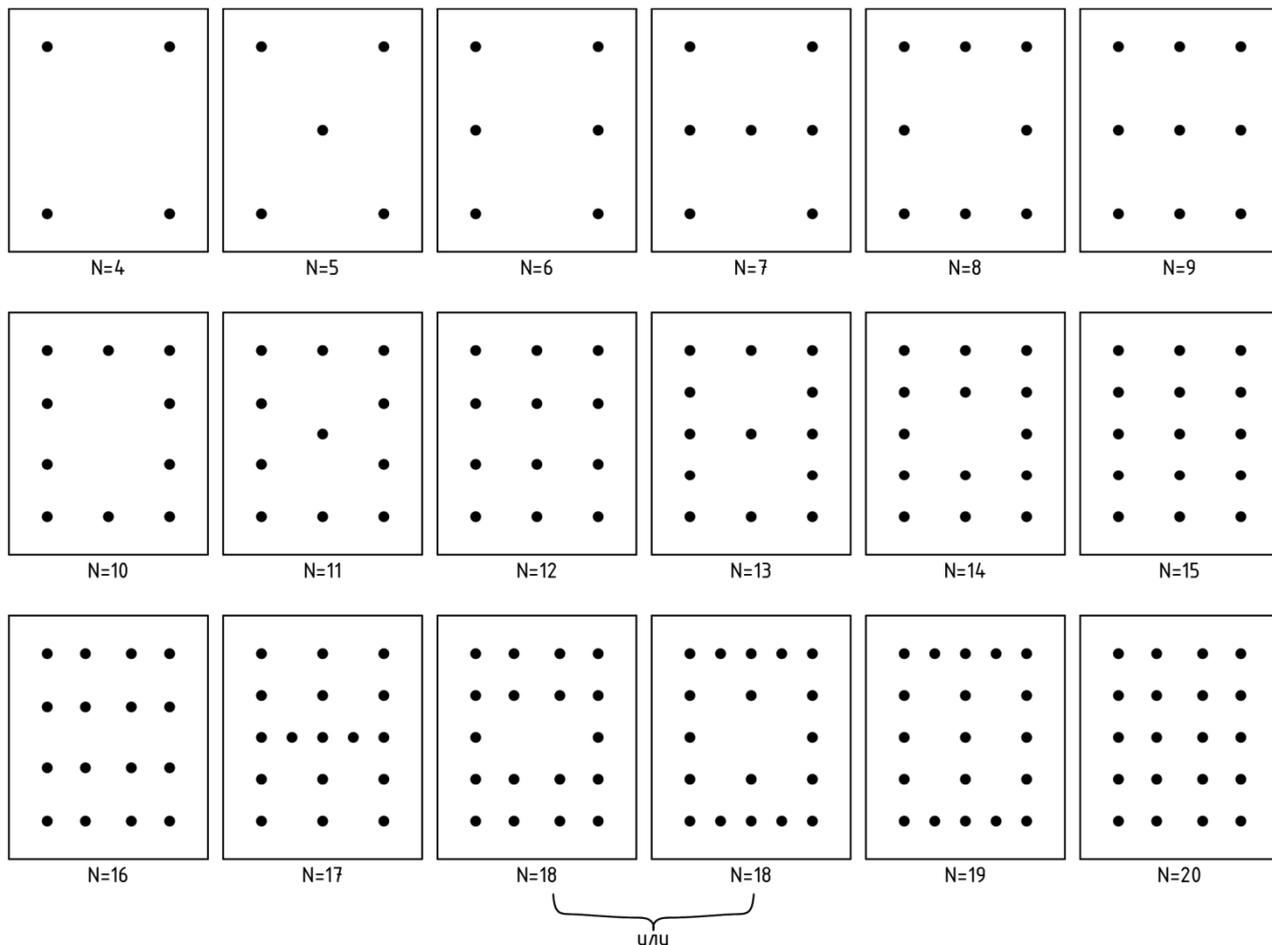
Рекомендуется принимать при конструировании сечения элемента:

$$a \geq 50 \text{ мм}$$

$$c_{\text{об}} \geq 50 \text{ мм}$$

$$c_{\text{ог}} \geq 65 \text{ мм}$$

Размещение стержней (канатов) в сечении предварительно напряженного центрально растянутого элемента при натяжении на упоры от 4 до 20 шт.



## Приложение 2. Сортамент арматурных канатов

ГОСТ 13840-68. Канаты стальные арматурные 1x7. Технические условия [5], Сортамент арматурных стержней по ГОСТ Тип: Арматурные канаты класса К-19 по ТУ 14-4-22-71 [7]

Класс каната	Условн. диаметр каната, мм	Диаметр про-волока, мм	Площадь попе-реч. сечения каната, см <sup>2</sup>	Масса, кг/м
К1500 (К-7)	6	2,05	0,230	0,184
К1500 (К-7)	9	3	0,530	0,419
К1500 (К-7)	12	4	0,930	0,736
К1400 (К-7)	15	5	1,390	1,099
К1500 (К-19)	14	2,8	1,287	1,020

### Приложение 3. Сортамент арматуры

номинальный диаметр d, мм	расчетная площадь, кв.мм при числе стержней										масса, кг/м	Диаметр арматуры по сортаменту ("+" )				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		A240, A300, A400	A540	A500, A600	A800, A1000	B500
3	7,1	14,1	21,2	28,3	35,3	42,4	49,5	56,5	63,6	70,7	0,055	-	-	-	-	+
4	12,6	25,1	37,7	50,3	62,8	75,4	88,0	100,5	113,1	125,7	0,099	-	-	-	-	+
5	19,6	39,3	58,9	78,5	98,2	117,8	137,4	157,1	176,7	196,3	0,154	-	-	-	-	+
6	28,3	57	85	113	141	170	198	226	254	283	0,222	+	-	-	-	+
8	50,3	101	151	201	251	302	352	402	452	503	0,395	+	-	-	-	+
10	78,5	157	236	314	393	471	550	628	707	785	0,617	+	-	+	-	+
12	113,1	226	339	452	565	679	792	905	1018	1131	0,888	+	-	+	+	+
14	153,9	308	462	616	770	924	1078	1232	1385	1539	1,208	+	-	+	+	-
16	201,1	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1810	2011	1,578	+	-	+	+	-
18	254,5	509	763	1018	1272	1527	1781	2036	2290	2545	1,998	+	-	+	+	-
20	314,2	628	942	1257	1571	1885	2199	2513	2827	3142	2,466	+	+	+	+	-
22	380,1	760	1140	1521	1901	2281	2661	3041	3421	3801	2,984	+	+	+	+	-
25	490,9	982	1473	1963	2454	2945	3436	3927	4418	4909	3,853	+	+	+	+	-
28	615,8	1232	1847	2463	3079	3695	4310	4926	5542	6158	4,834	+	+	+	+	-
32	804,2	1608	2413	3217	4021	4825	5630	6434	7238	8042	6,313	+	+	+	+	-
36	1017,9	2036	3054	4072	5089	6107	7125	8143	9161	10179	7,990	+	+	+	+	-
40	1256,6	2513	3770	5027	6283	7540	8796	10053	11310	12566	9,865	+	+	+	+	-

## Приложение 4. Исходные данные для решения задач

№	N, кН	N <sub>n</sub> , кН	N <sub>nl</sub> , кН	b, мм	h, мм	класс арм.	диаметр	L, м
1	2320	2130	2050	300	320	K1400	15	24
2	1370	1215	1160	250	250	A800		24
3	1980	1850	1760	300	320	A800		21
4	1480	1310	1200	250	250	A800		18
5	1910	1715	1650	280	320	A1000		24
6	2180	2010	1940	300	300	K1500	12	18
7	1950	1760	1680	280	280	K1500	12	18
8	2150	1990	1810	280	320	K1400	15	24
9	2280	2090	2000	350	350	K1400	15	24
10	1560	1440	1380	250	280	A1000		18
11	1812	1680	1600	280	280	K1500	12	18
12	2320	2130	2050	300	320	K1400	15	24
13	2370	2100	2050	350	350	K1400	15	24
14	2400	2100	2000	300	400	K1400	15	24
15	2250	2010	1890	400	400	A800		12
16	2280	1990	1900	350	350	A800		18
17	1970	1810	1700	300	300	A1000		18
18	2090	1880	1750	300	350	A1000		18
19	1900	1610	1500	350	350	K1500	12	18
20	1780	1620	1540	280	300	K1500	12	24
21	2180	1970	1900	300	350	K1500	12	24
22	2310	2000	1900	350	350	A1000		24
23	1860	1610	1520	300	300	A600		12
24	2450	2200	2050	360	360	K1400	15	15
25	2370	2100	2050	350	350	A1000		24
26	2400	2100	2000	300	400	A1000		24
27	2530	2250	2110	300	350	K1400	15	18
28	2150	1990	1810	250	320	K1400	15	24
29	2480	2220	2080	300	350	A1000		24
30	2380	1990	1900	300	300	A800		15

## Литература:

1. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с Изменением N 1)// Техэксперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/554403082/> (дата обращения: 24.01.2021).
2. СП 52-102-2004. Предварительно напряженные железобетонные конструкции// ИС КонсультантПлюс.
3. НИИЖБ Госстроя СССР Рекомендации по назначению передаточной прочности бетона преднапряженных железобетонных конструкций. - М.: 1986.
4. Рекомендации по назначению передаточной прочности бетона преднапряженных железобетонных конструкций // NormaCS система нормативов URL: <https://www.normacs.ru/Doclist/doc/10A9H.html> (дата обращения: 24.01.2021).
5. ГОСТ 13840-68. Канаты стальные арматурные 1х7. Технические условия (С Изменениями N 1, 2, 3) // Техэксперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-13840-68> (дата обращения: 24.01.2021).
6. ГОСТ 3063-80 Канат одинарной свивки типа ТК конструкции 1х19(1+6+12). Сортамент (с Изменениями N 1, 2) // Техэксперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200007621> (дата обращения: 24.01.2021).
7. Каталог: Сортамент арматурных стержней по ГОСТ Тип: Арматурные канаты класса К-19 по ТУ 14-4-22-71 // ИТР | Информационно технический ресурс | Технавигатор URL: <https://tehnavigator.ru/Tehdoc/metall/1.13.pdf> (дата обращения: 24.01.2021).
8. Пособие к СП 52-102-2004 Пособие по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелого бетона // ИС Консультант-Плюс.

Сивоконь Юлия Владимировна  
Касимов Вадим Равильевич

Расчет железобетонного центрально растянутого  
предварительно напряженного элемента

*Учебно-методическое пособие*

Подписано в печать 26.03.2021г. Формат 60х90 1/16. Бумага газетная. Печать трафаретная.  
Уч. изд. л. 0,8. Усл. печ. л.1,0. Тираж 300 экз. Заказ №

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.

Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65  
<http://www.nngasu.ru>, [srec@nngasu.ru](mailto:srec@nngasu.ru)