

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра «Мосты, транспортные тоннели и геодезия»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЛКИ ПРОЛЁТНОГО СТРОЕНИЯ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО МОСТА С ПРЕДНАПРЯЖЕННОЙ АРМАТУРОЙ**

по выполнению курсовой работы по курсу
«Инженерные сооружения в транспортном строительстве»
для студентов по направлению подготовки 270800.62
«Строительство», профиль «Автомобильные дороги».

Часть 2. Расчет предварительно-напряженных балок по 2-м группам
предельных состояний

Казань 2015

УДК 624.21.09

ББК 38я73

М14

**М14 ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЛКИ ПРОЛЁТНОГО СТРОЕНИЯ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО МОСТА С ПРЕДНАПРЯЖЕННОЙ АРМАТУРОЙ**

Методические указания по выполнению курсовой работы по курсу «Инженерные сооружения в транспортном строительстве» для студентов по направлению подготовки 270800.62 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги». Часть 2. Расчет предварительно-напряженных балок по 2-м группам предельных состояний / Сост. Г.П. Иванов. О.К. Петропавловских. – Казань: Изд-во Казанск. Гос. архитект.-строит. ун-та, 2015.- 31 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

В настоящих указаниях рассматриваются методика расчета и конструирования предварительно-напряженных железобетонных балок пролетных строений малых и средних мостов. Даны рекомендации по назначению геометрических размеров поперечных сечений балок и их размещению поперек моста. На примере рассмотрены вопросы армирования балок обычной и напрягаемой арматурой. Приведены способы сбора нагрузок и статические расчеты элементов Т-образных балок, объединенных по плите проезжей части. Рассмотрены вопросы расчета элементов балки по двум группам предельных состояний. Приведены необходимые справочные материалы, необходимые для выполнения расчетов.

Методические указания предназначены для использования в учебном процессе для студентов, обучающихся по профилю «Автомобильные дороги».

Табл. 3, рис. 12, библиогр. 5.

Рецензент: Начальник отдела АСО ООО «Акведук» **В.В. Станкевич**

УДК 624.21.09

ББК 38я

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2015 г.

© Иванов Г.П., Петропавловских О.К. 2015

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	4
1. Расчет предварительно- напряженных железобетонных балок по 2-м группам предельных состояний	4
1.1. Расчет прочности нормального сечения балки	5
1.2. Расчет прочности наклонного сечения балки	7
1.3. Проверка прочности сжатой полосы между наклонными трещинами	8
1.4. Расчет поперечного армирования балки	9
1.5. Определение геометрических характеристик приведённого сечения балки.	9
1.6. Определение потерь предварительного напряжения в арматуре	14
1.7. Расчет по образованию нормальных трещин	18
1.8. Расчёт балки по деформациям (прогибам)	20
Литература	22
Приложение 1	23
Приложение 2	29
Приложение 3	29
Приложение 4	30

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для студентов профиля подготовки «Автомобильные дороги» при выполнении курсовой работы по железобетонным мостам с предварительно напряженными пролетными строениями. В методических указаниях: «Проектирование балки пролетного строения железобетонного моста с преднапряженной арматурой». Часть 2. «Расчет предварительно-напряженных балок по 2-м группам предельных состояний» приведена методика расчета прочности и пригодности к нормальной эксплуатации Т-образных железобетонных бездиафрагменных предварительно-напряженных балок пролетных строений мостов в соответствии с требованиями СНиП 2.05.03-84* в рамках курсовой работы.

В процессе выполнения курсовой работы студенты знакомятся с конструкцией и основами расчета пролетных строений, выбирают проектируемую конструкцию, определяют усилия и производят расчеты балки по 2-м группам предельных состояний.

Даны рекомендации по расчёту и армированию элементов главной балки Т-образного поперечного сечения.

Для удобства работы студентов приведены необходимые справочные материалы о характеристиках бетона и арматуры, нагрузках и воздействиях, конструкции отдельных деталей предварительно напряженных балок, также формы таблиц для изготовления и расчета расхода арматуры, форма таблицы технико-экономических показателей (ТЭП) на конструкцию.

1. РАСЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПО 2-м ГРУППАМ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

Предварительно напряженные железобетонные балки пролетных строений применяются для перекрытия пролетов длиной $15 \div 42$ м. Пролетные строения komponуют из Т-образных балок с нижним уширением для размещения напряжённой арматуры. Количество балок поперек моста зависит от ширины моста.

Балки изготавливают на заводах сборного железобетона (ЖБК) и полигонах и транспортируют на место строительства моста по железной и автомобильной дорогам.

Пролетное строение состоит из двух крайних и промежуточных балок (рис.7). Крайние балки отличаются от промежуточных наличием односторонних выпусков арматуры из плиты проезжей части. Типовая

ширина плиты проезжей части крайних балок 174 и 194 см, промежуточных балок 140 и 180 см. Расстояние между осями балок поперек моста $170 \div 250$ см. Изменение расстояния между балками выполняется за счет различной ширины швов омоноличивания – 30-70 см (рис. 10).

1.1. Расчет прочности нормального сечения балки.

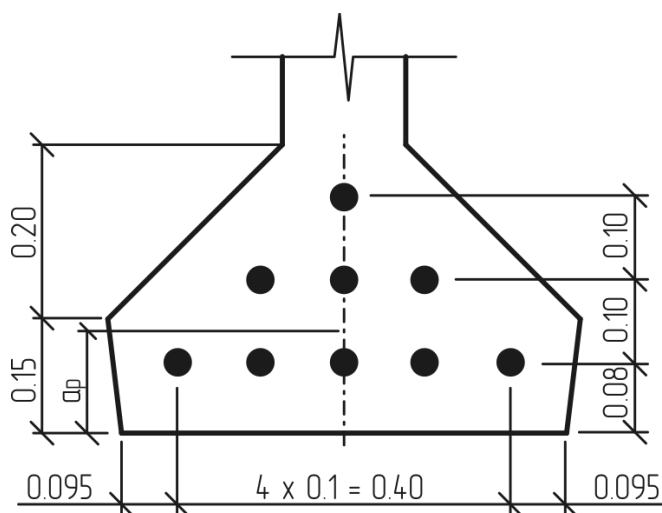


Рис.1. Армирование балки напрягаемой арматурой

Расчетный изгибающий момент в сечении 3 (середина пролета) (см. табл. 6 Методических указаний «Проектирование балки пролетного строения железобетонного моста с преднапряженной арматурой» Часть 1. Конструирование и статический расчет элементов Т-образных балок), [5]:

$$M_{\max}^1 = 4624 \text{ кН*м}$$

Принимаем 9 пучков напрягаемой арматуры класса В-II, диаметр проволоки 5 мм.

Положение центра тяжести напрягаемой арматуры:

$$a_p = \frac{5 \times 0.08 + 3 \times 0.18 + 1 \times 0.28}{9} = 0.136 \text{ м; (13,6 см)}$$

Рабочая высота сечения: $h_o = h - a_p = 1.23 - 0.136 = 1.094 \text{ м; (109,4 см)}$

Необходимую площадь напрягаемой арматуры определяем по формуле:

$$A_p = \frac{M_{\max}^1}{R_p \left(h_o - \frac{h_f^1}{2} \right)}$$

$R_p = 1055 \text{ МПа}$ – расчетное сопротивление на растяжение высокопрочной проволоки диаметром 5 мм класса В-II.

$$A_p = \frac{4624}{1055 \times 10^3 \left(1.094 - \frac{0.21}{2}\right)} = 44,32 \text{ см}^2$$

Количество проволок в каждом пучке:

$$n = \frac{44,32}{9 \times 0.196} = 25,1, \text{ (28 проволок, кратно 4)}$$

0,196 – площадь сечения одной проволоки в см^2 .

Действительная площадь напрягаемой арматуры:

$$A_p = 9 \times 28 \times 0.196 = 49,39 (\text{см}^2)$$

Сечение 2:

$$A_p = \frac{M_{\max}}{R_p \left(h_0 - \frac{h_f}{2}\right)} = \frac{3494}{1055 \times 10^3 \left(1.094 - \frac{0.21}{2}\right)} = 33,49 \text{ см}^2$$

Количество пучков в сечении 2:

$$n = \frac{33,49}{28 \times 0.196} = 6,1 \text{ (6 пучков)}$$

Сечение 1:

$$A_p = \frac{M_{\max}}{R_p \left(h_0 - \frac{h_f}{2}\right)} = \frac{1112}{1055 \times 10^3 \left(1.094 - \frac{0.21}{2}\right)} = 10,73 \text{ см}^2$$

Количество пучков в сечении 1:

$$n = \frac{10,73}{28 \times 0.196} = 1,96 \text{ (2 пучка).}$$

Проверка:

Определяем границу сжатой зоны сечения:

$$A_p R_p = 49,39 \times 10^{-4} \times 1055 \times 10^3 = 5210,64 \text{ кН}$$

$$b_f' h_f' R_b = 2.47 \times 0.21 \times 17.5 \times 10^3 = 9077.3 \text{ кН}$$

$$h_f' > x$$

$$x = \frac{A_p R_p}{b_f' R_b} = \frac{5210,64}{2.47 \times 17.5 \times 10^3} = 12,05 \text{ см}$$

$$h_f' = 21 > x = 12,05 \text{ см}$$

Условие прочности:

$$M_{\max} \leq R_b b_f' X \left(h_0 - \frac{X}{2} \right)$$

$$17.5 \times 10^3 \times 2.47 \times 0.1205 \times \left(1.094 - \frac{0.1205}{2} \right) = 5384,4 \text{ кН}$$

4624 < 5384,4. Условие прочности выполняется.

1.2. Расчет прочности наклонного сечения балки.

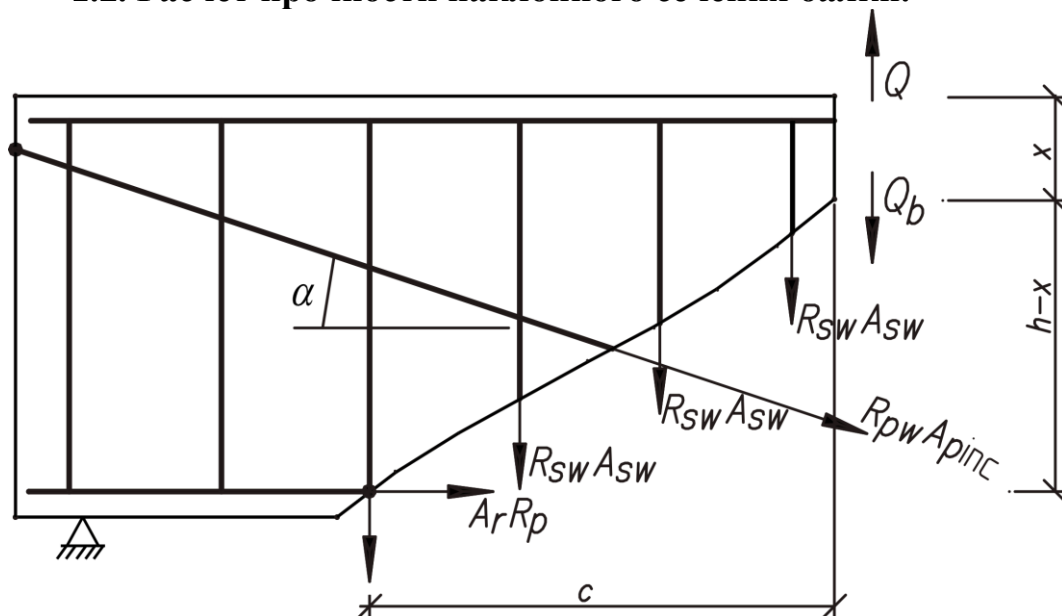


Рис. 2. Расчётная схема.

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} + Q_{sw,inc}$$

$$Q_{sw} = m_{04} \sum R_{sw} A_{sw} - \text{усилие воспринимаемое хомутами};$$

$m_{04} = 0.80$ - коэффициент условия работы для стержневой арматуры;

$m_{04} = 0.70$ - для напрягаемых пучков;

$Q_{sw,inc}$ - усилие воспринимаемое отогнутой арматурой;

$$Q_{sw,inc} = m_{04} \sum R_{pw} A_{pi} \sin \alpha;$$

C - длина проекции наклонного сечения (не менее h_0 и не более $2h_0$).

$$x = \frac{2 \cdot 24 \cdot 0.196 \cdot 10^{-4} \cdot 1055 \cdot 10^3}{2.47 \cdot 17.5 \cdot 10^3} = 0.023 \text{ м; (2,3 см);}$$

$$h_0 - x = 1.094 - 0.023 = 1.071 \text{ м; (107,1 см);}$$

$$C = \frac{h_0 - x}{tg 30^\circ} = \frac{1.071}{0.58} = 1.85 \leq 2h_0 = 2.19 \text{ м}; \quad (219 \text{ см});$$

$$Q_{sw} = m_{04} \cdot q_{sw} \cdot c; \quad q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{S};$$

Q_b – поперечное усилие, воспринимаемое бетоном сжатой зоны сечения:

$$Q_b = \frac{2R_{bt}bh_o^2}{c} \leq mR_{bt}bh_o;$$

m – коэффициент условия работы, $m = 1.30$.

1.3. Проверка прочности сжатой полосы между наклонными трещинами

$$Q \leq 0.3 \times \varphi_{\omega 1} \times \varphi_{b1} \times R_b \times b \times h_o$$

$Q = 643.4$ кН – максимальная поперечная сила в сечении 1 (см. табл. 6 методических указаний «Проектирование балки пролетного строения железобетонного моста с преднапряженной арматурой» Часть 1. Конструирование и статический расчет элементов Т-образных балок мостовых сооружений) [5].

$$\varphi_{\omega 1} = 1 + 5 \frac{E_s}{E_b} \frac{A_{sw}}{bS_w};$$

$E_s = 2.06 \times 10^5$ – модуль упругости стали А-ІІ;

$E_b = 34.5 \times 10^3$ – модуль упругости бетона класса В35;

$b = 0.26$ м – ширина ребра (стенки) на опоре;

$S_w = 0.15$ м – расстояние между хомутами, что меньше 0.41 м;

$S_w \leq H/3 = 1.23/3 = 0.41$ м;

A_{sw} – площадь сечения ветвей хомутов, расположенных в одной плоскости. Задаемся диаметром хомутов 10 мм.

$$A_{sw} = 4 \times 0.785 = 3.14 \times 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$\varphi_{\omega 1} = 1 + 5 \frac{2.06 \times 10^5}{34.5 \times 10^3} \times \frac{3.14 \times 10^{-4}}{0.26 \times 0.02} = 2.80;$$

$$\varphi_{b1} = 1 - 0.01R_b = 1 - 0.01 \times 17.5 = 0.82;$$

$$0.3 \times 2.80 \times 0.82 \times 17.5 \times 10^3 \times 0.26 \times 1.094 = 3428.64 \text{ кН}$$

$3428 > 643.4$ – условие прочности выполняется.

1.4. Расчет поперечного армирования балки

$$Q_b = \frac{2 \times 1.15 \times 10^3 \times 0.26 \times 1.094^2}{1.85} = 386.9 \text{ кН}$$

$$1,30 \times 1,15 \times 103 \times 0,26 \times 1,094 = 425 > 387 \text{ кН}; \quad Q_b = 387 \text{ кН} < Q = 713,3 \text{ кН}$$

$Q_{sw} = m_{04} \cdot q_{sw} \cdot c$ – усилие, воспринимаемое поперечной арматурой;

$$q_{sw} = \frac{m_{04} \cdot R_s \cdot A_{sw}}{S} = \frac{212 \cdot (100) \cdot 4 \cdot 0.785}{20} = 3.33 \text{ т/м} ;$$

Принимаем наименьшее значение "с": $c = h_0 = 109,4 \text{ см};$

$$Q_{sw} = 3,33 \cdot 109,4 = 364,3 \text{ кН};$$

$$Q_b + Q_{sw} = 387 + 364,3 = 751,3 \text{ кН, что больше } Q = 713,3 \text{ кН.}$$

Прочность наклонного сечения обеспечивается без устройства отгибов.

1.5. Определение геометрических характеристик приведённого сечения балки

Геометрические характеристики вычисляют с учетом стадийности работы балок.

Балки с натяжением до бетонирования (стендового изготовления) работают в одну стадию.

Балки с натяжением на бетон работают в две стадии: 1-ая – балка работает при ослаблении сечения каналами (стадия изготовления); 2-ая – балка работает с приведенной площадью сечения (стадия эксплуатации).

Балка с натяжением на упоры (стендовое изготовление).

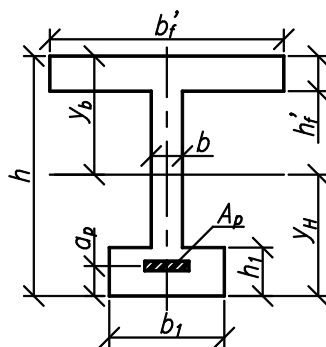


Рис. 3. Параметры приведенного сечения

Середина пролета:

$$b_f' = 2.47 \text{ м}; \quad h_f' = 0.21 \text{ м}; \quad h = 1.23 \text{ м};$$

$$b = 0.16 \text{ м};$$

$$b_1 = 0.59 \text{ м}; h_1 = 0.26 \text{ м}; a_p = 0.136 \text{ м}.$$

Площадь приведенного сечения:

$$A_{red} = (b'_f - b)h'_f + bh + (b_1 - b)h_1 + \frac{E_p}{E_b} A_p;$$

$$A_{red} = (2.47 - 0.16) \cdot 0.21 + 1.23 \cdot 0.16 + (0.59 - 0.16) \cdot 0.26 + \frac{1.77 \cdot 10^5}{34.5 \cdot 10^3} \times \\ \times 44,32 \cdot 10^{-4} = 0.485 + 0.197 + 0.112 + 0.025 = 0.819 \text{ м}^2$$

Статический момент сечения относительно нижней растянутой грани сечения балки:

$$S_x = \frac{bh^2}{2} + (b'_f - b)h'_f \left(h - \frac{h'_f}{2}\right) + \frac{(b_1 - b)h_1^2}{2} + \frac{E_p}{E_b} A_p a_p = \\ = 0.016 + 0.546 + 0.015 + 0.003 = 0.58 \text{ м}^3$$

Расстояние от низа балки до центра тяжести сечения:

$$y_H = \frac{S_x}{A_{red}} = \frac{0.58}{0.816} = 0.71 \text{ м};$$

$$y_b = h - y_H = 1.23 - 0.71 = 0.52 \text{ м};$$

Момент инерции приведенного сечения относительно оси проходящей через центр тяжести сечения:

$$J_{red} = \frac{b \cdot y_H^3}{3} + \frac{b \cdot y_b^3}{3} + \frac{(b'_f - b)h_f'^3}{12} + (b'_f - b)h'_f \left(y_b - \frac{h'_f}{2}\right)^2 + \frac{(b_1 - b)h_1^3}{12} + \\ + (b_1 - b)h_1 \left(y_H - \frac{h_1}{2}\right)^2 + \frac{E_p}{E_b} A_p (y_H - a_p)^2;$$

$$J_{red} = \frac{0.16 \cdot 0.71^3}{3} + \frac{0.16 \cdot 0.52^3}{3} + \frac{(2.47 - 0.16) \cdot 0.21^3}{12} + \frac{(0.59 - 0.16) \cdot 0.26^3}{12} + \\ + (2.47 - 0.16) \cdot 0.21 \left(0.52 - \frac{0.21}{2}\right)^2 + (0.59 - 0.16) \cdot 0.26 \left(0.71 - \frac{0.26}{2}\right)^2 + \\ + \frac{1.77 \cdot 10^5}{34.5 \cdot 10^3} 42.34 \cdot 10^{-4} \cdot (0.71 - 0.136)^2 = 157.31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4$$

Сечение на расстоянии $h = 1.50$ от опорного сечения.

$$\dot{A}_{\delta} = 2 \cdot 28 \cdot 0.196 \cdot 10^{-4} = 10,98 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$\dot{a}_{\delta} = 0.18 \text{ м}; b = 0.26 \text{ м}$$

$$\begin{aligned} \dot{A}_{red} &= (2.47 - 0.26) \cdot 0.21 + 1.23 \cdot 0.26 + \\ &+ (0.59 - 0.26) \cdot 0.26 + \frac{1.77 \cdot 10^5}{34.5 \cdot 10^3} \cdot 10,98 \cdot 10^{-4} = \\ &= 0.464 + 0.320 + 0.086 + 0.005 = 0.875 \text{ м}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_x &= \frac{0.26 \cdot 1.23^2}{2} + (2.47 - 0.26) \cdot 0.21 \cdot \left(1.23 - \frac{0.21}{2}\right) + \frac{(0.59 - 0.26) \cdot 0.26^2}{2} + \\ &+ 10,98 \cdot 10^{-4} \cdot 0.18 \cdot \frac{1.77 \cdot 10^5}{34.5 \cdot 10^3} = 0.731 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

$$y_n = \frac{0.731}{0.875} = 0.84 \text{ м}; \quad y_b = 1.23 - 0.84 = 0.39 \text{ м}.$$

$$\begin{aligned} J_{red} &= \frac{0.26 \cdot 0.84^3}{3} + \frac{0.26 + 0.39^3}{3} + \frac{(2.47 - 0.26) \cdot 0.21^3}{12} + \\ &+ (2.47 - 0.26) \cdot 0.21 \cdot \left(0.39 - \frac{0.21}{2}\right)^2 + \\ &+ \frac{(0.59 - 0.26) \cdot 0.26^3}{12} + (0.59 - 0.26) \cdot 0.26 \cdot \left(0.84 - \frac{0.26}{2}\right)^2 + \\ &+ \frac{1.77 \cdot 10^5}{34.5 \cdot 10^3} \cdot 10,98 \cdot 10^{-4} \cdot (0.84 - 0.18)^2 = 141.81 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4 \end{aligned}$$

Балка с натяжением на бетон (вариант)

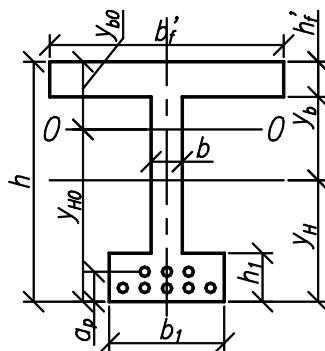


Рис. 4. Параметры приведенного сечения

Середина пролета:

1. Стадия работы №1.

Площадь сечения ослабленного каналами:

$$A_o = (b'_f - b)h'_f + bh + (b_1 - b)h_1 - A_k$$

A_k – площадь сечения каналов.

Статистический момент относительно низа балки:

$$S_o = (b'_f - b)h'_f \left(h - \frac{h'_f}{2}\right) + \frac{bh^2}{2} + \frac{(b_1 - b)h_1^2}{2} - A_k a_p ;$$

Расстояние от низа балки до центра тяжести ослабленного сечения:

$$y_{но} = \frac{S_o}{A_o} \quad y_{bo} = h - y_{но}$$

Момент инерции приведенного сечения ослабленного каналами:

$$J_o = \frac{by_{но}^3}{3} + \frac{by_{bo}^3}{3} + \frac{(b'_f - b)h_f^3}{12} + (b'_f - b)h'_f \left(y_{bo} - \frac{h'_f}{2}\right)^2 + \\ + \frac{(b_1 - b)h_1^3}{12} + (b_1 - b)h_1 \left(y_{но} - \frac{h_1}{2}\right) - A_k (y_{но} - a_p)^2$$

2. Стадия работы №2.

Площадь приведенного сечения:

$$A_{red} = A_o + \frac{E_p}{E_b} A_p ;$$

Статический момент сечения относительно оси 0-0:

$$S_o = \frac{E_p}{E_b} A_o (y_{но} - a_p) ;$$

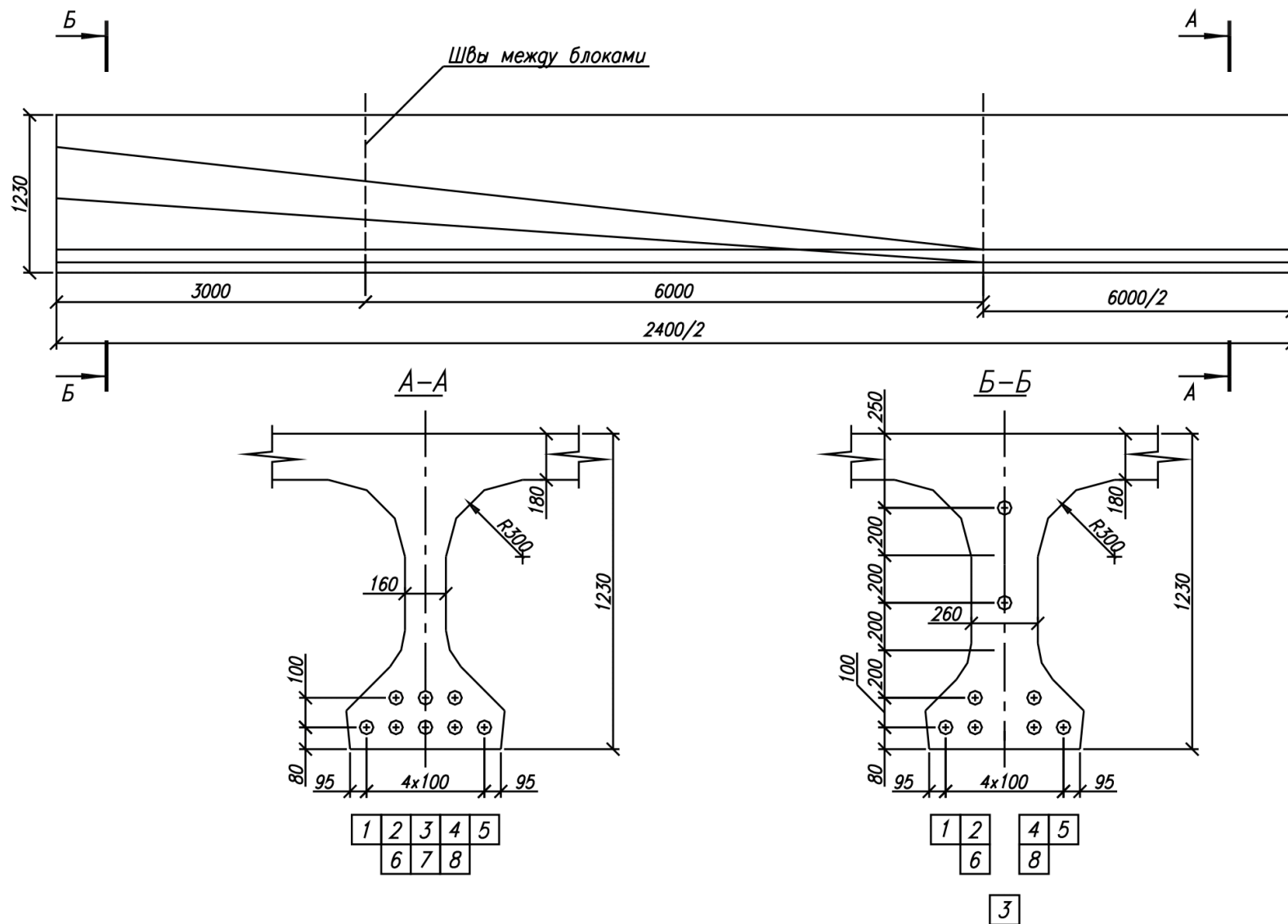


Рис. 5. Схема армирования напрягаемой арматурой (натяжение на бетон)

Расстояние от оси 0-0 до оси 1-1 приведенного сечения:

$$C = \frac{S_o}{A_{red}};$$

Расстояние от низа и верха балки до оси 1-1:

$$y_H = y_{HO} - c \quad y_b = y_{bo} + c;$$

Момент инерции приведенного сечения:

$$J_{red} = \frac{by_H^3}{3} + \frac{by_b^3}{3} + \frac{(b'_f - b)h_f'^3}{12} + (b'_f - b)h'_f \left(y_b - \frac{h'_f}{2}\right)^2 + \\ + \frac{(b_1 - b)h_1^3}{12} + (b_1 - b)h_1 \left(y_H - \frac{h_1}{2}\right)^2 + \frac{E_p}{E_b} A (y_H - a_p)^2$$

1.6. Определение потерь предварительного напряжения в арматуре

Напряжение в элементах предварительно напряженных конструкций следует принимать по контролируемому усилию за вычетом:

первых потерь – на стадии обжатия бетона,

первых и вторых – на стадии эксплуатации.

Первые потери: а) в конструкциях с натяжением на упоры: от деформации анкеров, трения арматуры об огибающие устройства, 50% потерь от релаксации напряжений в арматуре, от температурного перепада, от быстронатекающей ползучести, от деформации форм.

б) в конструкциях с натяжением на бетон – от деформации анкеров, трения арматуры о стенки канала, 50% потерь от релаксации напряжений в арматуре.

Вторые потери: а) натяжение на упоры – от усадки и ползучести бетона, 50% потерь от релаксации напряжений в арматуре.

б) натяжение на бетон – от усадки и ползучести, 50% потерь от релаксации арматуры, от деформации швов между блоками в составных по длине конструкциях.

Суммарное значение первых и вторых потерь должно быть не менее 100 МПа.

Вычисление потерь предварительного напряжения арматуры:

Натяжение на упоры	Натяжение на бетон
1. Потери от релаксации напряжений в арматуре:	
$\sigma_1 = (0.22 \frac{\sigma_p}{R_{pn}} - 0.1) \sigma_p ;$ $\sigma_p - \text{контролируемое напряжение.}$ $L = 12.0 \text{ м} \quad \sigma_p = 940 \text{ МПа}$ $L = 33.0 \text{ м} \quad \sigma = 1060 \text{ МПа} - \text{для пучков}$ $L = 12.0 \text{ м} \quad \sigma_p = 870 \text{ МПа}$ $L = 21.0 \text{ м} \quad \sigma_p = 990 \text{ МПа} - \text{для канатов К 7}$ $L = 24.0 \text{ м} \quad \sigma_p = 1008 \text{ МПа}$ $R_{pn} = 1335 \text{ МПа} - \text{нормативное сопротивление растяжению (табл.П4, прил.3).}$ $\sigma_1 = (0.22 \frac{1008}{1335} - 0.1) 1008 = 0.066 \cdot 1008 = 66.53 \text{ МПа}$	
2. Потери от температурного перепада:	
$\sigma_2 = 0$	$\sigma_2 = 0$
3. Потери от деформации анкеров	
$\sigma_3 = \frac{\Delta L}{L} E_p$ $\Delta L = 2 \text{ мм на каждый анкер}$ $E = 1.77 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ $\sigma_3 = \frac{2 \cdot 0.002}{24.0} 1.77 \cdot 10^5 = 29.48 \text{ МПа}$	$\sigma_3 = \frac{\Delta L_1 + \Delta L_2}{L} E_p$ $\Delta L_1 = 2 \text{ мм на каждый анкер}$ $\Delta L_2 = 2 \text{ мм на каждый анкер пучков}$ $\Delta L_2 = 8 \text{ мм для К-7}$ $\sigma_3 = \frac{2 \cdot 2 + 2 \cdot 2}{24000} 1.77 \cdot 10^5 = 58.97 \text{ МПа}$
4. Трения о стенки канала	
$\sigma_4 = 0$	$\sigma_4 = \sigma_p (1 - \frac{1}{e^{\omega x + \delta \theta}})$ $\sigma_p = 1008 \text{ МПа}$ $e = 2.72 \text{ основание натурального логарифма;}$ $\omega = 0.005; \quad \delta = 0.55$ $x - \text{длина участка от натяженного устройства до расчетного сечения}$

	6 м; θ – суммарный угол поворота оси
Натяжение на упоры	Натяжение на бетон
5. От деформации стальных форм	
$\sigma_5 = 30 \text{ МПа}$	$\sigma_5 = 0$
6. Быстронатекающая ползучесть	
$\sigma_6 = 40 \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}$ при интенсивном твердении бетона: $\frac{\alpha_{bp}}{R_{bp}} \leq 0.8$ $\sigma_6 = 32 + 94 \left(\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} - 0.8 \right) \text{ при } \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} > 0.8$ $R_{bp} = 0.8 \cdot 35 = 28 \text{ МПа}$ σ_{bp} - напряжение на уровне центра тяжести продольной арматуры с учетом потерь $\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_6 = 0$
$\sigma_{bp} = -\frac{A_p(\sigma_p - \sum \sigma_{noT})}{A_{red}} - \frac{A_p(\sigma_p - \sum \sigma_{noT})e}{J_{red}}(y_n - a_p) + \frac{M_b^H}{J_{red}}(y_i - a_p) =$ $= -\frac{44,32 \cdot 10^{-4}(1008 - 126)}{0.816} - \frac{44,32 \cdot 10^{-4}(1008 - 126) \cdot 0.57 \cdot 0.57}{157.3 \cdot 10^{-3}} +$ $+ \frac{0.79 \cdot 31,85 \cdot 68.44}{157.3 \cdot 10^{-3}} \cdot 0.57 = -4,79 - 8,07 + 1,15 = -11,71 \text{ МПа}$ $\sigma_{noT} = 66.53 + 29.48 + 30 = 126 \text{ МПа}; \quad y_n = 0.71; \quad a_p = 0.14$	
$\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = \frac{11,71}{28} = 0,42 < 0.8; \quad \sigma_6 = 40 \cdot 0,42 = 16,8 \text{ МПа}$ Для бетонов подвергнутых тепловой обработке: $\sigma_6 = 16,8 \cdot 0.85 = 14,28 \text{ МПа}$	
Натяжение на упоры	Натяжение на бетон
7. Усадка бетона при натяжении (в зависимости от класса бетона)	
$\sigma_7 = 35 \text{ МПа}$	$\sigma_7 = 30 \text{ МПа}$
8. Ползучесть бетона	

$\sigma_8 = 150\alpha \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \text{ при } \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \leq 0.75$ $\sigma_8 = 300\alpha \left(\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} - 0.375 \right) \text{ при } \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} > 0.75$ $\alpha = 0.85$ $\sum \sigma_{noT} = 126 + 14,28 = 140,28 \text{ МПа}$	
$\sigma_{bp} = -\frac{44,32 \cdot 10^{-4} (1008 - 140,28)}{0.816} - \frac{44,32 \cdot 10^{-4} (1008 - 140,28) \cdot 0.57^2}{157.3 \cdot 10^{-3}} + 1,15 =$ $= -4,71 - 7.94 + 1,15 = -11,5 \text{ МПа}$ $\sigma_{bp} = -11,5 \text{ МПа} \quad \sigma_8 = 150 \cdot 0.85 \cdot 0.41 = 58,28 \text{ МПа} \quad \frac{11,5}{28} = 0.41 < 0.75$	

$$\sigma_9 = 0; \quad \sigma_{10} = 0$$

Балки с натяжением на упоры (стендовое изготовление):

первые потери $\sigma_{noT,1} = 0.5\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5 + \sigma_6;$

вторые потери $\sigma_{noT,2} = 0.5\sigma_1 + \sigma_7 + \sigma_8.$

Балки с натяжением на бетон:

первые потери $\sigma_{noT,1} = 0.5\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3;$

вторые потери $\sigma_{noT,2} = 0.5\sigma_1 + \sigma_7 + \sigma_8 + \sigma_{10}.$

$$\sigma_{no\partial,1} = 0.5 \cdot 66.53 + 29.48 + 30 + 14,28 = 107,03 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{no\partial,2} = 0.5 \cdot 66.53 + 35 + 52,28 = 120,5 \text{ МПа}$$

Тогда потери в арматуре при натяжении на упоры составят:

$$\sigma_{no\partial} = \sigma_{no\partial,1} + \sigma_{no\partial,2} = 227,6 \text{ МПа}$$

1.7. Расчет по образованию нормальных трещин.

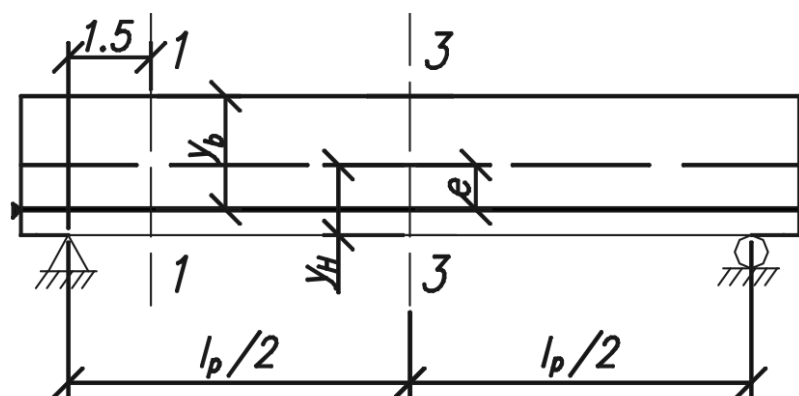


Рис. 6. Расчетные параметры обжатия балки

Расчеты по второй группе предельных состояний выполняют на нормативные

нагрузки: $\gamma_f = 1.0$;

$1 + \mu = 1.0$.

При этом рассматривается только первая схема загрузки временной нагрузкой АК поперек моста.

На стадии эксплуатации в середине пролета в нижней зоне балки должны соблюдаться условия:

Натяжение на упоры:

$$-\frac{N_H}{A_{red}} - \frac{N_H e}{J_{red}} y_H + \frac{M_{max}^{11}}{J_{red}} y_H \leq 1.4 R_{bt,ser}$$

При отсутствии на мосту временной нагрузки:

$$-\frac{N_H}{A_{red}} - \frac{N_H e}{J_{red}} y_H + \frac{M_g^{11}}{J_{red}} y_H \geq 0.1 R_b \text{ или } 1.6 \text{ МПа}$$

$0.1 R_b$ – при бетонах класса В30 и ниже;

1.6 МПа – при бетонах класса В35 и более;

$R_{bt,ser}$ – расчетное сопротивление бетона на растяжение при расчетах по второй группе предельных состояний (табл. 4);

$N_H = (\sigma_p - \sum \sigma_{noT,max}) A_p$ – продольное усилие предварительного напряжения;

σ_p – контролируемое напряжение;

$$\sum \sigma_{noT,max} = \sigma_{noT,1} + \sigma_{noT,2};$$

e – эксцентриситет усилия N_H .

Натяжение на бетон:

$$-\frac{N_H}{A_{red}} - \frac{N_H e}{J_{red}} y_H + \frac{M_b^1}{J_o} y_{HO} + \frac{M_{max}^{11} - M_b^1}{J_{red}} y_H \leq 0$$

Стадия изготовления (передача сил предварительного напряжения бетону):

$$-\frac{N_H}{A_{red}} - \frac{N_H e}{J_{red}} y_H + \frac{M_b^1}{J_o} y_{HO} + \frac{M_g^H - M_b^1}{J_{red}} y_H \leq 0$$

Проверяем напряжение в верхней зоне сечения балки на расстоянии 1.50 м от опорного сечения (сечение 1).

Натяжение на упоры:

$$-\frac{N_H}{A_{red}} + \frac{N_H e}{J_{red}} y_b - \frac{M_b^1}{J_{red}} y_b \leq 1.4 R_{bt,ser}$$

$$N_H = (\sigma_p - \sigma_{noT,1}) A_p$$

M_b^1 - нормативный изгибающий момент от собственного веса балки;

M_b – изгибающий момент от собственного веса балки с учетом $\gamma_f = 0.90$.

Натяжение на бетон:

$$-\frac{N_H}{A_o} + \frac{N_H e}{J_o} y_{bo} - \frac{M_b}{J_o} \leq 0$$

A_o – площадь сечения балки, ослабленное каналами;

J_o - момент инерции сечения балки, ослабленное каналами.

Продолжение числового примера.

Сечение 3, середина пролета (стадия эксплуатации):

$$-\frac{N_H}{A_{red}} - \frac{N_H e}{J_{red}} y_H + \frac{M_{max}^{11}}{J_{red}} y_H \leq 1.4 R_{bt,ser}$$

$$A_{red} = 0.816 \text{ м}^2; \quad J_{red} = 157.3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3; \quad y_H = 0.71;$$

$$A_p = 44,32 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; \quad e = 0.71 - 0.14 = 0.57 \text{ м};$$

$$\sigma_{noTmax} = 227,6 \text{ МПа};$$

$$M_{max}^{11} = 3185 \text{ кНм}$$

$$N_H = (\sigma_{HK} - \sigma_{noTmax}) A_p = (1008 - 227,6) \cdot 10^3 \cdot 44,32 \cdot 10^{-4} = 3459 \text{ кН};$$

$$-\frac{3459}{0.816} - \frac{3459 \cdot 0.57}{157.3 \cdot 10^{-3}} 0.71 + \frac{3185}{157.3 \cdot 10^{-3}} 0.71 = -4239 - 8899 * +14376 =$$

$$= -1238 \text{ } \hat{e} \hat{I} / \hat{i}^2$$

Вывод: Растягивающих напряжений нет. Трещиностойкость по образованию нормальных трещин в стадии эксплуатации обеспечивается.

Сечение 1-1 - 1.5м от опорного сечения (стадия изготовления):

$$-\frac{N_H}{A_{red}} + \frac{N_H e}{J_{red}} y_b - \frac{M_b}{J_{red}} y_b \leq 1.4 R_{bt,ser}$$

$$N_H = (\sigma_{ie} - \sigma_{noT,1}) A_p = (1008 - 107,03) 10^3 \cdot 2 \cdot 28 \cdot 0.196 \cdot 10^{-4} = 988,9 \text{ } \hat{e} \hat{I}$$

$$M'_b = 0.875 \cdot 24.5 \cdot 0.9 \cdot 16.42 = 316.8 \text{ } \kappa H m ;$$

$$J_{red} = 141.81 \cdot 10^{-3} \text{ } m^4 ; A_{red} = 0.875 \text{ } m^2 ; y_b = 0.39 \text{ } m ;$$

$$-\frac{988,9}{0.875} + \frac{988,9 \cdot 0.66 \cdot 0.39}{141.81 \cdot 10^{-3}} - \frac{316,8 \cdot 0.39}{141.81 \cdot 10^{-3}} = -1130 + 1795 - 871 =$$

$$= -206 \text{ } \hat{e} \hat{I} / \hat{i}^2 = -0,21 \ddot{H} \hat{a}$$

Вывод: Растягивающих напряжений нет. Трещиностойкость по образованию нормальных трещин на стадии изготовления обеспечивается.

1.8. Расчёт балки по деформациям (прогибам)

При отсутствии трещин, нормальных к продольной оси балки, полная кривизна изгибаемого элемента определяется по формуле:

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r} \right)_1 + \left(\frac{1}{r} \right)_2 + \left(\frac{1}{r} \right)_3 + \left(\frac{1}{r} \right)_4$$

$$\left(\frac{1}{r} \right)_1 - \text{кривизна от действия кратковременных нагрузок;}$$

$$\left(\frac{1}{r} \right)_1 = \frac{M_{max}^{II}}{\varphi_{b1} \cdot E_b \cdot I_{red}} = \frac{3185 \cdot 10^5}{0.85 \cdot 3450000 \cdot 15731000} = 0,7 \cdot 10^{-5}$$

$$\left(\frac{1}{r} \right)_2 - \text{кривизна от действия постоянных и длительных нагрузок;}$$

$$\left(\frac{1}{r} \right)_2 = \frac{M \cdot \varphi_{b2}}{\varphi_{b1} \cdot E_b \cdot I_{red}} = \frac{2185 \cdot 10^5 \cdot 2.0}{0.85 \cdot 3450000 \cdot 15731000} = 0,9 \cdot 10^{-5}$$

$$\varphi_{b2} = 2 - \text{тяжёлый бетон}$$

$\left(\frac{1}{r}\right)_3$ – кривизна, обусловленная выгибом элемента от

кратковременного действия усилия предварительного обжатия N с учётом полных потерь;

$$\left(\frac{1}{r}\right)_3 = \frac{N \cdot e_{op}}{\varphi_{b1} \cdot E_b \cdot I_{red}} = \frac{3459 \cdot 1000 \cdot 57}{0.85 \cdot 3450000 \cdot 15731000} = 0,4 \cdot 10^{-5}$$

$\left(\frac{1}{r}\right)_4$ – кривизна, обусловленная выгибом элемента вследствие

усадки и ползучести бетона от усилия предварительного обжатия.

$$\left(\frac{1}{r}\right)_4 = \frac{\varepsilon_b - \varepsilon'_b}{h_0}$$

ε_b и ε'_b – относительные деформации бетона, вызванные его усадкой и ползучестью от усилия предварительного обжатия и определяемые на уровне центра тяжести растянутой продольной арматуры и крайнего сжатого волокна бетона:

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_p} \text{ и } \varepsilon'_b = \frac{\sigma'_b}{E_p}$$

Значения σ_b принимаются численно равными сумме потерь предварительного напряжения по поз. 6, 7 и 8 таблицы расчёта потерь для арматуры растянутой зоны, а σ'_b – то же, для напрягаемой арматуры A'_p , если она имеется на уровне крайнего сжатого волокна.

$$\varepsilon_b = \frac{4.76 + 35 + 25.5}{1,77 \cdot 10^5} = 37 \cdot 10^{-5}; \quad \varepsilon'_b = 0$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_4 = \frac{37 \cdot 10^{-5}}{109,4} = 0,34 \cdot 10^{-5}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_3 + \left(\frac{1}{r}\right)_4 \geq \frac{N \cdot e_{op} \cdot \varphi_{b2}}{\varphi_{b1} \cdot E_b \cdot I_{red}} = 0,4 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 0,8 \cdot 10^{-5}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_3 + \left(\frac{1}{r}\right)_4 = (0,4 + 0,34) \cdot 10^{-5} = 0,74 \cdot 10^{-5}$$

Принимаем $\left(\frac{1}{r}\right)_3 + \left(\frac{1}{r}\right)_4 = 0,8 \cdot 10^{-5}$. Тогда ;

$$\frac{1}{r} = (0,7 + 0,9 - 0,8) \cdot 10^{-5} = 0,8 \cdot 10^{-5}$$

Прогиб балки в середине пролёта при равномерно распределенной нагрузке:

$$f = S \cdot \frac{1}{r} \cdot \ell_0^2 = \frac{5}{48} \cdot 0,8 \cdot 10^{-5} \cdot 2340^2 = 4,6 \text{ см, что меньше}$$

$$[f] = 2340 / 400 = 5,8 \text{ см}$$

Вывод: Условие жёсткости балки по прогибу выполняется.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы. Госстрой России, -М. ,: ГУП ЦПП, 1998, 214 с.
2. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84.
3. Саламахин П.М. и др. Мосты и сооружения на дорогах. Ч.1-М., Транспорт, 1991, 344 с.
4. Власов Г.М., Устинов В.П. Расчет железобетонных мостов. М., Транспорт, 1992, 256 с.
5. «Проектирование балки пролетного строения железобетонного моста с преднапряженной арматурой». Часть 1. «Конструирование и статический расчет элементов Т-образных балок мостовых сооружений». – Казань: КГАСУ, 2015.-32 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

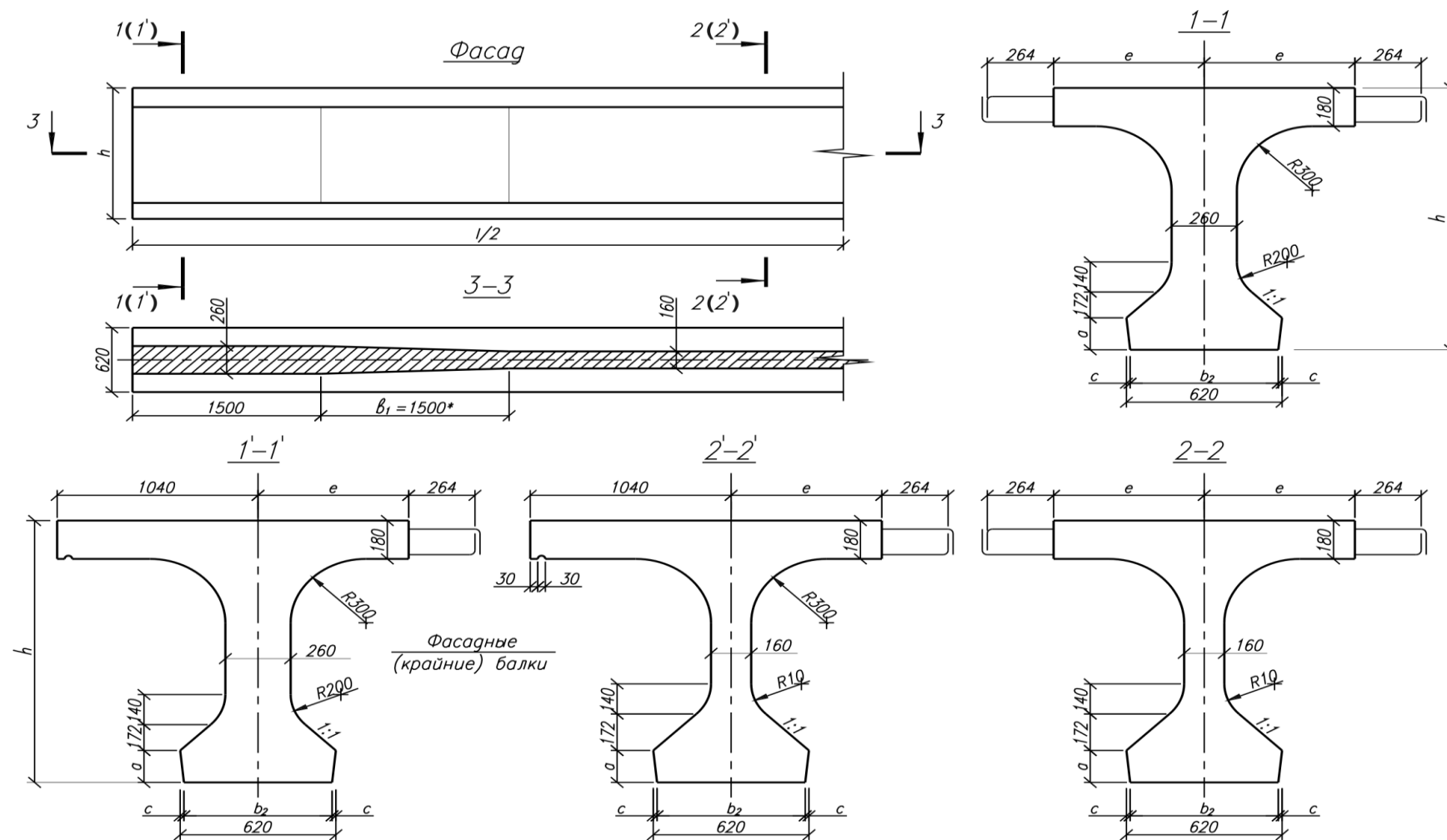


Рис. 7. Опалубочный чертёж балок

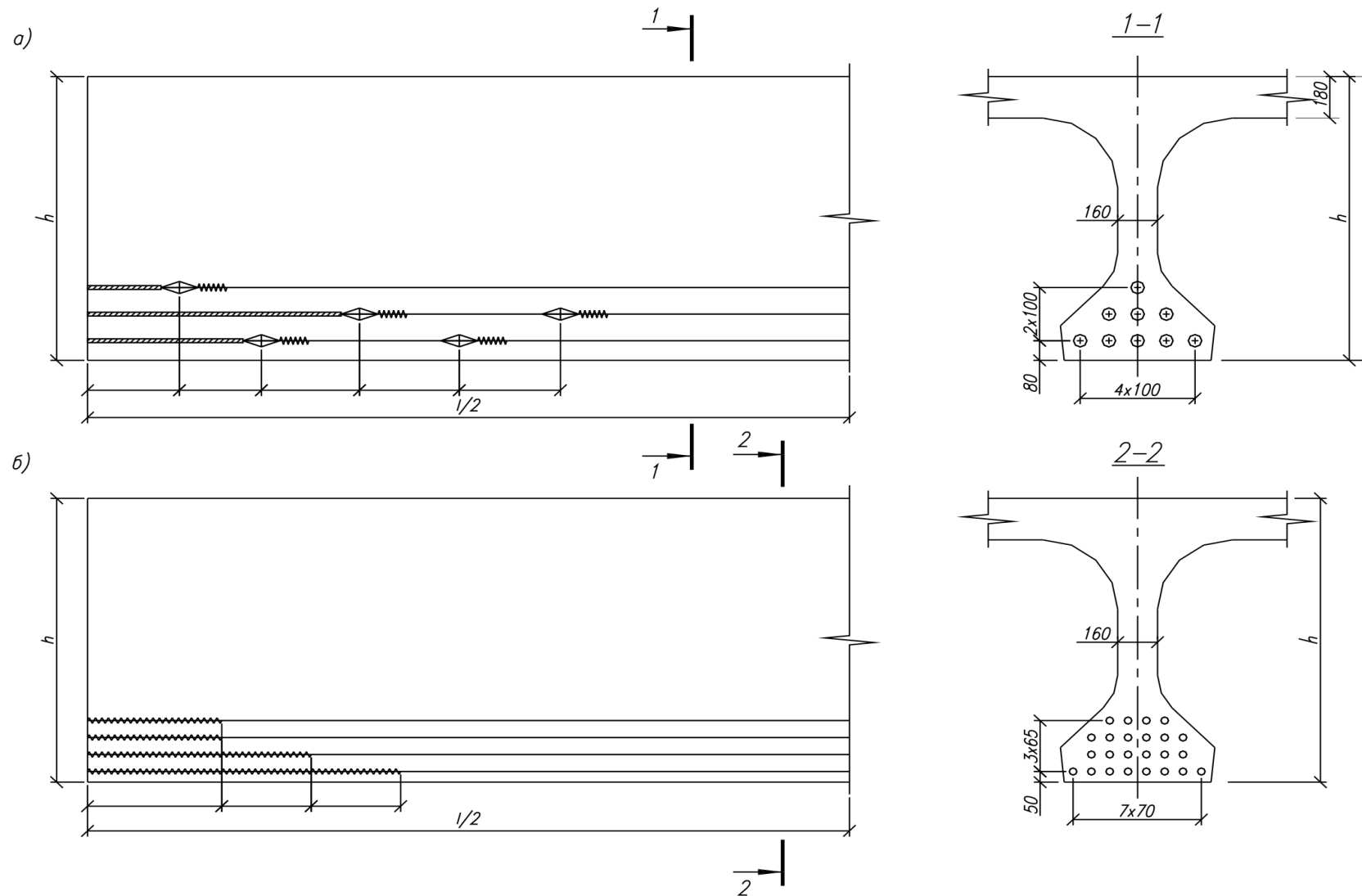


Рис. 8. Схемы армирования балок напрягаемой арматурой (стендовое изготовление)

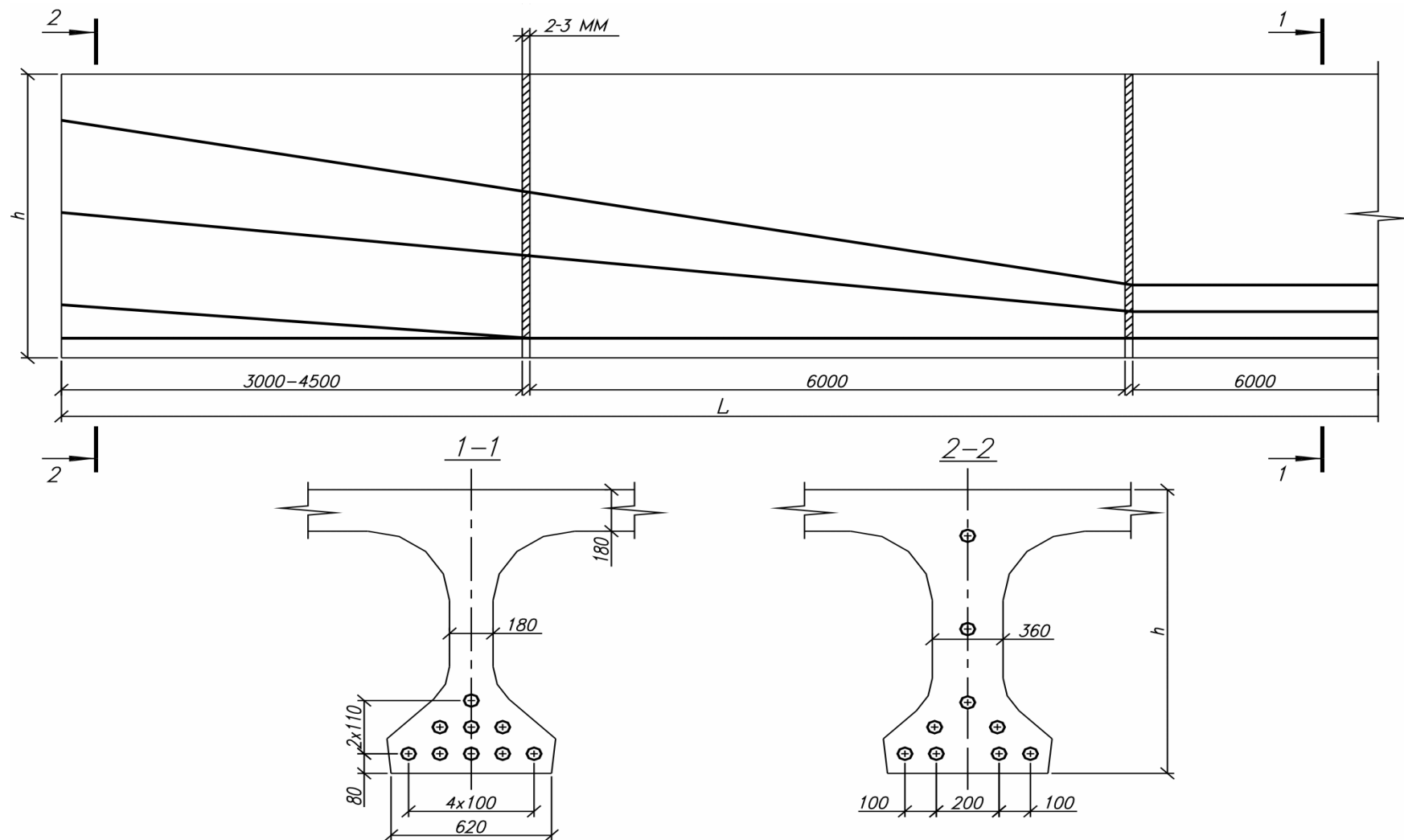


Рис. 9. Схемы армирования балок с натяжением на бетон

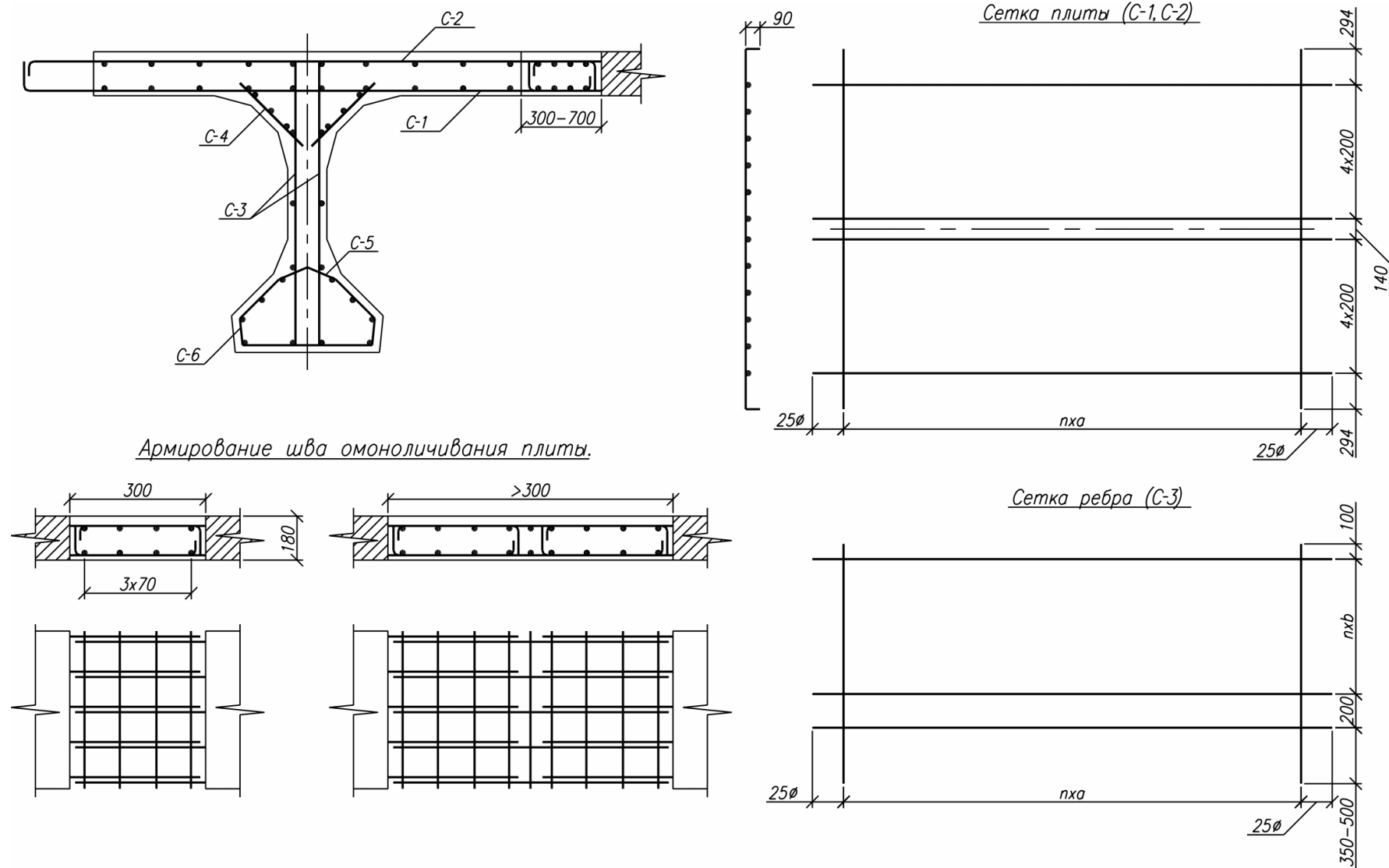


Рис. 10. Армирование обычной арматурой

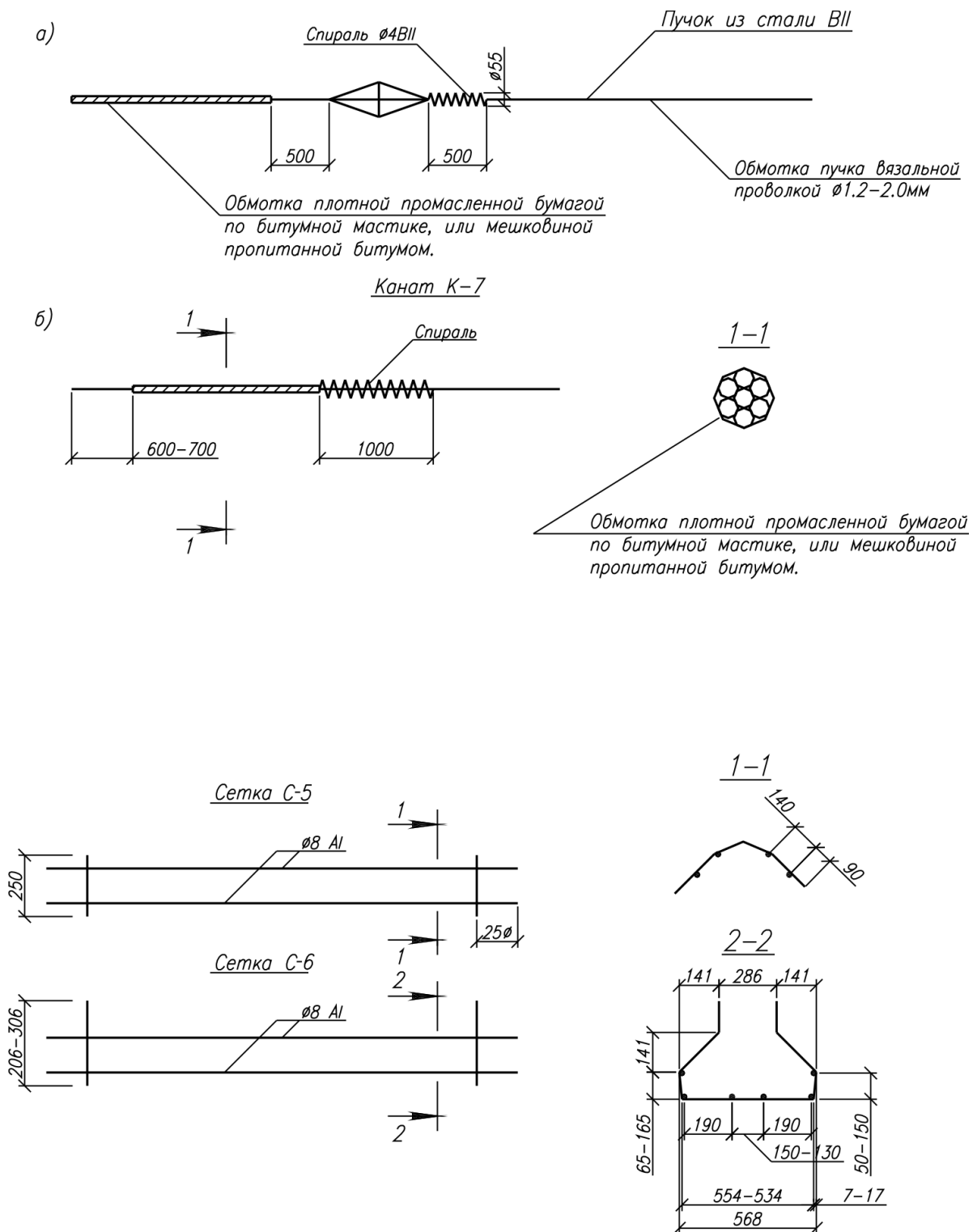


Рис. 11. Схемы армирования.

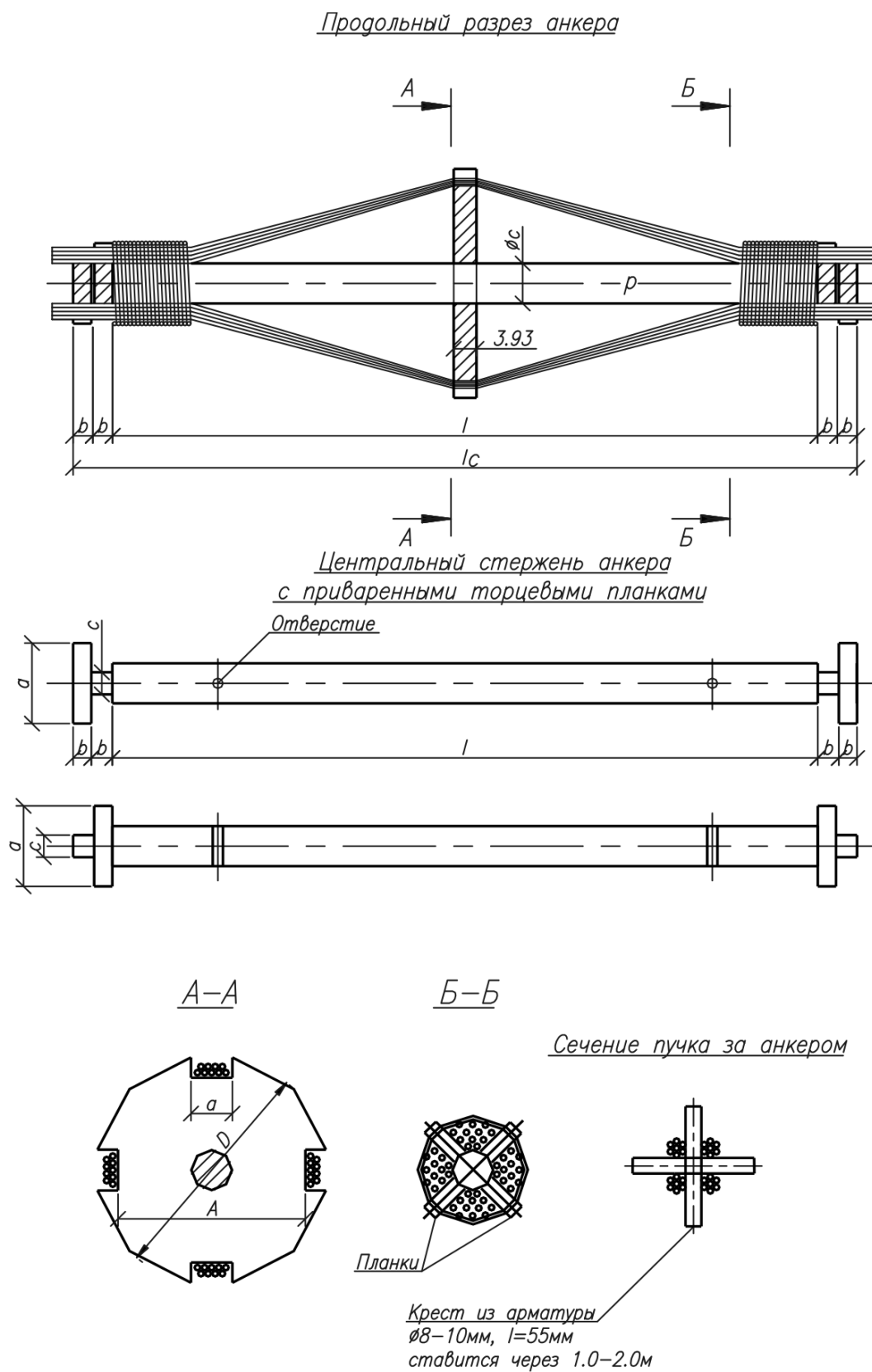


Рис. 12. Конструкция каркасно-стержневого анкера

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 1

Технико-экономические показатели на один элемент

Марка элемента	Масса одного элемента кН	Расход бетона, м ³		Расход стали, кг	
		класс	На один элемент	На один элемент	На один м ³
ПТТ-120.30	68	B35	2,7	208	77,04

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица 2

Ведомость расхода стали на элемент, кг

Марка элемента	Напрягаемая арматура класса		Все го	Изделия арматурные							Вс ег о
				Арматура класса							
	К-7			А-III	В _p -I						
	ГОСТ 13840-68				ГОСТ 6727-80						
	Ø15	Итого		ГОСТ 5781-82							
			Ø18	Ø8	Ито го	Ø5	Ø3	Итого			
ПТТ- 120.30	53,6	53,6		95,1	23,4	118, 5	21,2	8,0	29,2	14 7,7	

Продолжение таблицы 2

Изделия закладные									Всего	Об щ и й рас ход
Арматура класса				Прокат марки						
А-I		А-II		ВСт3пс6-1		ВСт3пс6-1				
ГОСТ 5781-82		ГОСТ 5781-82		ТУ 14-1-3023-80		ТУ 14-1-3023-80				
Ø18	Итого	Ø20	Итого	L 75x7	Итого	100x150x8	Итого			
11,2	11,2	5,9	5,9	5,3	5,3	37,9	37,9	60,3	208	

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица 3

Спецификация плиты ПТТ-120.30

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол- во	Примеч.
		<u>Плита ПТТ 120.30</u>		
		<u>Каркас К-1</u>	4	118,5
1	ГОСТ 5781-82	Ø18 А-400, l=11900	1	23,77
2	ГОСТ 5781-82	Ø8 А-400, l=370	40	5,85
		<u>Сетка С-1</u>	1	29,2
3	ГОСТ 6727-80	Ø5 В _р -I, l=2940	50	21,2
4	ГОСТ 6727-80	Ø3 В _р -I, l=11940	13	8,0
		<u>Отд. Стержни</u>		
5	ГОСТ 13840- 68	Ø15 К-7, l=12000	4	53,6

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЛКИ ПРОЛЁТНОГО СТРОЕНИЯ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО МОСТА С ПРЕДНАПРЯЖЕННОЙ АРМАТУРОЙ
Методические указания по выполнению курсовой работы по курсу
«Инженерные сооружения в транспортном строительстве» для студентов
по направлению подготовки 270800.62 «Строительство», профиль
«Автомобильные дороги». Часть 2. Расчет предварительно-напряженных
балок по 2-м группам предельных состояний.

Составители: Иванов Г.П., Петропавловских О.К.

Редактор Ханафиева Л.З.

Издательство:

Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать

Формат 60х84/16

Заказ №

Печать ризографическая

Усл.–печ.л. 2

Тираж 50 экз.

Бумага офсетная №1

Учетн.–изд.л. 2

Отпечатано в полиграфическом секторе

Издательства КГАСУ

420043, г. Казань, ул. Зеленая, д.1