



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Автомобильные дороги»

**Методические указания**  
к курсовой работе по дисциплине  
«Проектирование автодорожных мостовых  
сооружений» на тему

**«Автодорожный мост с  
неразрезным  
сталежелезобетонным  
пролетным строением»**

Автор  
Конорев А.С.

Ростов-на-Дону, 2018

## Аннотация

Методические указания разработаны для выполнения курсового проекта на тему: «Автодорожный мост с неразрезным сталежелезобетонным пролетным строением». В данном учебно-методическом пособии приведены и описаны современные подходы к проектированию и расчёту разрезных сталежелезобетонных пролётных строений.

Изложены исходные данные по разрезным сталежелезобетонным пролетным строениям, приведены методы расчета таких элементов моста по 1-й и 2-й группам предельных состояний на воздействие постоянных и временных нагрузок. Материал сопровождается иллюстрациями по каждому разделу.

Предназначено для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» профили «Автодорожные мосты и тоннели» и «Автомобильные дороги», по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», специализация «Строительство автомагистралей, аэродромов и специальных сооружений».

## Автор

к.т.н.,                      доцент                      кафедры  
«Автомобильные дороги»  
Конорев А.С.

## Оглавление

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Исходные данные .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>2 Подсчет нормативной и расчетной постоянной нагрузки на 1 погонный метр<br/>крайней главной балки .....</b>                           | <b>6</b>  |
| <b>3 Построение линии влияния .....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>4 Определение ординат линии влияния под осями тележки АК и НК.....</b>   | <b>12</b> |
| <b>5 Вычисление КПУ для крайней главной балки по методу внецентренного<br/>сжатия.....</b>  | <b>13</b> |
| <b>6 Коэффициенты динамичности для стальных и сталежелезобетонных<br/>конструкций .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>7 Коэффициенты надежности по нагрузке .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>8 Вычисление расчетных изгибающих моментов в середине пролета крайней<br/>главной балки на первой и второй стадиях её работы .....</b> | <b>17</b> |
| <b>9 Конструирование и расчет сталежелезобетонного пролетного строения<br/>автодорожного моста .....</b>                                  | <b>21</b> |
| 9.1 Конструирование главных балок.....  | 21        |
| 9.2 Конструирование железобетонной плиты проезжей части .....   | 22        |
| 9.3 Назначение расчетной схемы.....   | 24        |
| 9.4 Вычисление геометрических характеристик сталежелезобетонного<br>сечения .....   | 25        |
| <b>10 Проверка прочности сечения .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>Список использованной литературы .....</b>   | <b>32</b> |
| <b>Приложение 1 Исходные данные к курсовому проекту.....</b>  | <b>33</b> |
| <b>Приложение 2 .....</b>   | <b>34</b> |

## 1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

При выполнении курсового проекта можно применять основные размеры неразрезных пролетных строений по типовому альбому серии 3.503.9-110.93 [4]. Схема неразрезных пролетных строений и их габариты для выполнения курсового проектирования указаны в приложении 1 методических указаний.

В качестве примера принято сталежелезобетонное неразрезное пролетное строение со схемой 57+57+57, с габаритом Г-11,5 м и двумя тротуарами по Т-1,5 м (см. рисунок 1). При курсовом и дипломном проектировании студентам следует руководствоваться СП 35.13330.2011 [3], а также типовыми проектами сталежелезобетонных пролетных строений [4] методическими указаниями [1], учебником [2], а также данными методическими указаниями.

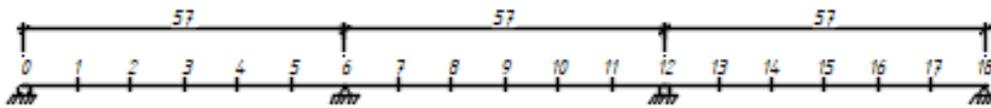


Рисунок 1 – Схема неразрезного сталежелезобетонного пролетного строения

На рисунках 2 и 3 показаны схематические поперечные разрезы сталежелезобетонных пролетных строений для разных габаритов.

Ширина тротуарных блоков  $T=1,5$  м (в данном примере), и  $T=1,0$  м. Расстояние между главными балками для габарита, для Г-8  $b=6,2$  м, для Г-10 и Г-11,5  $b=7,6$  м. Число главных балок для габаритов Г-8, Г-10 и Г-11,5  $n_{балок}=2$  шт.

Первая часть постоянных нагрузок:

- а) вес всех металлических конструкций без веса металлических перил ( $P_1$ );
- б) вес железобетонной плиты ниже её линии.

Стадии работы сталежелезобетонной балки:

1. Главная балка работает как чисто стальная на вес первой части постоянной нагрузки;

2. Главная стальная балка работает совместно с железобетонной плитой на изгиб как единая объединенная сталежелезобетонная балка на вес второй части постоянной нагрузки и на всю временную нагрузку.



## 2 ПОДСЧЕТ НОРМАТИВНОЙ И РАСЧЕТНОЙ ПОСТОЯННОЙ НАГРУЗКИ НА 1 ПОГОННЫЙ МЕТР КРАЙНЕЙ ГЛАВНОЙ БАЛКИ

$P_1$  – вес всех стальных конструкций на одно пролетное строение.  $P_1$  можно принять по таблице, приведенной в типовом проекте серии 3.503.9-110.93 [4]. Однако необходимо учесть габариты пролетных строений.

Согласно типовому проекту серии 3.503.9-110.93 [4] для пролетного строения длиной  $l_n = 42,6$  м и Г-11,5 (Г-10)  $P_1 = 821$  кН, а для Г-8  $P_1 = 705,6$  кН. При вариантном проектировании вес  $P'_1$  для других пролетов можно определить ориентировочно по формуле:

$$P'_1 = \frac{P_1 l'_n}{l_n},$$

где  $l'_n$  – длина пролета главной балки по заданию.

$P_2$  – вес двух металлических перил и барьерного ограждения на один пролет ( $P_2 = 80$  кН для  $l_n = 42,6$  м). Для других пролетов:

$$P'_2 = \frac{P_2 l'_n}{l_n}.$$

$P_3$  – кН – расход железобетона на весь пролет.

Для  $l_n = 42,6$  м:

- Г-11,5 и Т=1,0 м  $P_3 = 3676,59$  кН
- Г-11,5 и Т=1,5 м  $P_3 = 3796,74$  кН;
- Г-10 и Т=1,0 м  $P_3 = 3460,32$  кН;
- Г-10 и Т=1,5 м  $P_3 = 3604,5$  кН;
- Г-8 и Т=1,0 м  $P_3 = 2907,63$  кН;
- Г-8 и Т=1,5 м  $P_3 = 3027,78$  кН.

Ориентировочно для других пролетов при вариантном проектировании  $P'_3$  можно принять по формуле:

$$P'_3 = \frac{P_3 l'_n}{l_n}.$$

$P_4$  – вес трехслойного основания на весь пролет. Объем материала затрачиваемый на весь пролет для сооружения трёхслойного основания длиной  $l_n = 42,6$  м:

- Г-11,5 и Т=1,0 м  $P_4 = 885,83$  кН
- Г-11,5 и Т=1,5 м  $P_4 = 948,58$  кН;
- Г-10 и Т=1,0 м  $P_4 = 770,63$  кН;
- Г-10 и Т=1,5 м  $P_4 = 833,38$  кН;
- Г-8 и Т=1,0 м  $P_4 = 555,92$  кН;

– Г-8 и Т=1,5 м  $P_4 = 614,75$  кН.

Ориентировочно для других пролетов при вариантном проектировании  $P_4$  можно принять по формуле:

$$P'_4 = \frac{P_4}{l_n} l'_n$$

$P_5$  – кН – вес асфальтобетонного покрытия на весь пролет.

Для  $l'_n = 42,6$  м:

– Г-11,5 и Т=1,0 м  $P_5 = 1060,32$  кН

– Г-11,5 и Т=1,5 м  $P_5 = 1173,12$  кН;

– Г-10 и Т=1,0 м  $P_5 = 947,52$  кН;

– Г-10 и Т=1,5 м  $P_5 = 1060,32$  кН;

– Г-8 и Т=1,0 м  $P_5 = 812,16$  кН;

– Г-8 и Т=1,5 м  $P_5 = 902,40$  кН.

Ориентировочно для других пролетов при вариантном проектировании  $P_5$  можно принять по формуле:

$$P'_5 = \frac{P_5}{l_n} l'_n$$

Нормативная постоянная нагрузка на 1 погонный метр крайней главной балки на первой стадии её работы от первой части постоянной нагрузки:

$$q_{\text{норм}}^I = \frac{P'_1 + P'_3}{n_{\text{балок}} l'_n}$$

где  $n_{\text{балок}} = 2$  – количество главных балок в пролетном строении.

Расчетная постоянная нагрузка на 1 погонный метр крайней главной балки на первой стадии её работы от первой части постоянной нагрузки:

$$q_{\text{расч.}}^I = 1,1 * q_{\text{норм}}^I;$$

Нормативная нагрузка на 1 погонный метр крайней главной балки на второй стадии её работы от второй части постоянной нагрузки:

$$q_{\text{норм}}^{II} = \frac{P'_2 + P'_4 + P'_5}{n_{\text{балок}} l'_n}$$

То же, расчетная постоянная нагрузка на 2-й стадии работы балки:

$$q_{\text{расч}}^{II} = \frac{1,1P'_2 + 1,3P'_4 + 1,5P'_5}{n_{\text{балок}} l'_n}$$

### 3 ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ВЛИЯНИЯ

Определение усилий в сечениях балки производится по линиям влияния. Для построения линии влияния изгибающего момента каждый из соответствующих табличных коэффициентов для данного сечения балки со своим знаком должен быть умножен на длину первого пролета  $l_1$ .

Линии влияния для 9 расчетного сечения (в середине среднего пролета) для балки с соотношением пролетов  $57:57:57=1:1:1$ , построены по таблице 1 приложения 2 настоящих методических указаний и приведены на рисунке 4 и 5. Для балок с отношением пролетов  $1:1,4:1$ ;  $1:1,5:1$ ;  $1:1,6:1$  значения коэффициентов приведены в таблицах 2, 3 и 4 приложения 2 соответственно.

Например, при определении момента  $M_9$  в опорном сечении 6 получим для ординаты 7 (см. рисунок 4):

$$a_7 = 0,0418 \cdot 57 = 2,383 \text{ м}$$

Аналогично для ординаты 8 (см. рисунок 4):

$$a_8 = 0,1002 \cdot 57 = 5,711 \text{ м}$$

И так далее для других ординат.

Далее необходимо вычислить площади линий влияния для опорного сечения  $M_9$ :  
Пролёт 1:

$$\omega_1 = \frac{57}{6} (-0,923 - 1,687 - 2,109 - 2,138 - 1,448) = -78,90 \text{ м}^2$$

Пролёт 2:

$$\omega_2 = \frac{57}{6} (2,383 + 5,711 + 9,975 + 5,711 + 2,383) = 248,55 \text{ м}^2$$

Пролёт 3:

$$\omega_3 = \frac{57}{6} (-1,448 - 2,109 - 2,138 - 1,687 - 0,923) = -78,90 \text{ м}^2$$

Площадь положительных участков линии влияния:

$$w_{\text{п}} = \omega_2 = 248,55 \text{ м}^2$$

Площадь отрицательных участков линии влияния:

$$w_0 = \omega_1 + \omega_3 = -78,90 - 78,90 = -157,80 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь:

$$w_c = \omega_{\Pi} + \omega_o = 248,55 - 157,80 = 90,75 \text{ м}^2$$

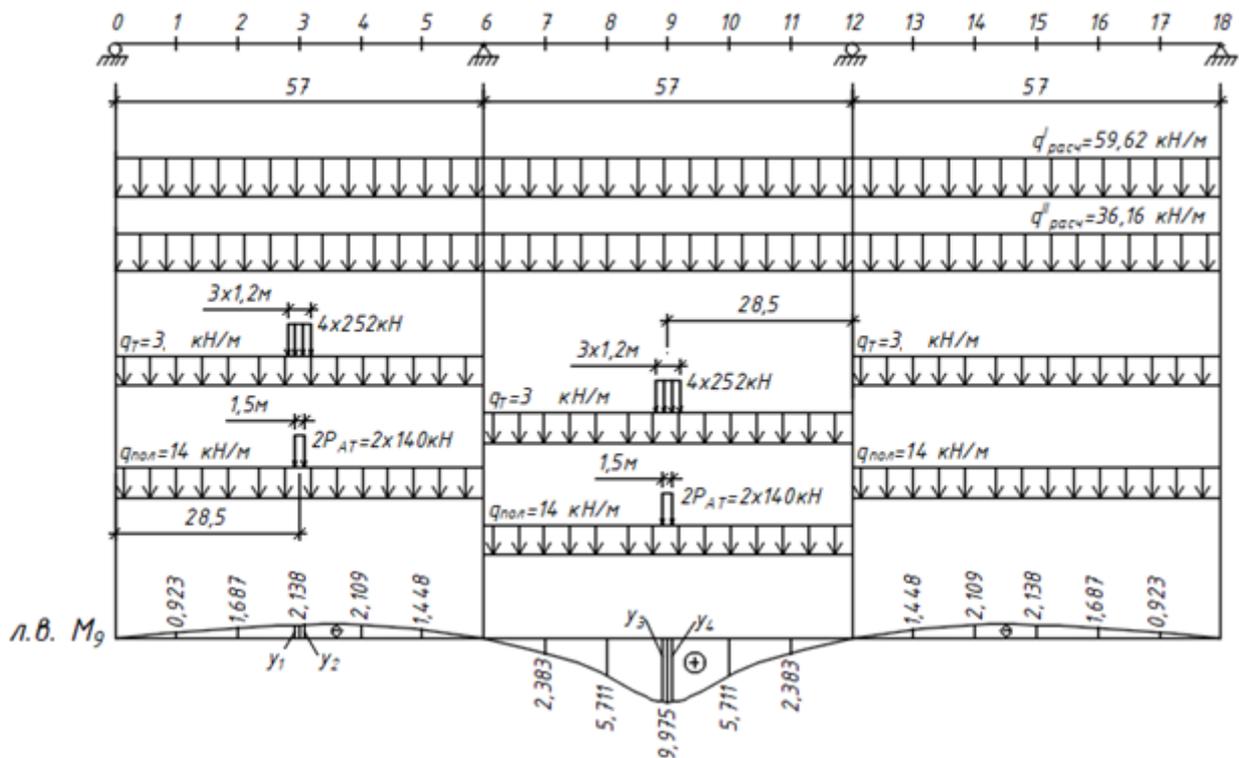


Рисунок 4 – Линия влияния изгибающих моментов 9 сечения

Для построения линии влияния поперечных сил (см. рисунок 5) ординаты линий влияния принимаются по таблице 1 приложения 2. Например, ординаты линий влияния  $Q_9$  (сечение 9) для сечения 1:

$$a_1 = 0,054$$

Ордината линии влияния поперечных сил для сечения 3 левого пролёта:

$$a_3 = 0,125$$

То же самое относится к правому и среднему пролёту.

Площади линий влияния поперечных сил для опорного сечения  $Q_9$ :

Пролёт 1:

$$\omega_1 = \frac{57}{6} (0,054 + 0,099 + 0,125 + 0,123 + 0,085) = 4,62 \text{ м}^2$$

Пролёт 2:

$$\omega_2 = \frac{57}{6} (-0,136 - 0,309 - 0,5) = -8,98 \text{ м}^2$$

$$\omega_2 = \frac{57}{6} (+0,136 + 0,309 + 0,5) = 8,98 \text{ м}^2$$

Пролёт 3:

$$\omega_3 = \frac{57}{6} (-0,085 - 0,123 - 0,125 - 0,099 - 0,054) = -4,62 \text{ м}^2$$

Площадь положительных участков линии влияния:

$$w_{\Pi} = \omega_1 + \omega_2 = 4,62 + 8,98 = 13,62 \text{ м}^2$$

Площадь отрицательных участков линии влияния:

$$w_0 = \omega_2 + \omega_3 = -4,62 - 8,98 = -13,62 \text{ м}^2$$

Суммарная площадь:

$$w_c = \omega_{\Pi} + \omega_0 = 13,62 - 13,62 = 0 \text{ м}^2$$

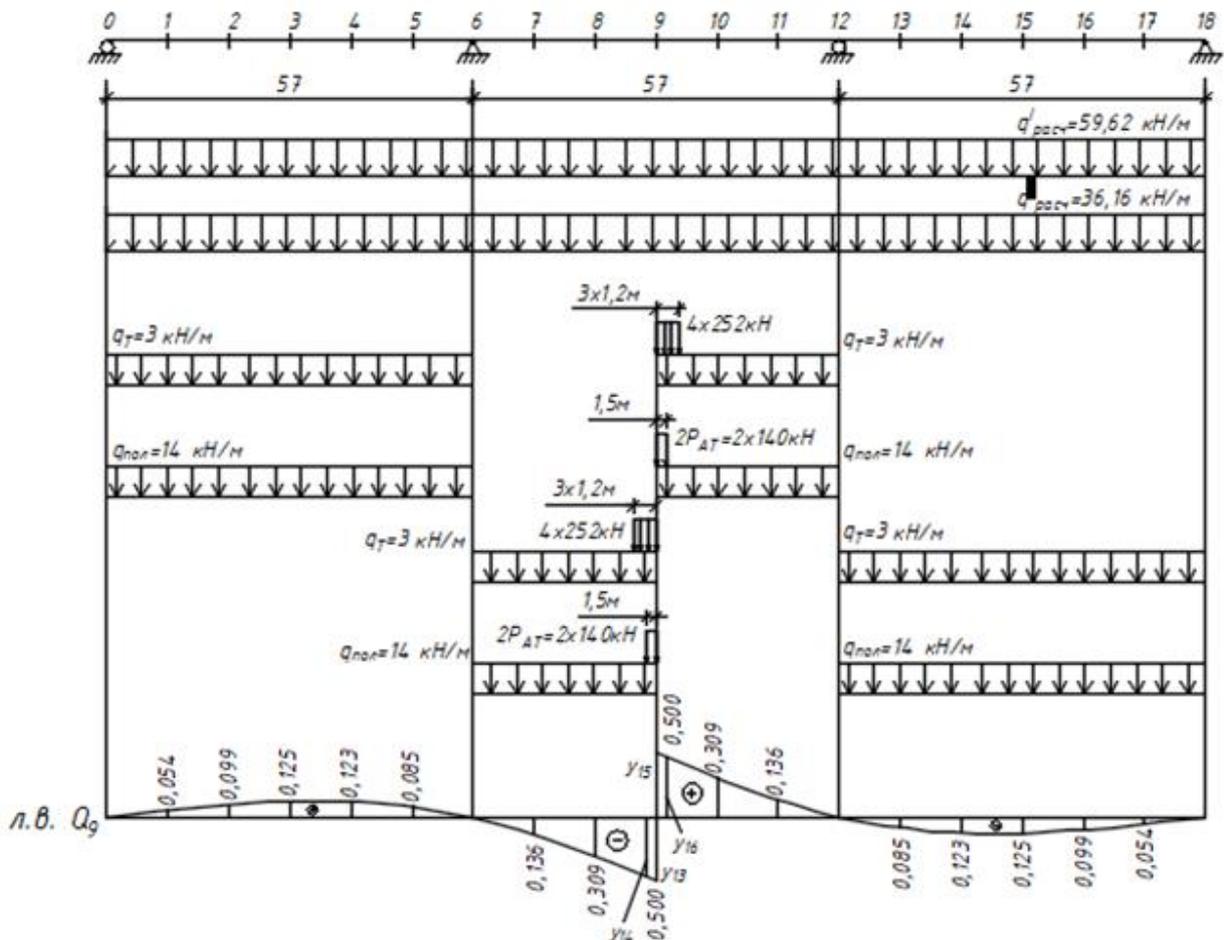


Рисунок 5 – Линия влияния поперечных сил 9 сечения

Значения полученных выше площадей участков линий влияния изгибающих моментов  $M_9$  и поперечных сил и  $Q_9$  приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Площади линии влияния.

| Усилие            | Обозначение | Размерность площади | По участкам           |                       |                       | Положительных участков | Отрицательных участков | Суммарная площадь |
|-------------------|-------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
|                   |             |                     | $W_1$<br>( $l_1=57$ ) | $W_2$<br>( $l_2=57$ ) | $W_3$<br>( $l_3=57$ ) |                        |                        |                   |
| Изгибающий момент | $M_9$       | $m^2$               | -78,90                | 248,55                | -78,90                | 248,55                 | -157,80                | 90,75             |
| Поперечная сила   | $Q_9$       | $m^2$               | 4,62                  | -8,98<br>8,98         | -4,62                 | 13,6                   | -13,6                  | 0,00              |

## 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРДИНАТ ЛИНИИ ВЛИЯНИЯ ПОД ОСЯМИ ТЕЛЕЖКИ АК И НК

Схемы загрузки линий влияния временной нагрузкой приведены на рисунке 4 и 5. Для определения усилий от сосредоточенного давления оси тележки А14 необходимо предварительно вычислить ординаты линий влияния под ними. Их вычисление производим по линейной интерполяции. Однако можно воспользоваться САПР, и значительно ускорить процесс определения ординат.

Ординаты линии влияния тележки АК для  $M_9$ :

Пролёт 2:  $y_1 = 9,928$ ;  $y_2 = 9,928$ .

Пролёт 1:  $y_3 = -2,118$ ;  $y_4 = -2,155$ .

Ординаты линии влияния тележки НК для  $M_9$ :

Пролёт 1:  $y_5 = -2,085$ ;  $y_6 = -2,112$ ;  $y_7 = -2,152$ ;  $y_8 = -2,173$ .

Пролёт 2:  $y_8 = 9,720$ ;  $y_{10} = 9,945$ ;  $y_{11} = 9,945$ ;  $y_{12} = 9,720$ .

Ординаты линии влияния тележки АК для  $Q_9$ :

Пролёт 2:  $y_{13} = -0,500$ ;  $y_{14} = -0,469$ .

$y_{15} = 0,500$ ;  $y_{16} = 0,469$ .

Ординаты линии влияния тележки НК для  $Q_9$ :

Пролёт 2:  $y_{17} = -0,427$ ;  $y_{18} = -0,451$ ;  $y_{19} = -0,476$ ;  $y_{20} = -0,500$ ;

$y_{21} = 0,500$ ;  $y_{22} = 0,476$ ;  $y_{23} = 0,451$ ;  $y_{24} = 0,427$ .

## 5 ВЫЧИСЛЕНИЕ КПУ ДЛЯ КРАЙНЕЙ ГЛАВНОЙ БАЛКИ ПО МЕТОДУ ВНЕЦЕНТРЕННОГО СЖАТИЯ

Очевидно, что временная нагрузка, находящаяся на пролетном строении моста (АК, НК, толпа на тротуарах) не одинаково нагружает каждую балку пролетного строения. Кроме того, при движении она создает дополнение к статической динамической нагрузке.

Временная нагрузка во всех случаях принимается согласно СП35.13330.2011 в виде нагрузки АК и НК. [3]

При расчетах балок пролетных строений мостов динамическое воздействие временной нагрузки учитывается коэффициентом динамичности  $(1+\mu)$ , а неравномерность нагружения балок – коэффициентом поперечной установки  $\xi$ .

Метод внецентренного сжатия при определении КПУ применяется потому, что поперечные связи между главными балками придают большую поперечную жесткость пролетному строению (как диафрагмы в железобетонных пролетных строениях).

В общем виде КПУ по методу внецентренного сжатия определяется по формуле:

$$\xi = \frac{n_{\text{полос}}^{\text{расч.}}}{n_{\text{балок}}} \left[ 1 + \frac{bc}{v(n_{\text{балок}} + 1)} \right],$$

где  $c$  – эксцентриситет от нагрузки, м;

$b$  – расстояние между главными балками, м;

$n_{\text{балок}}$  – число балок;

$n_{\text{полос}}^{\text{расч.}}$  – расчетное число полос движения.

### 1. Определение КПУ для НК

Нагрузка НК устанавливается поперек моста в любом положении, но так, чтобы получить максимальное усилие в рассчитываемой балке. При этом скат колеса не должен попасть на предохранительную полосу П, ширина которой зависит от габарита моста. Так, для габаритов, Г-8 П=1 м, Г-10 П=1,5 м, Г-11,5 П=2 м.

Ниже на рисунке 6 приведена схема размещения НК.

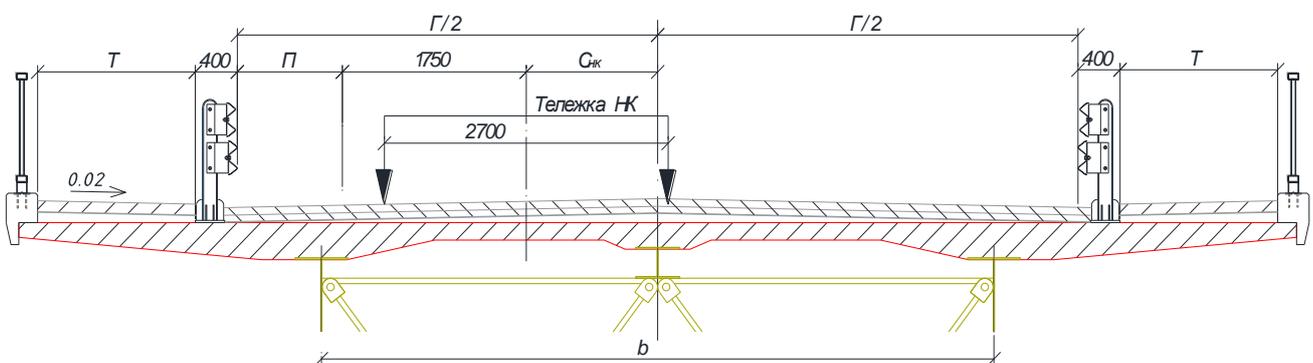


Рисунок 6 – Схема к определению коэффициента поперечной установки для НК

При НК принимается одна полоса движения, тогда  $n_{\text{полос}}^{\text{расч.}} = 1$ .

Эксцентриситет временной нагрузки НК:

$$C_{НК} = \frac{\Gamma}{2} - (\Pi + 1,75)$$

КПУ для нагрузки НК:

$$\xi_{НК} = \frac{n_{\text{полос}}^{\text{расч}}}{n_{\text{балок}}} \left[ 1 + \frac{6C_{НК}}{b(n_{\text{балок}} + 1)} \right]$$

где  $n_{\text{балок}}$  – число главных балок;

$b$  – расстояние между главными балками, м.

2. Определение КПУ для толпы на одном тротуаре. Так как толпа на одном тротуаре, то  $n_{\text{полос}}^{\text{расч.}} = 1$  (см. рисунок 7).

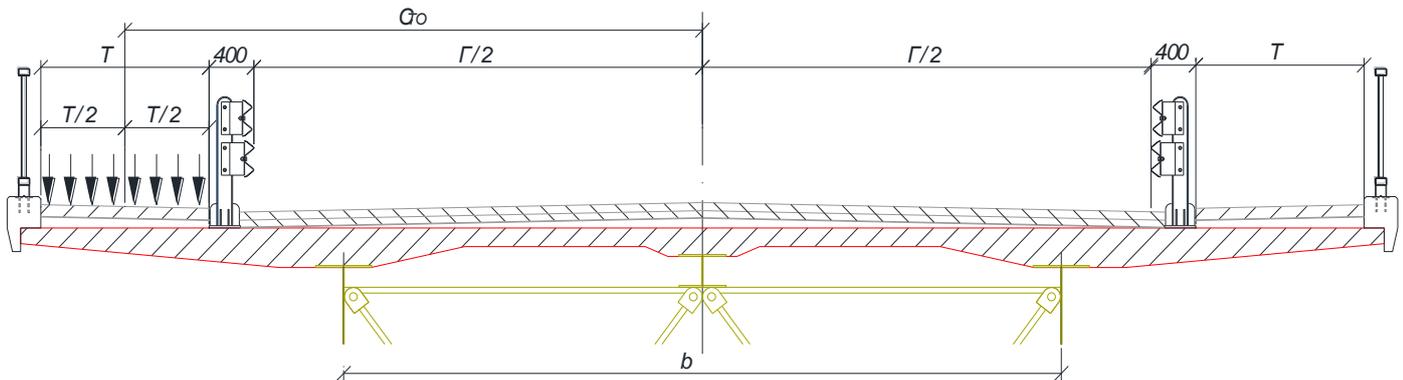


Рисунок 7 – Схема к определению КПУ от толпы

Эксцентриситет от толпы:

$$C_{ТО} = \frac{T}{2} + \frac{\Gamma}{2} + 0,4$$

КПУ толпы на тротуаре:

$$\xi_{ТО} = \frac{n_{\text{полос}}^{\text{расч}}}{n_{\text{балок}}} \left[ 1 + \frac{6C_{ТО}}{b(n_{\text{балок}} + 1)} \right]$$

3. Определение КПУ для тележки и для равномерной части АК при двухполосном движении (габариты Г-8, Г-10 и Г-11,5), А14 устанавливается без соблюдения полосы безопасности (см. рисунок 8) и с соблюдением полосы безопасности (см. рисунок 9).

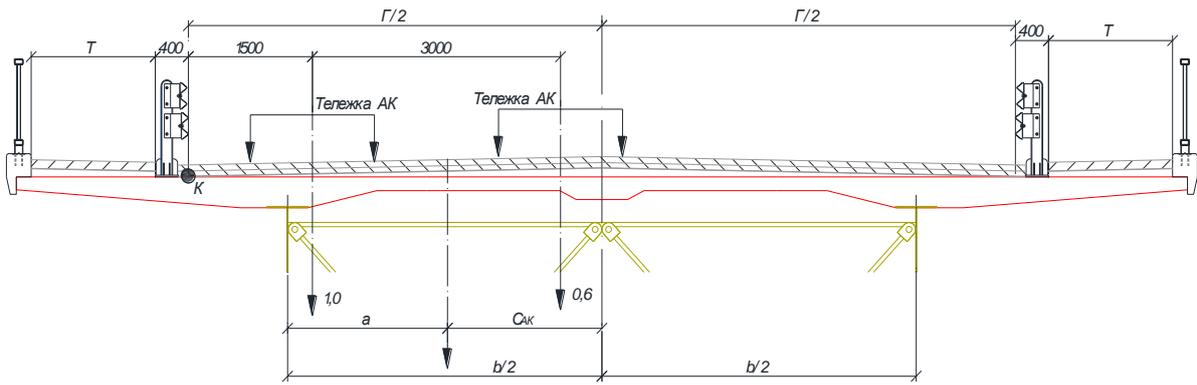


Рисунок 8 – Схема к определению КПУ для АК. при двухполосном движении без соблюдения полосы безопасности

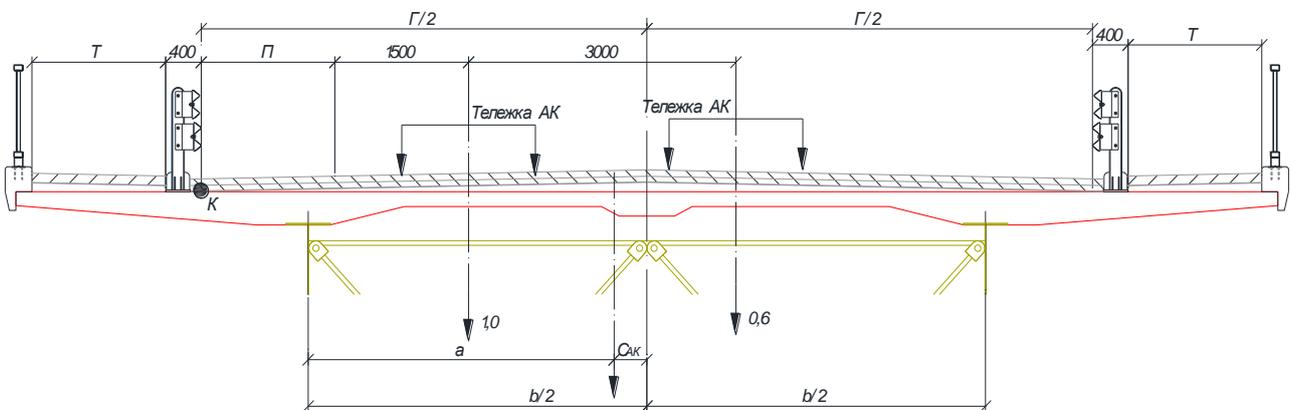


Рисунок 9 – Схема к определению КПУ для АК. при двухполосном движении с соблюдением полосы безопасности

При двухполосной нагрузке АК первая полоса учитывается с весовым коэффициентом 1,0, а вторая – с коэффициентом 0,6, общий весовой коэффициент 1,6. Расчетное число полос движения  $n_{полос}^{расч.} = 1,6$ . Расстояние «а» (см. рисунок 8 и 9) определяется исходя из уравнения моментов относительно точки «К».

Определение КПУ от нагрузки АК без соблюдения полосы безопасности от двухполосной нагрузки АК:

$$1,6a = 1 \cdot 1,5 + 0,6 \cdot 4,5$$

откуда  $a = 2,63$  м

$$C_{АК} = \frac{\Gamma}{2} - a$$

$$\xi_{АК} = \frac{n_{полос}^{расч.}}{n_{балок}} \left[ 1 + \frac{6C_{АК}}{b(n_{балок} + 1)} \right]$$

Определение КПУ с соблюдением полосы безопасности от двухполосной нагрузки АК:

$$1,6a = 1 \cdot (l + 1,5) + 0,6 \cdot (l + 1,5 + 3)$$

$$a = \frac{1 \cdot (l + 1,5) + 0,6 \cdot (l + 1,5 + 3)}{1,6}$$

$$C_{AK}^B = \frac{\Gamma}{2} - a$$

$$\xi_{AK}^B = \frac{n_{ПОЛОС}^{расч}}{n_{балок}} \left[ 1 + \frac{6C_{AK}^B}{b(n_{балок} + 1)} \right]$$

## 6 КОЭФФИЦИЕНТЫ ДИНАМИЧНОСТИ ДЛЯ СТАЛЬНЫХ И СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Согласно СП 35.13330.2011 п 6.22 динамические коэффициенты  $(1 + \mu)$  нагрузкам от подвижного состава железных, автомобильных и городских дорог следует принимать равными [3]:

- для тележки нагрузки АК коэффициент динамичности  $(1 + \mu)_{AKT} = 1,4$ ;
- для равномерной части нагрузки АК  $(1 + \mu)_{AK} = 1,0$
- для нагрузки НК коэффициент динамичности  $(1 + \mu)_{НК} = 1,0$ ;
- для тротуарной нагрузки  $(1 + \mu)_T = 1,0$

## 7 КОЭФФИЦИЕНТЫ НАДЕЖНОСТИ ПО НАГРУЗКЕ

Коэффициенты надежности по нагрузке ( $\gamma_f$ ) для временных вертикальных нагрузок в СП 35.13330.2011, табл. 6.10 имеют следующие величины [3]:

- для нагрузки НК  $\gamma_f^{HK} = 1,1$ ;
- для нагрузки от толпы на тротуаре при учете совместно с другими нагрузками  $\gamma_f^{TO} = 1,2$ ;
- для равномерной части нагрузки АК  $\gamma_f^{AK} = 1,15$ ;
- для тележки нагрузки АК  $\gamma_f^{AKT} = 1,5$ .

## 8 ВЫЧИСЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ В СЕРЕДИНЕ ПРОЛЕТА КРАЙНЕЙ ГЛАВНОЙ БАЛКИ НА ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ СТАДИЯХ ЕЁ РАБОТЫ

При расчете элементов пролетных строений автодорожных мостов (главные балки, диафрагмы) должны рассматриваться три основные сочетания постоянных и временных нагрузок:

- первое – постоянная нагрузка плюс НК;
- третье – постоянная нагрузка плюс АК (один или два ряда) без соблюдения полосы безопасности;
- четвёртое – постоянная нагрузка плюс АК с соблюдением полосы безопасности и плюс толпа на тротуарах.

1. Расчетный изгибающий момент посередине пролета крайней стальной главной балки на 1-й стадии её работы под действием 1-й части постоянной нагрузки:

$$M^I = \omega_c q_{расч}^I$$

где  $\omega_c$  – суммарная площади линии влияния изгибающих моментов для сечения 9, м<sup>2</sup>.

2. Расчетный изгибающий момент и поперечная сила посередине пролета крайней главной балки на вес 2-й части постоянной нагрузки и временной нагрузки:

Постоянную расчётную нагрузку загружают на всю длину линии влияния, а временную нагрузку загружают по отдельности. То есть, отдельно производят расчёт постоянной расчётной нагрузки, загруженной на весь пролёт, плюс временная нагрузка, установленная только на положительных областях линии влияния. Аналогично рассчитывают и для отрицательных участков линии влияния (см. рисунок 4 и 5).

1-е загрузение: вторая часть постоянной нагрузки плюс НК.

Нормативная одиночная автомобильная нагрузка НК представляет собой четырехколесную тележку с нагрузкой на каждую ось 18 К (кН), где К – класс нагрузки, равный 14.

Таким образом, нагрузка Н14 на одну ось:

$$P_{НК} = 18 \cdot K = 18 \cdot 14 = 252 \text{ кН}$$

База для нагрузки НК 3,6 м, расстояние между осями по 1,2 м, ширина колеи  $C = 2,7$  м, ширина ската колес – 0,8 м.

Расчётный изгибающий момент посередине пролёта от действия первого загрузения определяется по формуле:

$$M_1^{II} = \omega_c q_{расч}^{II} + P_{НК} \sum_1^4 y_i \cdot \xi_{НК} \cdot (1 + \mu)_{НК} \cdot \gamma_f^{НК} = \text{кНм}$$

где  $\xi_{НК}$  – коэффициент поперечной установки для НК;

$(1+\mu)_{\text{НК}}$  – коэффициент динамичности;

$P_{\text{НК}}$  – нагрузка на одну ось тележки НК, кН;

$W_c$  – суммарная площадь линии влияния изгибающих моментов, м<sup>2</sup>;

$\gamma_f^{\text{НК}}$  – коэффициент надежности по нагрузке;

$\sum_1^4 y_i$  – сумма ординат линии влияния изгибающих моментов под тележкой НК.

По аналогичной формуле производят вычисление расчётной поперечной силы:

$$Q_1^{\text{II}} = P_{\text{НК}} \sum_1^4 y_i \cdot \xi_{\text{НК}} \cdot (1 + \mu)_{\text{НК}} \cdot \gamma_f^{\text{НК}} = \text{кН}$$

где  $\sum_1^4 y_i$  – сумма ординат линии влияния поперечных сил под тележкой НК.

2-е загрузеие: вторая часть постоянной нагрузки плюс АК без соблюдения полосы безопасности.

Нормативная колесная нагрузка АК, включающую в себя двухосную тележку с нагрузкой на ось, равной 10К (кН) и равномерно-распределенной К (кН), где К – класс нагрузки, равный 14.

Таким образом, нагрузка А14 на одну ось тележки:

$$P_{\text{НК}} = 10 \cdot K = 10 \cdot 14 = 140 \text{ кН}$$

А равномерно-распределённая полосовая нагрузка:

$$q_{\text{АК}}^{\text{равн}} = K = 14 \text{ кН/м}$$

Расчетный изгибающий момент от второго загрузеия рассчитывается по следующей формуле:

$$M_2^{\text{II}} = \omega_c q_{\text{расч}}^{\text{II}} + \omega_o (q_{\text{АК}}^{\text{равн}} \cdot \xi_{\text{АК}} \cdot (1 + \mu)_{\text{АК}} \cdot \gamma_f^{\text{АК}}) + P_{\text{АК}} \sum_1^2 y_i \cdot \xi_{\text{АК}} \cdot (1 + \mu)_{\text{АКТ}} \cdot \gamma_f^{\text{АКТ}} = \text{кНм}$$

где  $\xi_{\text{АК}}$  – коэффициент поперечной установки для АК;

$(1+\mu)_{\text{АК}}$  – коэффициент динамичности для тележки АК;

$(1 + \mu)_{\text{АКТ}}$  – коэффициент динамичности для равномерно части АК;

$P_{\text{АК}}$  – нагрузка на одну ось тележки АК, кН;

$W_c$  – площадь линии влияния, м<sup>2</sup>;

$W_o$  – площадь положительных (отрицательных) участков линии влияния изгибающих моментов, м<sup>2</sup>;

$\gamma_f^{AK}$  – коэффициент надежности по нагрузке для равномерной части АК;

$\gamma_f^{AKT}$  – коэффициент надежности по нагрузке для тележки АК;

$\sum_1^2 y_i$  – сумма ординат линии влияния изгибающих моментов под тележкой АК.

Вычисление расчётной поперечной силы для 2-го нагружения:

$$Q_2^{II} = \omega_o (q_{AK}^{равн} \cdot \xi_{AK} \cdot (1 + \mu)_{AK} \cdot \gamma_f^{AK}) + P_{AK} \sum_1^2 y_i \cdot \xi_{AK} \cdot (1 + \mu)_{AKT} \cdot \gamma_f^{AKT} = \text{кН}$$

где  $\omega_o$  – площадь положительных (отрицательных) участков линии влияния поперечных сил, м<sup>2</sup>;

$\sum_1^2 y_i$  – сумма ординат линии влияния поперечных сил под тележкой АК.

3-е нагружение: вторая часть постоянной нагрузки плюс АК с соблюдения полосы безопасности плюс толпа на тротуаре.

Расчётный изгибающий момент посередине пролёта от действия четвертого нагружения определяется по формуле:

$$M_3^{II} = \omega_c q_{расч}^{II} + \omega_o (q_{AK}^{равн} \cdot \xi_{AK}^B \cdot (1 + \mu)_{AK} \cdot \gamma_f^{AK} + q_{ТО} \cdot T \cdot \xi_{ТО} \cdot \gamma_f^{ТО} (1 + \mu)_T) + P_{AK} \sum_1^2 y_i \cdot \xi_{AK}^B \cdot (1 + \mu)_{AKT} \cdot \gamma_f^{AKT} = \text{кНм}$$

где  $\xi_{AK}^B$  – КПУ для АК с соблюдение полосы безопасности;

$\xi_{ТО}$  – КПУ для толпы на тротуаре;

$(1 + \mu)_{AK}$  – коэффициент динамичности;

$(1 + \mu)_{AKT}$  – коэффициент динамичности для равномерно части АК;

$(1 + \mu)_T$  – коэффициент динамичности для толпы на тротуаре;

$P_{AK}$  – нагрузка на одну ось тележки АК, кН;

$\omega_c$  – площадь линии влияния, м<sup>2</sup>;

$\omega_o$  – площадь положительных (отрицательных) участков линии влияния изгибающих моментов, м<sup>2</sup>;

$\gamma_f^{AK}$  – коэффициент надежности по нагрузке для равномерной части АК;

$\gamma_f^{AKT}$  – коэффициент надежности по нагрузке для тележки АК;

$\gamma_f^{ТО}$  – коэффициент надежности по нагрузке для толпы на тротуаре;

$q_{ТО}$  – нагрузка от толпы на тротуаре ( $q_{ТО} = 2$  кН/м<sup>2</sup>);

$T$  – ширина тротуара, м;

$\sum_1^2 y_i$  – сумма ординаты линии влияния изгибающих моментов под тележкой АК.

Вычисление расчётной поперечной силы для 3-го нагружения:

$$Q_3^H = \omega_o(q_{AK}^{равн} \cdot \xi_{AK}^B \cdot (1 + \mu)_{AK} \cdot \gamma_f^{AK} + q_{TO} \cdot T \cdot \xi_{TO} \cdot \gamma_f^{TO} (1 + \mu)_T) + P_{AK} \sum_1^2 y_i \cdot \xi_{AK}^B \cdot (1 + \mu)_{AKT} \cdot \gamma_f^{AKT} = \text{кНм}$$

где  $\omega_o$  – площадь положительных (отрицательных) участков линии влияния поперечных сил, м<sup>2</sup>;

$\sum_1^2 y_i$  – сумма ординат линии влияния поперечных сил под тележкой АК.

Для удобства рассчитанные усилия заносят в таблицу 2. Из множества вычисленных значений для дальнейших расчётов выбирают максимальный изгибающий момент и максимальную поперечную силу.

Таблица 2 – Сводная таблица расчётных нагрузок.

|  | Длина<br>загружаемого<br>участка л. в. , м | $M_1^H$ ,<br>кНм | $M_2^H$ ,<br>кНм | $M_3^H$ ,<br>кНм |
|--|--|------------------|------------------|------------------|
| Отрицательный<br>участок л.в. М <sub>9</sub> | 57+57                                      |                  |                  |                  |
| Положительный<br>участок л.в. М <sub>9</sub> | 57   |                  |                  |                  |
|  |  | $Q_1^H$ ,<br>кН  | $Q_2^H$ ,<br>кН  | $Q_3^H$ ,<br>кН  |
| Отрицательный<br>участок л.в. Q <sub>9</sub> | 57+28,5                                    |                  |                  |                  |
| Отрицательный<br>участок л.в. Q <sub>9</sub> | 57+28,5                                    |                  |                  |                  |

## 9 КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ АВТОДОРОЖНОГО МОСТА

### 9.1 Конструирование главных балок

Запроектировав пролетное строение (назначив его длину, ширину, число главных балок и расстояние между ними) приступают к конструированию главных балок, т. е. назначают их основные размеры согласно рисунку 10.

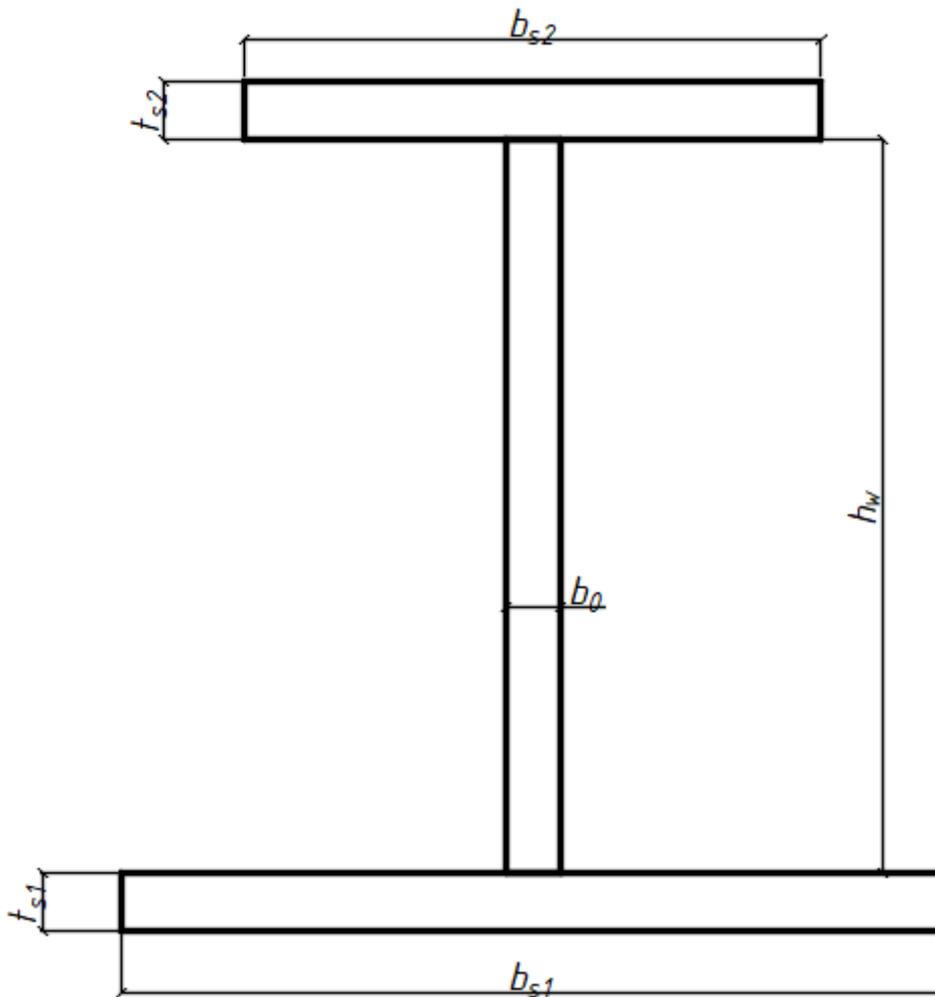


Рисунок 10 – Размеры элементов поперечного сечения главных балок:  
 $h_w$  – высота стенки;  $b_{s1}$  – ширина нижнего пояса;  $b_{s2}$  – ширина верхнего пояса;  
 $t_{s1}$  – толщина нижнего пояса;  $t_{s2}$  – толщина верхнего пояса;  $b_0$  – толщина вертикальной стенки.

Согласно типовому альбому серии 3.503.9-110.93 [4] размеры пролетов поперечного сечения главных балок приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Размеры поперечного сечения стальных главных балок.

| $l_n$ , м | Габарит     | $h_w$ , мм | $b_{s1}$ , мм | $b_{s2}$ , мм | $t_{s1}$ , мм | $t_{s2}$ , мм | $b_0$ , мм |
|-----------|-------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| 42        | Г10 и Г11,5 | 2480       | 950           | 750           | 32            | 32            | 12         |
| 42        | Г8          | 2480       | 850           | 560           | 32            | 32            | 12         |

Высота стенки балки определяется относительно длины пролёта. При вариантном проектировании высоту балки для других пролетов можно определить ориентировочно:

$$\frac{1}{20}l'_n \leq h$$

### 9.2 Конструирование железобетонной плиты проезжей части

В отечественном мостостроении преимущественно применяется железобетонная проезжая часть. Это объясняется созданием мощной индустриальной базы сборного железобетона и относительно суровыми климатическими условиями с продолжительным периодом холодного времени на большей части территории.

В настоящее время широкое применение имеют следующие виды железобетонной плиты проезжей части: с продольными ребрами (вутами) в местах опирания на главные балки и прогоны (рисунок 11, а), ребристая плита (рисунок 11, б). Ориентировочные размеры элементов этих плит представлены на рисунке 11.

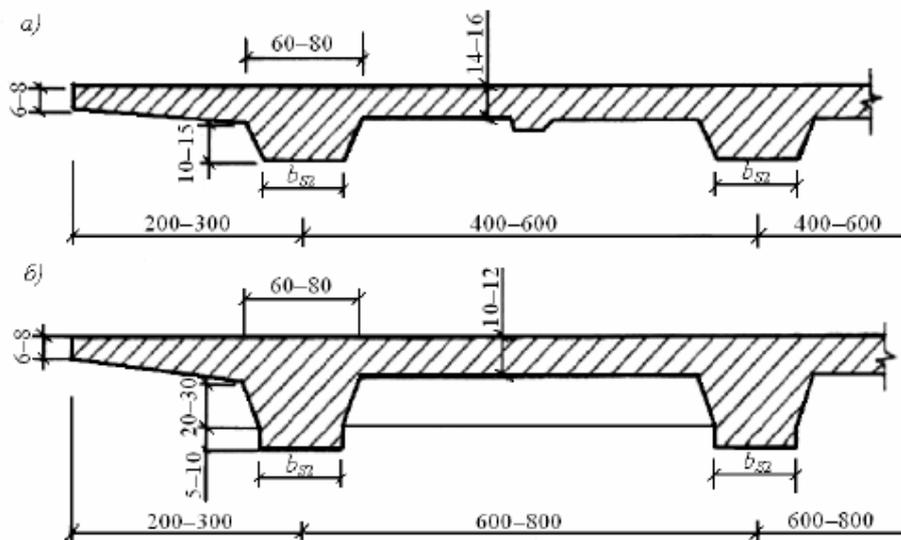


Рисунок 11 – Конструкции железобетонных плит:

- а – с продольными ребрами в местах опирания на главные балки и прогоны;
- б – ребристая плита

В данном курсовом проекте применяется железобетонная плита проезжей части согласно принятому типовому проекту и выглядит следующим образом:

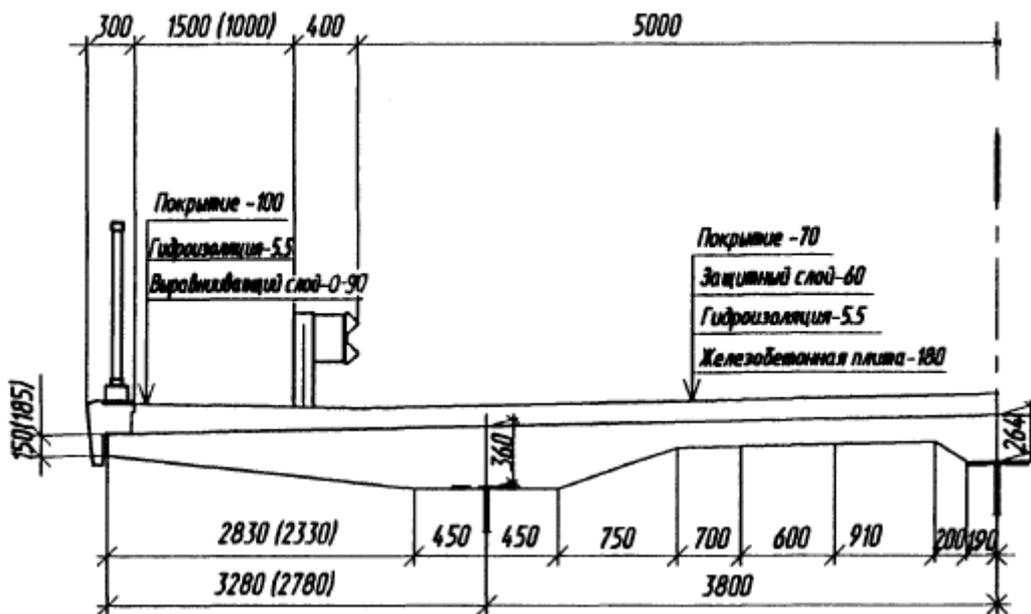


Рисунок 12 – Конструкции железобетонных плиты проезжей части для габарита Г10

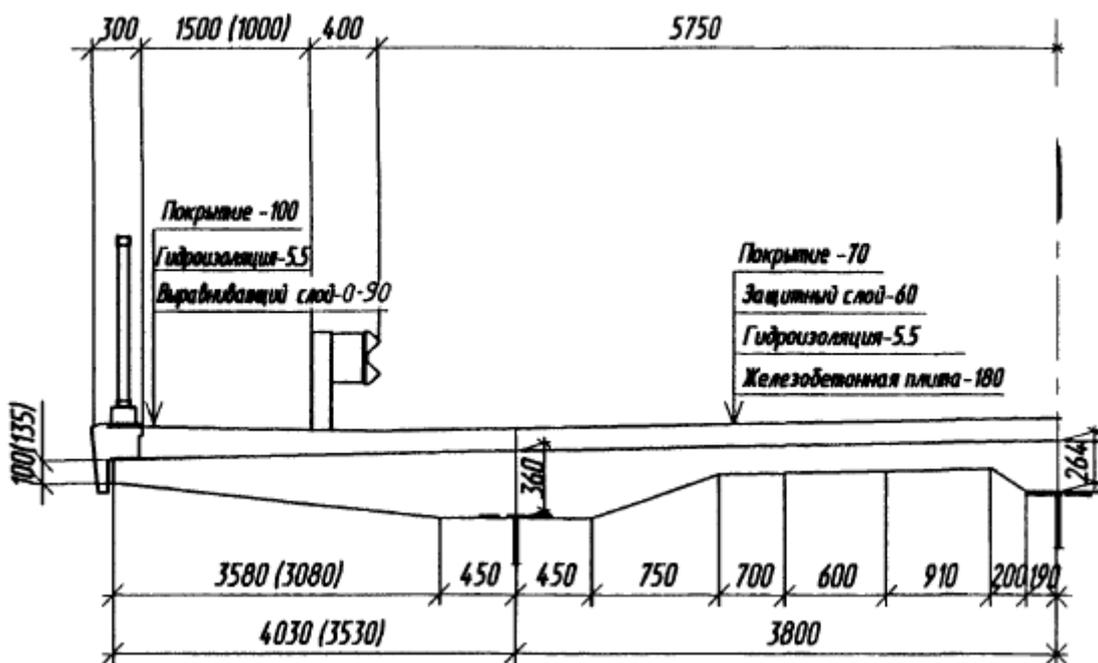


Рисунок 13 – Конструкции железобетонных плиты проезжей части для габарита Г11

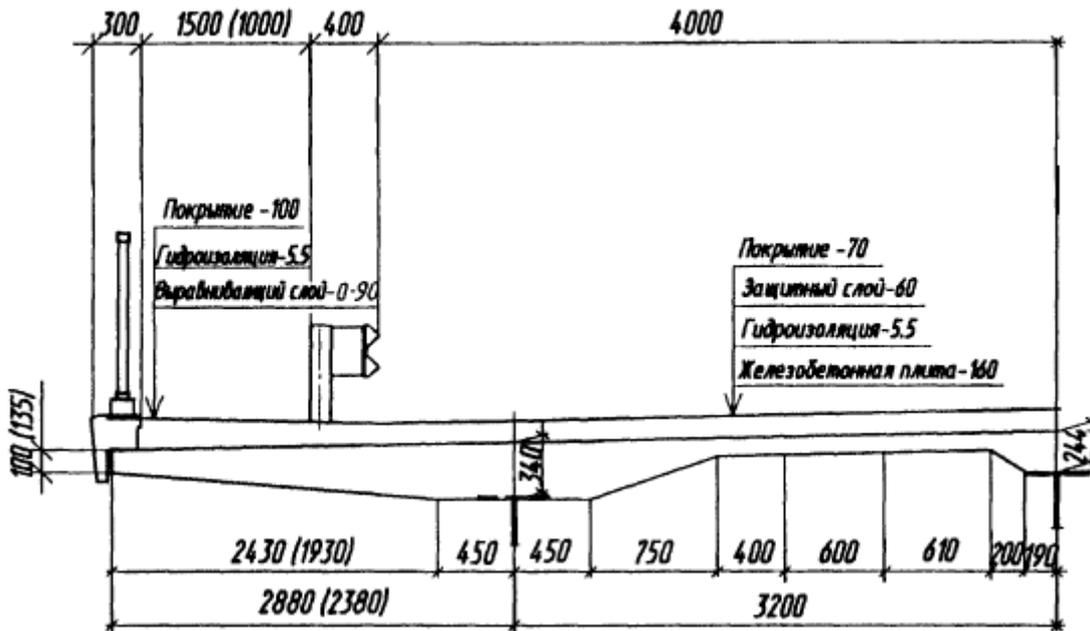


Рисунок 14 – Конструкции железобетонных плиты проезжей части для габарита Г8

### 9.3 Назначение расчетной схемы

Расчетную схему сталежелезобетонного сечения принимают в соответствии с ее проектной геометрической схемой, при этом расчетную ширину железобетонной плиты определяют, как сумму расчетных величин свесов плиты в обе стороны от оси стальной балки (рисунок 14).

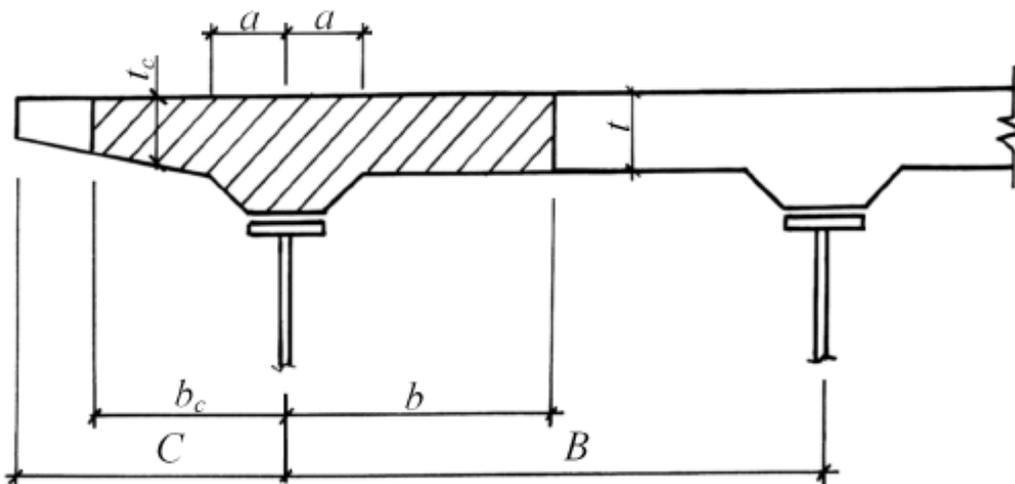


Рисунок 14 – Схема для определения расчетной ширины железобетонной плиты

Если  $l_n \geq 4B$ , то  $b = \frac{B}{2}$ ;

если  $l_n \leq 4B$ , то  $b = a + 6t$ , но  $\frac{l_n}{8} \leq b \leq \frac{B}{2}$ ;

если  $l_n \geq 4B$ , то  $b_c = C$ ;

если  $l_n < 12C$ , то  $b_c = a + 6t_c$ , но  $\frac{l_n}{12} \leq b_c \leq C$

Исходя из принятых размеров стальной балки и железобетонной плиты, назначают расчетную схему поперечного сечения (рисунок 15).

#### 9.4 Вычисление геометрических характеристик сталежелезобетонного сечения

Для принятой расчетной схемы (рисунок 15) вычисляют геометрические характеристики, в предположении упругой работы сечения.

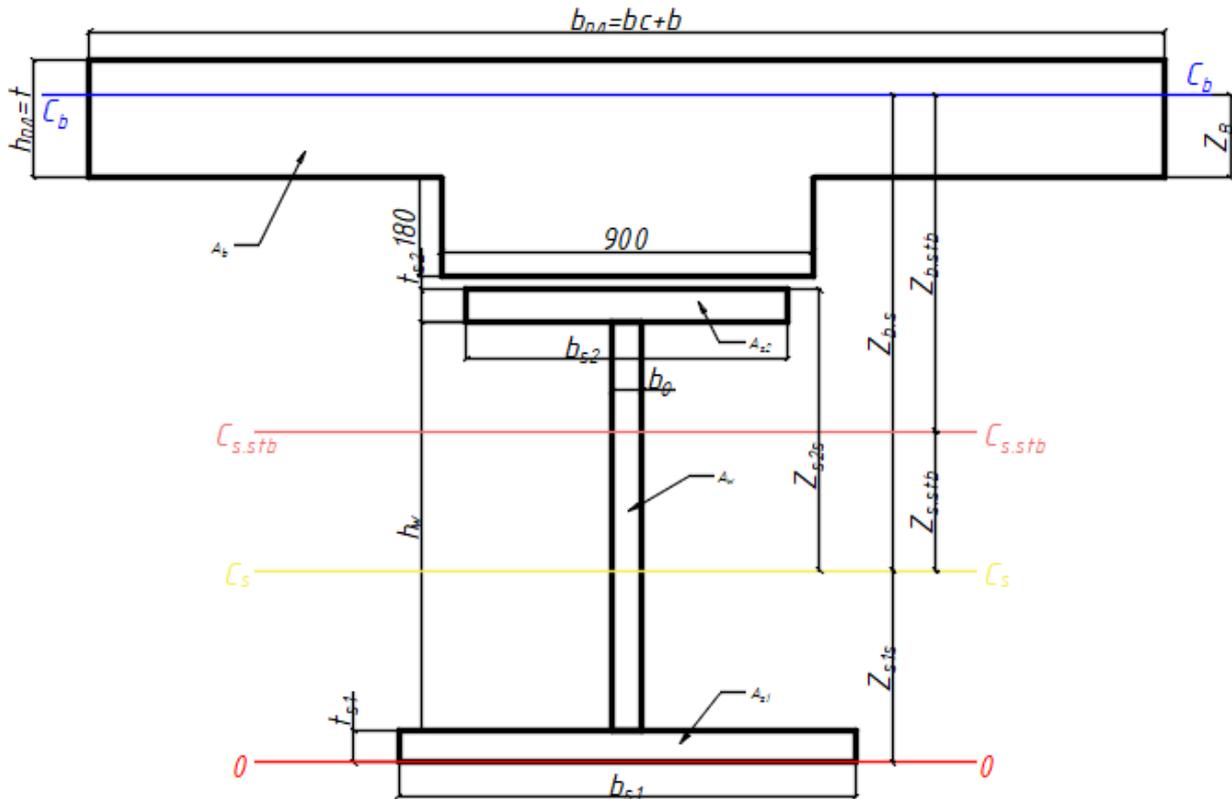


Рисунок 15 – Расчётная схема сечения

Вычисление коэффициента приведения к металлу:

$$n_b = \frac{E_s}{E_b}$$

где  $E_s = 2,06 \cdot 10^5$  МПа — модуль упругости конструкционного металла стальной части;

$E_b$  — модуль упругости бетона при сжатии и растяжении, определяемый по п. 7.32. СП35.13330 [3].

Площадь поперечного сечения стальной балки:

$$\begin{aligned} A_s &= A_{s1} + A_w + A_{s2} \\ A_{s1} &= b_{s1} \cdot t_{s1} \\ A_{s2} &= b_{s2} \cdot t_{s2} \\ A_w &= h_w \cdot b_0 \end{aligned}$$

где  $A_{s1}$  – площадь поперечного сечения нижнего пояса стальной балки;  
 $A_{s2}$  – площадь поперечного сечения верхнего пояса стальной балки;  
 $A_w$  – площадь поперечного сечения вертикальной стенки балки.

Площадь поперечного сечения сталежелезобетонной плиты:

$$A_b = b_{пл} h_{пл} + 18,0 \cdot 90,0$$

Приведенная площадь сталежелезобетонного сечения:

$$A_{stb} = \frac{1}{n_b} A_b + A_s$$

Определение статического момента чисто стального сечения относительно оси 0-0:

$$S_{s1}^{o-o} = A_{s1} \times \frac{t_{s1}}{2}$$

$$S_{s2}^{o-o} = A_{s2} \times \left( t_{s1} + h_w + \frac{t_{s2}}{2} \right)$$

$$S_w^{o-o} = A_w \times \left( t_{s1} + \frac{h_w}{2} \right)$$

Положение нейтральной оси стального сечения:

$$Z_{s1s} = \frac{S_s^{o-o}}{A_s} = \frac{S_{s1}^{o-o} + S_{s2}^{o-o} + S_w^{o-o}}{A_s}$$

Определение расстояния от нейтральной оси стального сечения до нейтральной оси чисто железобетонной плиты проезжей части:

$$Z_B = \frac{b_{пл} \times \frac{h_{пл}^2}{2} - 18 \times 90 \times \left( \frac{18}{2} \right)}{b_{пл} \times h_{пл} + 18 \times 90}$$

$$Z_{bs} = Z_b + 18 + t_{s2} + h_w + t_{s1} - Z_{s1s}$$

Статический момент сталежелезобетонного сечения относительно центра тяжести стальной части:

$$S_{stb} = \frac{1}{n_b} \times A_b \times Z_{bs}$$

Расстояние между центрами тяжести стального и сталежелезобетонного сечения:

$$Z_{s.stb} = \frac{S_{stb}}{A_{stb}}$$

Момент инерции железобетонной плиты относительно собственной нейтральной оси:

$$I_b = \left[ \frac{b_{пл} \times h_{пл}^3}{12} + \left( \frac{h_{пл}}{2} - Z_b \right)^2 \times b_{пл} \times h_{пл} \right] + \left[ \frac{90 \times 18^3}{12} + \left( \frac{18}{2} + Z_b \right)^2 \times 18 \times 90 \right]$$

Момент инерции стальной части относительно собственной нейтральной оси:

$$I_s = \left[ \frac{b_{s1} \times t_{s1}^3}{12} + \left( Z_{s1s} - \frac{t_{s1}}{2} \right)^2 A_{s1} \right] + \left[ \frac{b_{s2} \times t_{s2}^3}{12} + \left( \frac{t_{s2}}{2} + h_w + t_{s1} - Z_{s1s} \right)^2 A_{s2} \right] + \left[ \frac{b_0 \times h_w^3}{12} + \left( \frac{h_w}{2} + t_{s1} - Z_{s1s} \right)^2 A_w \right]$$

Момент инерции сталежелезобетонного сечения относительно собственной нейтральной оси:

$$I_{stb} = I_s + A_s \times (Z_{s.stb})^2 + \frac{I_b}{n_b} + \frac{A_b}{n_b} \times (Z_{bs} - Z_{s.stb})^2$$

Определение расстояния от нейтральной оси стального сечения до верхнего пояса стальной балки:

$$Z_{s2s} = (t_{s2} + h_w + t_{s1} - Z_{s1s})$$

Определение расстояния от нейтральной оси железобетонной плиты до нейтральной оси сталежелезобетонного сечения:

$$Z_{b.stb} = Z_{b.s} - Z_{s.stb}$$

Моменты сопротивления стального сечения для крайних фибр:

$$W_{s1s} = \frac{I_s}{Z_{s1s}}$$

$$W_{s2s} = \frac{I_s}{Z_{s2s}}$$

Момент сопротивления железобетонной плиты сталежелезобетонного сечения на уровне её центра тяжести:

$$W_{b.stb} = \frac{I_{stb}}{Z_{b.stb}}$$

Условный момент сопротивления на уровне центра тяжести сечения бетона:

$$W_{bs} = \frac{I_s}{Z_{bs}}$$

## 10 ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ СЕЧЕНИЯ

Расчеты выполняются исходя из гипотезы плоских сечений, без учета податливости швов объединения железобетонной плиты со стальной частью, учитывая особенности работы сталежелезобетонных балок, связанные с принятым способом возведения (стадийность) конструкции пролетного строения.

Напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных сечений определяется тремя расчетами (рисунок 16): случай А – упругая работа бетона и арматуры плиты проезжей части; случай Б – пластическая работа бетона при упругой работе арматуры; случай В – пластическая работа бетона и арматуры плиты проезжей части. Во всех трех расчетных случаях учитывается возможность появления ограниченных пластических деформаций в стальном сечении.

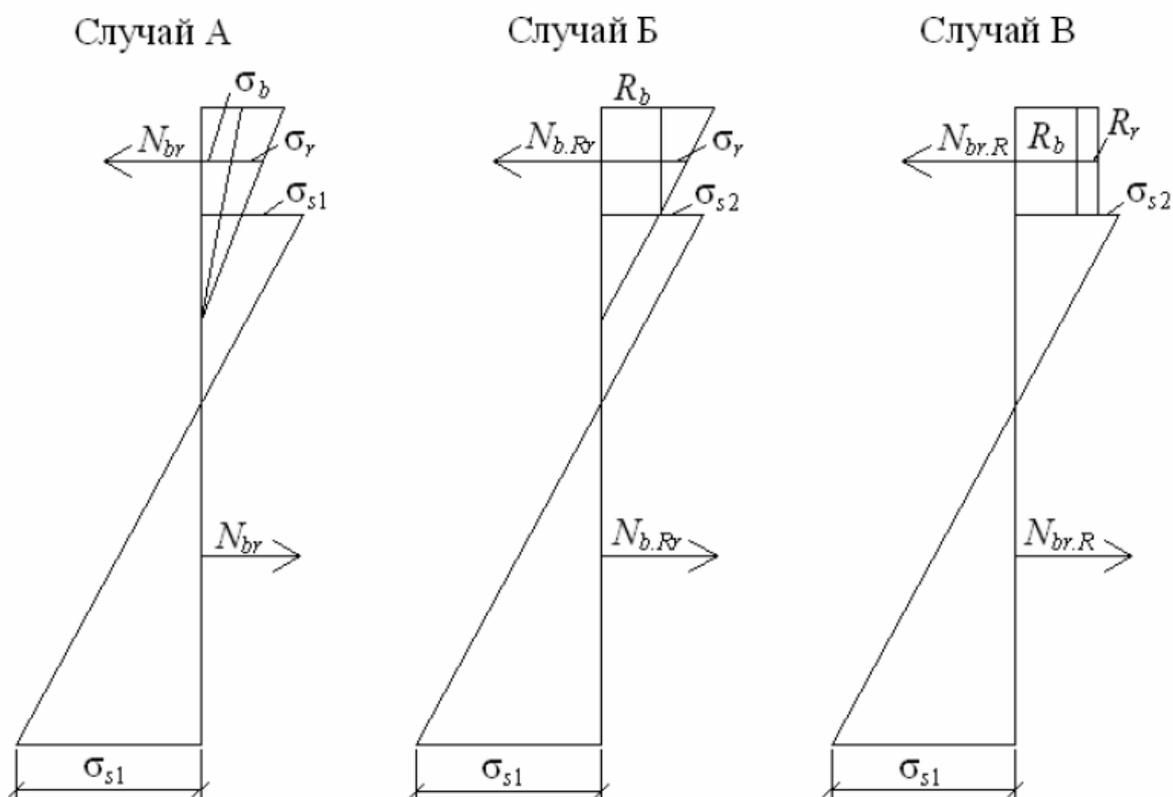


Рисунок 16 – Расчетные случаи сталежелезобетонного сечения

Так как продольная арматура плиты проезжей части в расчетах не учитывается, то возможны два расчетных случая: случай А – упругая работа бетона и случай Б – пластическая работа бетона.

Для выполнения расчетов по данной методике должно выполняться условие:

$$E_b I_b \leq 0,2 E_s I_s$$

Определяют напряжение в бетоне плиты проезжей части на уровне его центра тяжести:

$$\sigma_b = \frac{M_2}{n_b W_{b.stb}} \leq m_b R_b$$

где  $M_2 = M^{II}$  – расчетный изгибающий момент от нагрузок второй стадии работы (постоянных и временных);

$m_b = 1,0$  – коэффициент условия работы бетона;

$R_b$  – расчетное сопротивление бетона согласно табл. 7,6 СП35.13330[3].

Если условие выполняется, то расчет производится по случаю А в следующем порядке:

– проверка прочности верхнего пояса:

$$\frac{M - Z_{bs} N_{br}}{\xi_4 W_{s2s}} - \frac{N_{br}}{A_s} \leq m_1 m R_y$$

– проверка прочности нижнего пояса:

$$\frac{M - Z_{bs} N_{br}}{\xi_3 W_{s1s}} + \frac{N_{br}}{A_s} \leq m R_y$$

где  $M = M^{II} + M^I$  – полный расчетный изгибающий момент от нагрузок обеих стадий работы;

$N_{br} = \sigma_b A_b$  – расчетное сопротивление железобетонной плиты;

$R_y$  – расчетное сопротивление стали по пределу текучести, табл. 8,5 СП35.13330;

$m = 1,0$  – коэффициент условия работы;

$\xi_4 = \frac{\xi_3}{m_1}$  – поправочный коэффициент к моменту сопротивления при проверке стального верхнего пояса, принимаемый не менее 1,0;

$m_1 = 1 + \frac{m_b R_b - \sigma_b}{m R_y} \cdot \frac{A_b}{A_{s2}}$  — коэффициент условий работы верхнего стального пояса, учитывающий его разгрузку прилегающим недонапряженным бетоном и принимаемый не более 1,2;

$\xi_3 = 1 + \eta(\xi - 1)$  – поправочный коэффициент к моменту сопротивления при расчете прочности стальной балки на совместное действие изгибающего момента и осевой силы;

$\eta$  – коэффициент, принимаемый по таблице 4;

$\xi$  – коэффициент, учитывающий ограниченное развитие пластических деформаций в сечении, определяется по формуле:

при  $\tau_m \leq 0,25 R_s$  то  $\xi = \xi_1$ ;

при  $0,25 R_s < \tau_m \leq R_s$  то  $\xi = 1,555 \xi_1 \sqrt{1 - \frac{Q}{Q_u}}$ , при этом  $0 \leq \xi \leq \xi_1$ ;

где  $\tau_m = \frac{Q}{h_w b_0}$  – среднее касательное напряжение в стенке балки;

$\xi_1$  – коэффициент, принимаемый по таблице 6;

$R_s = 0,58 R_y$  – расчетное сопротивление сдвигу;

Таблица 4 – значения коэффициента  $\eta$

| $\frac{As}{As1}$ | Значения коэффициентов $\eta$ при $N/AsmRy$ |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
|------------------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                  | 0,00  | 0,05                | 0,10                | 0,15                | 0,20                | 0,25                | 0,30                | 0,35                | 0,40                | 0,45                | 0,50                | 0,55                | 0,60                | 0,65                | 0,7                 |
| 0,0              | $\frac{1,0}{1,0}$                           | $\frac{1,0}{0,98}$  | $\frac{1,0}{0,94}$  | $\frac{1,0}{0,90}$  | $\frac{1,0}{0,87}$  | $\frac{1,0}{0,81}$  | $\frac{0,99}{0,75}$ | $\frac{0,98}{0,67}$ | $\frac{0,96}{0,58}$ | $\frac{0,95}{0,45}$ | $\frac{0,92}{0,28}$ | $\frac{0,88}{0,52}$ | $\frac{0,83}{0,68}$ | $\frac{0,75}{0,76}$ | $\frac{0,63}{0,82}$ |
| 0,2              | $\frac{1,0}{1,0}$                           | $\frac{1,0}{0,97}$  | $\frac{1,0}{0,92}$  | $\frac{1,02}{0,87}$ | $\frac{1,03}{0,80}$ | $\frac{1,04}{0,70}$ | $\frac{1,05}{0,57}$ | $\frac{1,06}{0,38}$ | $\frac{1,07}{0,49}$ | $\frac{1,06}{0,61}$ | $\frac{1,05}{0,72}$ | $\frac{1,02}{0,82}$ | $\frac{0,99}{0,91}$ | $\frac{0,90}{0,99}$ | $\frac{0,75}{1,05}$ |
| 0,4              | $\frac{1,0}{1,0}$                           | $\frac{1,04}{0,90}$ | $\frac{1,08}{0,80}$ | $\frac{1,12}{0,67}$ | $\frac{1,14}{0,52}$ | $\frac{1,16}{0,34}$ | $\frac{1,19}{0,53}$ | $\frac{1,20}{0,68}$ | $\frac{1,21}{0,84}$ | $\frac{1,20}{0,98}$ | $\frac{1,18}{1,12}$ | $\frac{1,16}{1,22}$ | $\frac{1,13}{1,30}$ | $\frac{1,09}{1,38}$ | $\frac{1,04}{1,42}$ |
| 0,6              | $\frac{1,0}{1,0}$                           | $\frac{1,10}{0,84}$ | $\frac{1,19}{0,64}$ | $\frac{1,28}{0,40}$ | $\frac{1,35}{0,56}$ | $\frac{1,40}{0,75}$ | $\frac{1,44}{0,95}$ | $\frac{1,46}{1,13}$ | $\frac{1,47}{1,30}$ | $\frac{1,46}{1,45}$ | $\frac{1,45}{1,58}$ | $\frac{1,42}{1,69}$ | $\frac{1,39}{1,76}$ | $\frac{1,35}{1,84}$ | $\frac{1,30}{1,90}$ |
| 0,8              | $\frac{1,0}{1,0}$                           | $\frac{1,20}{0,61}$ | $\frac{1,39}{0,51}$ | $\frac{1,55}{0,84}$ | $\frac{1,70}{1,12}$ | $\frac{1,83}{1,36}$ | $\frac{1,93}{1,60}$ | $\frac{1,98}{1,86}$ | $\frac{2,00}{2,08}$ | $\frac{2,02}{2,29}$ | $\frac{2,01}{2,47}$ | $\frac{1,99}{2,52}$ | $\frac{1,97}{2,50}$ | $\frac{1,91}{2,46}$ | $\frac{1,84}{2,38}$ |
| 1,0              | $\frac{1,0}{1,0}$                           | $\frac{1,29}{1,29}$ | $\frac{1,63}{1,63}$ | $\frac{2,04}{2,04}$ | $\frac{2,47}{2,47}$ | $\frac{2,86}{2,86}$ | $\frac{3,20}{3,20}$ | $\frac{3,38}{3,38}$ | $\frac{3,49}{3,49}$ | $\frac{3,56}{3,56}$ | $\frac{3,57}{3,57}$ | $\frac{3,53}{3,53}$ | $\frac{3,43}{3,43}$ | $\frac{3,29}{3,29}$ | $\frac{3,05}{3,05}$ |

Примечания: В числителе даны значения  $\eta$  для верхнего пояса, в знаменателе – для нижнего.  $N=N_{br}$ ;  $N=N_{br,r}$ ;  $N=N_{br,R}$  – в зависимости от расчетного случая.

Таблица 6 – значения коэффициента  $\xi_1$

| $\frac{As}{Aw}$ | Значение коэффициентов $\xi_1$ при $(As1+Aw)/As$ |       |       |       |       |       |        |       |       |       |
|-----------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
|                 | 0,01   | 0,1   | 0,2   | 0,3   | 0,4   | 0,5   | 0,6    | 0,7   | 0,8   | 0,9   |
| 0               | 1,243  | 1,248 | 1,253 | 1,258 | 1,264 | 1,269 | 1,274  | 1,273 | 1,283 | 1,267 |
| 0,1             | 1,187  | 1,191 | 1,195 | 1,199 | 1,202 | 1,206 | 1,209  | 1,212 | 1,214 | 1,60  |
| 0,2             | 1,152  | 1,155 | 1,58  | 1,162 | 1,165 | 1,168 | 1,170  | 1,172 | 1,150 | –     |
| 0,3             | 1,128  | 1,131 | 1,133 | 1,136 | 1,139 | 1,142 | 1,144  | 1,145 | 1,097 | –     |
| 0,4             | 1,110  | 1,113 | 1,115 | 1,118 | 1,120 | 1,123 | 1,125  | 1,126 | 1,609 | –     |
| 0,5             | 1,097  | 1,099 | 1,102 | 1,104 | 1,108 | 1,109 | 1,110  | 1,106 | 1,061 | –     |
| 0,6             | 1,087  | 1,089 | 1,091 | 1,093 | 1,095 | 1,097 | 1,099  | 1,079 | –     | –     |
| 0,7             | 1,078  | 1,080 | 1,082 | 1,084 | 1,086 | 1,088 | 1,090  | 1,055 | –     | –     |
| 0,8             | 1,071  | 1,073 | 1,075 | 1,077 | 1,079 | 1,081 | 1,0832 | 1,044 | –     | –     |
| 0,9             | 1,065  | 1,067 | 1,069 | 1,071 | 1,073 | 1,074 | 1,074  | 1,036 | –     | –     |
| 1,0             | 1,060  | 1,062 | 1,064 | 1,066 | 1,067 | 1,069 | 1,071  | 1,031 | –     | –     |
| 2,0             | 1,035  | 1,036 | 1,037 | 1,038 | 1,039 | 1,040 | 1,019  | –     | –     | –     |
| 3,0             | 1,024  | 1,025 | 1,026 | 1,027 | 1,028 | 1,029 | 1,017  | –     | –     | –     |
| 4,0             | 1,019  | 1,019 | 1,020 | 1,021 | 1,021 | 1,022 | 1,015  | –     | –     | –     |
| 5,0             | 1,015  | 1,015 | 1,017 | 1,018 | 1,018 | –     | –      | –     | –     | –     |

$Q_u$  – предельная поперечная сила, определяемая по формуле:

$$Q_u = \frac{R_s m \xi_2 I_{stb} b_0}{S}$$

$\xi_2 = 1,25 - 0,25 \frac{\tau_{min}}{\tau_{max}}$  – поправочный коэффициент упруго-пластической деформации при сдвиге;

$\tau_{min} = \frac{QS_{II}}{I_{stb}b_0}$  – значение минимального касательного напряжения, вычисленного в предположении упругой работы сечения;

$\tau_{max} = \frac{QS_I}{I_{stb}b_0}$  значение максимального касательного напряжения, вычисленного в предположении упругой работы сечения;

$S_I$  – статический момент верхней части сталежелезобетонного сечения, расположенной выше нейтральной оси;

$S_{II}$  – статический момент нижней части сталежелезобетонного сечения (нижнего пояса), расположенной ниже оси, проведенной на контакте стенки и нижнего пояса;

$S$  – статический момент сдвигаемой части сечения брутто относительно нейтральной оси.

$$S_I = b_0 \frac{(h_w + t_{s1} - Z_{s1s} - Z_{s.stb})^2}{2} + A_{s2} \left( Z_{s2s} - Z_{s.stb} - \frac{t_{s2}}{2} \right) + A_b Z_{s.stb}$$

$$S_{II} = b_0 \frac{(Z_{s1s} + Z_{s.stb} - t_{s1})^2}{2} + A_{s1} \left( Z_{s.stb} - Z_{s1s} - \frac{t_{s1}}{2} \right)$$

$$S = AZ_{s.stb}$$

Если  $\sigma_b > R_b$ , то расчет производят по случаю Б в следующем порядке:

– проверка прочности верхнего пояса:

$$\frac{M - Z_{bs}N_{br.R}}{\xi_3 W_{s2s}} - \frac{N_{br.R}}{A_s} \leq mR_y$$

– проверка прочности нижнего пояса:

$$\frac{M - Z_{bs}N_{br.R}}{\xi_3 W_{s1s}} + \frac{N_{br.R}}{A_s} \leq mR_y$$

где  $N_{br.R} = R_b A_b$

Проверка бетона по деформациям:

$$\frac{K}{E_s} \left( \frac{M_2 - Z_{bs}N_{br.R}}{W_{b.s}} - \frac{N_{br.R}}{A_s} \right) \leq 0,0016$$

где  $W_{b.s}$  – условный момент сопротивления на уровне центра тяжести бетона;  
 $K$  – коэффициент, учитывающий увеличение относительных деформаций бетона при развитии пластических деформаций, равный:

$$K = 1 + \frac{0,0009E_s}{mR_y}$$

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ищенко М.Т. Методические указания к выполнению курсового проекта «Автодорожный сталежелезобетонный мост». Расчет разрезных и неразрезных сталежелезобетонных пролетных строений. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2008. – 55 с
2. Картопольцев, В.М. Проектирование металлических мостов: учеб. пособие / В.М. Картопольцев, А.Г. Боровиков. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2008. – 71 с
3. СП 35.13330.2012. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84. Введ. 2011-05-20. – М.: ОАО «ЦПП», 2011 – 341 с
4. Серия 3.503.9-110.93. Пролетные строения сталежелезобетонные автодорожные, разрезные и неразрезные с ездой поверху под габариты Г-8, Г-10 и Г-11,5 в обычном и северном исполнении. Введ. 1998-09-01. - М.: ОАО «Трансмост», 1998

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

| Последняя цифра шифра | Габарит и ширина тротуаров или по заданию преподавателя, м | Вторая цифра от конца шифра | Схемы неразрезных пролетных строений, м |
|-----------------------|--|-----------------------------|---|
| 0                     | Г-11,5+2×1,5   | 0                           | 42+63+42                                |
| 1                     | Г-8+2×1,0  | 1                           | 42+58,8+42                              |
| 2                     | Г-10+2×1,5   | 2                           | 42+42+42                                |
| 3                     | Г-11,5+2×1,5   | 3                           | 39+58,5+39                              |
| 4                     | Г-10+2×1,0   | 4                           | 57+57+57                                |
| 5                     | Г-11,5+2×1,5   | 5                           | 45+45+45                                |
| 6                     | Г-8+2×1,5  | 6                           | 33+ 46,2+33                             |
| 7                     | Г-10+2×1,5   | 7                           | 33+49,5+33,0                            |
| 8                     | Г-10+2×1,0   | 8                           | 36 +57,6+36                             |
| 9                     | Г-8+2×1,0  | 9                           | 33+52,8+33                              |

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 1 – Коэффициенты для построения линий влияния изгибающих моментов и поперечных сил для трех пролетов  $l_1:l_2:l_3 = 1:1:1$

| Номера ординат<br>(точки<br>приложения<br>единичной силы) | Коэффициенты к<br>координатам линий<br>влияния $M$ в сечениях | Ординаты<br>линий<br>влияния $Q$ |
|---|---|----------------------------------|
|   | $M_g$   | $Q_g$                            |
| 0   | 0   | 0                                |
| 1   | -0,0162   | 0,054                            |
| 2   | -0,0296   | 0,0987                           |
| 3   | -0,0375   | 0,125                            |
| 4   | -0,037  | 0,1234                           |
| 5   | -0,0254   | 0,0846                           |
| 6   | 0   | 0                                |
| 7   | 0,0418  | -0,1361                          |
| 8   | 0,1002  | -0,3087                          |
| 9   | 0,175   | -0,5 (+0,5)                      |
| 10  | 0,1002  | 0,3087                           |
| 11  | 0,0418  | 0,1261                           |
| 12  | 0   | 0                                |
| 13  | -0,0254   | -0,0846                          |
| 14  | -0,037  | -0,1234                          |
| 15  | -0,0375   | -0,125                           |
| 16  | -0,0296   | -0,0987                          |
| 17  | -0,0162   | -0,054                           |
| 18  | 0   | 0                                |

Таблица 2 – Коэффициенты для построения линий влияния изгибающих моментов и поперечных сил для трех пролетов  $l_1:l_2:l_3 = 1:1,4:1$

| Номера ординат<br>(точки приложения<br>единичной<br>силы) | Коэффициенты к<br>координатам линий<br>влияния $M$ в сечениях | Ординаты<br>линий<br>влияния $Q$ |
|---|---|----------------------------------|
|   | $M_g$   | $Q_g$                            |
| 0   | 0   | 0                                |
| 1   | -0,0131   | 0,034                            |
| 2   | -0,0239   | 0,0622                           |
| 3   | -0,0302   | 0,0788                           |
| 4   | -0,0298   | 0,0778                           |
| 5   | -0,0205   | 0,0533                           |
| 6   | 0   | 0                                |
| 7   | 0,0511  | -0,1287                          |
| 8   | 0,1286  | -0,303                           |
| 9   | 0,1584  | -0,5(+0,5)                       |
| 10  | 0,1286  | 0,303                            |
| 11  | 0,0511  | 0,1287                           |
| 12  | 0   | 0                                |
| 13  | -0,0205   | -0,0533                          |
| 14  | -0,0298   | -0,0778                          |
| 15  | -0,0302   | -0,0788                          |
| 16  | -0,0239   | -0,0622                          |
| 17  | -0,0131   | -0,034                           |
| 18  | 0   | 0                                |

Таблица 3 – Коэффициенты для построения линий влияния изгибающих моментов и поперечных сил для трех пролетов  $l_1:l_2:l_3 = 1:1,5:1$

| Номера ординат<br>(точки приложения<br>единичной силы) | Коэффициенты к<br>координатам линий<br>влияния $M$ в сечениях | Ординаты<br>линий<br>влияния $Q$ |
|--|---|----------------------------------|
|  | $M_g$   | $Q_g$                            |
| 0  | 0   | 0                                |
| 1  | -0,0125   | 0,0309                           |
| 2  | -0,0228   | 0,0564                           |
| 3  | -0,0289   | 0,0715                           |
| 4  | -0,0284   | 0,0706                           |
| 5  | -0,0195   | 0,0483                           |
| 6  | 0   | 0                                |
| 7  | 0,0528  | -0,1272                          |
| 8  | 0,1346  | -0,3016                          |
| 9  | 0,2450  | -0,5(+0,5)                       |
| 10   | 0,1346  | 0,3016                           |
| 11   | 0,0528  | 0,1272                           |
| 12   | 0   | 0                                |
| 13   | -0,0195   | -0,0483                          |
| 14   | -0,0284   | -0,0706                          |
| 15   | -0,0289   | -0,0715                          |
| 16   | -0,0228   | -0,0564                          |
| 17   | -0,0125   | -0,0309                          |
| 18   | 0   | 0                                |

Таблица 4 – Коэффициенты для построения линий влияния изгибающих моментов и поперечных сил для трех пролетов  $l_1:l_2:l_3 = 1:1,6:1$

| Номера ординат<br>(точки приложения<br>единичной силы) | Коэффициенты к<br>координатам линий<br>влияния $M$ в сечениях | Ординаты<br>линий<br>влияния $Q$ |
|--|---|----------------------------------|
|  | $M_g$   | $Q_g$                            |
| 0  | 0   | 0                                |
| 1  | -0,0119   | 0,0281                           |
| 2  | -0,0218   | 0,0515                           |
| 3  | -0,0276   | 0,0652                           |
| 4  | -0,0272   | 0,0643                           |
| 5  | -0,0187   | 0,0441                           |
| 6  | 0   | 0                                |
| 7  | 0,0547  | -0,3002                          |
| 8  | 0,1008  | -0,1257                          |
| 9  | 0,2587  | -0,5(+0,5)                       |
| 10   | 0,1008  | 0,3002                           |
| 11   | 0,0547  | 0,1257                           |
| 12   | 0   | 0                                |
| 13   | -0,0187   | -0,0441                          |
| 14   | -0,0272   | -0,0643                          |
| 15   | -0,0276   | -0,0652                          |
| 16   | -0,0218   | -0,0515                          |
| 17   | -0,0119   | -0,0281                          |
| 18   | 0   | 0                                |