

ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
«КОЛЛЕДЖ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
И ЗАДАНИЕ К РАСЧЕТНОЙ ЗАДАЧЕ  
по выполнению лабораторных работ  
(Практические занятия № 4-7)**

**МДК 1.2 Проектирование инженерных сооружений  
Тема: Проектирование деревянного моста через водную преграду (овраг)  
на автомобильной дороге IV категории**

для студентов по специальности  
Специальность: 08.02.02 Строительство и эксплуатация инженерных  
сооружений

Москва, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	3
2 СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ МОСТА	5
2.1 Определение величины и количества пролетов моста	5
2.2 Размещение моста на профиле препятствия	5
Схема моста	7
3 РАСЧЕТ ПРОГОНОВ	8
3.1 Расчетная схема прогонов	8
3.2 Нормативные нагрузки на пролетное строение	9
3.3 Коэффициент поперечной установки	9
3.4 Расчетные изгибающие моменты в прогоне	12
3.5 Подбор сечения прогонов	15
3.6 Расчет прогонов на прогиб	17
4 РАСЧЕТ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ	19
4.1 Расчетная схема настила и нагрузки на него	19
4.2 Изгибающие моменты	19
4.3 Подбор сечения настила	20
5 РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОПОРЫ	22
5.1 Давление на один ряд свай или стоек в опоре	22
5.2 Расчет стойки	24
5.3 Расчет сваи	26
5.4 Расчет насадки	28
5.4.1 Расчет насадки на смятие	28
5.4.2 Расчет насадки на изгиб	31
6. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВАРИАНТОВ РАСЧЕТНОЙ ЗАДАЧИ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ	35
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	37

# 1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Мост запроектирован через овраг с периодически действующим водотоком.

Мост расположен на прямом горизонтальном участке автомобильной дороги.

Наименование грунта – глинистый при показателе консистенции  $I_L=0,5$ .

Категория дороги – IV.

Габарит моста – Г-8.

Отверстие моста – 42,0 м.

Возвышение верха проезжей части над уровнем воды – 5,5 м.

Интенсивность постоянной нагрузки проезжей части моста – 2,15 кН/м<sup>2</sup>.

Временная подвижная нагрузка – А8, ось А11 и НГ-60.

Древесина для конструкций моста принята 1-го сорта с влажностью не более 25%.

Порода древесины – пихта.

Предельная длина бревен для конструкции – 7,0 м.

Нижний настил проезжей части моста – из пластин.

Предельный диаметр бревен в тонком конце – 0,36 м.

Рассчитать промежуточную опору – пространственную.

Данные о профилях перехода:

Отметки поверхности грунта, м:

а – 61,2

б – 57,6

в – 57,1

г – 56,0

д – 57,5

е – 57,6

ж – 60,8

Расстояние между отметками, м:

а-б – 16,0

б-в – 30,0

в-г – 10,0

г-д – 8,0

д-е – 15,0

е-ж – 11,0

Отметка уровня воды – 57,6 м.

## 2 СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ МОСТА

### 2.1 Определение величины и количества пролетов моста

Величина пролетов моста  $l$  принимается на 0,6 м меньше заданной предельной длины бревен 7 м [1].

$$l = 7 - 0,6 = 6,4 \text{ м.}$$

Требуемое количество пролетов моста:

$$n_{mp} = \frac{L_0 + 3\Delta H - b_0}{l - b_0}, \quad (2.1)$$

где  $L_0 = 42$  м - заданное отверстие моста;

$\Delta H = 5,5$  м - возвышение верха проезжей части над уровнем воды;

$b_0 = 0,36$  м - ширина опоры моста.

$$n_{тр} = \frac{42 + 3 \cdot 5,5 - 0,36}{6,4 - 0,36} = 9,62.$$

Принимается десять пролетов.

### 2.2 Размещение моста на профиле препятствия

При десяти пролетах моста предварительная длина моста составляет 64 м. Для обеспечения продольной устойчивости моста принимается три башенных опоры шириной:

$$b'_0 = \frac{\Delta H}{4} = \frac{5,5}{4} = 1,375 \sim 1,5 \text{ м.}$$

Расстояние между осями береговых опор:

$$Z = n \cdot l + \sum b'_0, \quad (2.2)$$

$$Z = 10 \cdot 6,4 + 3 \cdot 1,5 = 68,5 \text{ м.}$$

Длины левой и правой части моста, отложенные от тальвега:

$$Z_l = Z \cdot \frac{B_l}{B}; \quad Z_n = Z \cdot \frac{B_n}{B}, \quad (2.3)$$

где  $B = 63$  м – полная ширина водотока (рис.2.1);

$B_l = 40$  м – левая часть водотока (см. рис.2.1);

$B_n = 23$  м – правая часть водотока (см. рис.2.1).

$$Z_l = 68,5 \cdot \frac{40}{63} = 43,5 \text{ м (рис. 2.2);}$$

$$Z_n = 68,5 \cdot \frac{23}{63} = 25 \text{ м (см. рис. 2.2).}$$

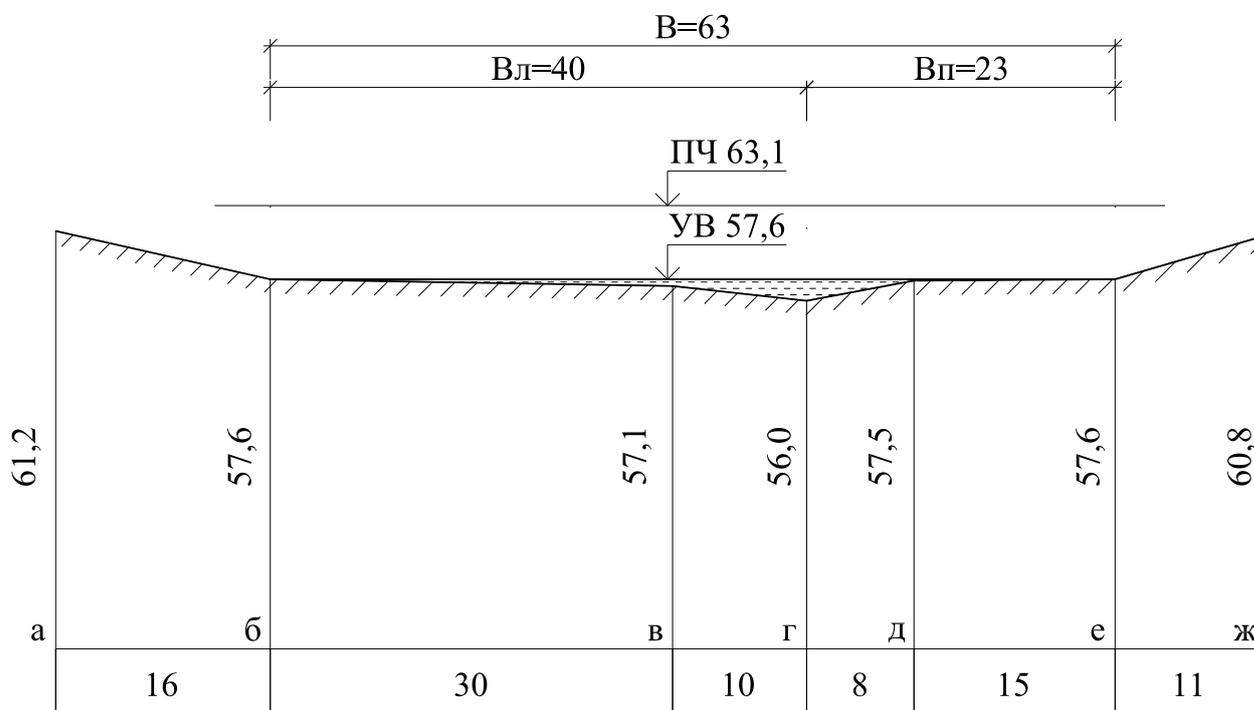


Рисунок 2.1 – Профиль перехода моста



### 3 РАСЧЕТ ПРОГОНОВ

#### 3.1 Расчетная схема прогонов

##### 3.1.1 Конструирование пролетного строения

Конструирование пролетного строения заключается в назначении числа прогонов ( $n$ ) и расстояний между ними ( $d$ ). Количество прогонов определяют, исходя из ширины моста (рис. 3.0) и вычисляют по формуле:

$$n = \frac{\Gamma + 2 * T + 0,4 - K}{d} \quad (3.0)$$

где  $d = 0,6-1,0$  м – расстояние между осями разбросных прогонов;

$K = 0,6-0,9$  м – тротуарная консоль;

$\Gamma$  – ширина габарита проезжей части;

$T$  – ширина тротуара.

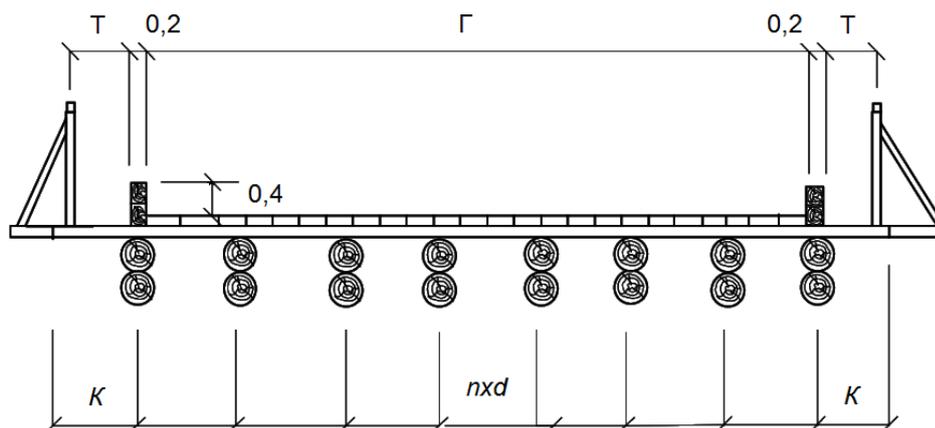


Рисунок 3.0 - Поперечное сечение пролетного строения с разбросными прогонами

Округлив количество прогонов ( $n$ ) до ближайшего целого числа ( $n$ ), уточняем расстояние между прогонами ( $d$ ).

$$d = \frac{\Gamma + 2 * T + 0,4 - K}{n} \quad (3.0.1)$$

В дальнейшем для расчетов используется расстояние между прогонами, полученное с уточнением  $d$ .

Расчетная схема прогона представляет собой простую (разрезную) балку расчетным пролетом равным расстоянию между насадками смежных опор  $l=6,4$ м.

Поперечное сечение моста, фасад, расчетная схема прогонов, линия влияния изгибающего момента посередине пролета приведены на рисунке 3.1.

### 3.2 Нормативные нагрузки на пролетное строение

Интенсивность нормативной постоянной нагрузки на пролетное строение:

$$q_n = P_0 \cdot B, \quad (3.1)$$

где  $P_0 = 2,15 \text{ кН/м}^2$  - заданная интенсивность постоянной нагрузки проезжей части моста;

$B = 9,9 \text{ м}$  - полная ширина моста.

$$q_n = 2,15 \cdot 9,9 = 21,285 \text{ кН/м.}$$

### 3.3 Коэффициент поперечной установки

Габарит моста по заданию - Г-8.

Ширина проезжей части -  $nb=6,0 \text{ м}$  [2].

Максимально допустимое смещение центра тяжести временной подвижной нагрузки в поперечном направлении относительно продольной оси моста - эксцентриситет - будет для одной колонны А8, в наибольшей степени загружающей крайний прогон:

**а) при расчетах по прочности (рис.3.2, а):**

крайняя полоса нагрузки А8:

$$e_1 = \frac{\Gamma}{2} - 1,5 = \frac{8}{2} - 1,5 = 2,5 \text{ м}; \quad (3.2)$$

другая полоса нагрузки А8:

$$e_2 = e_1 - 3 = 2,5 - 3 = -0,5 \text{ м.} \quad (3.3)$$

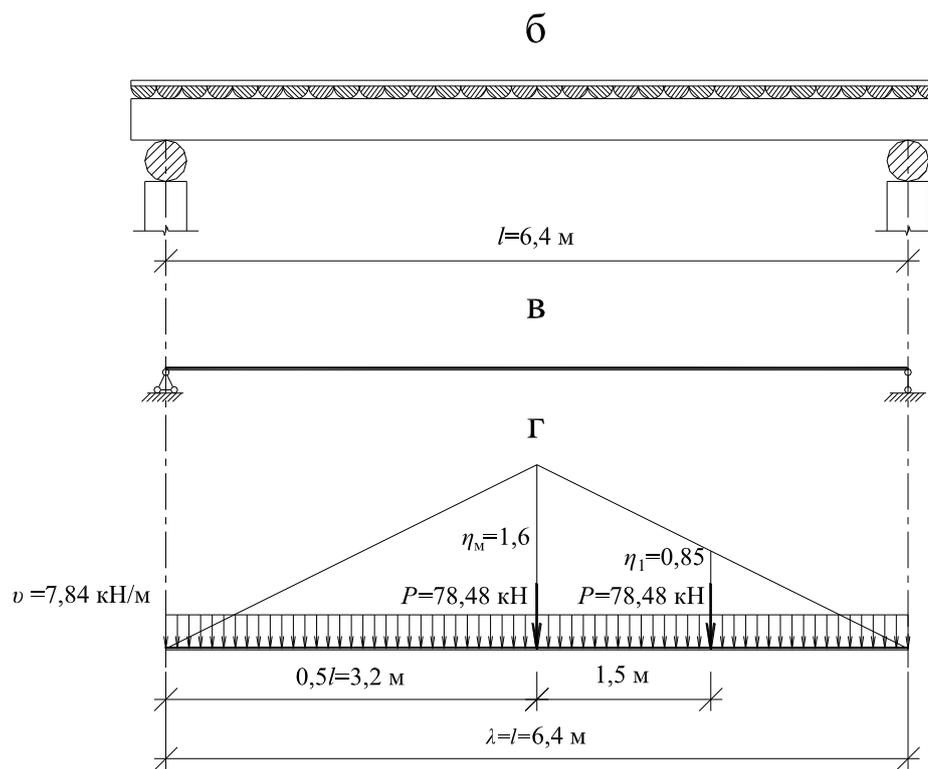
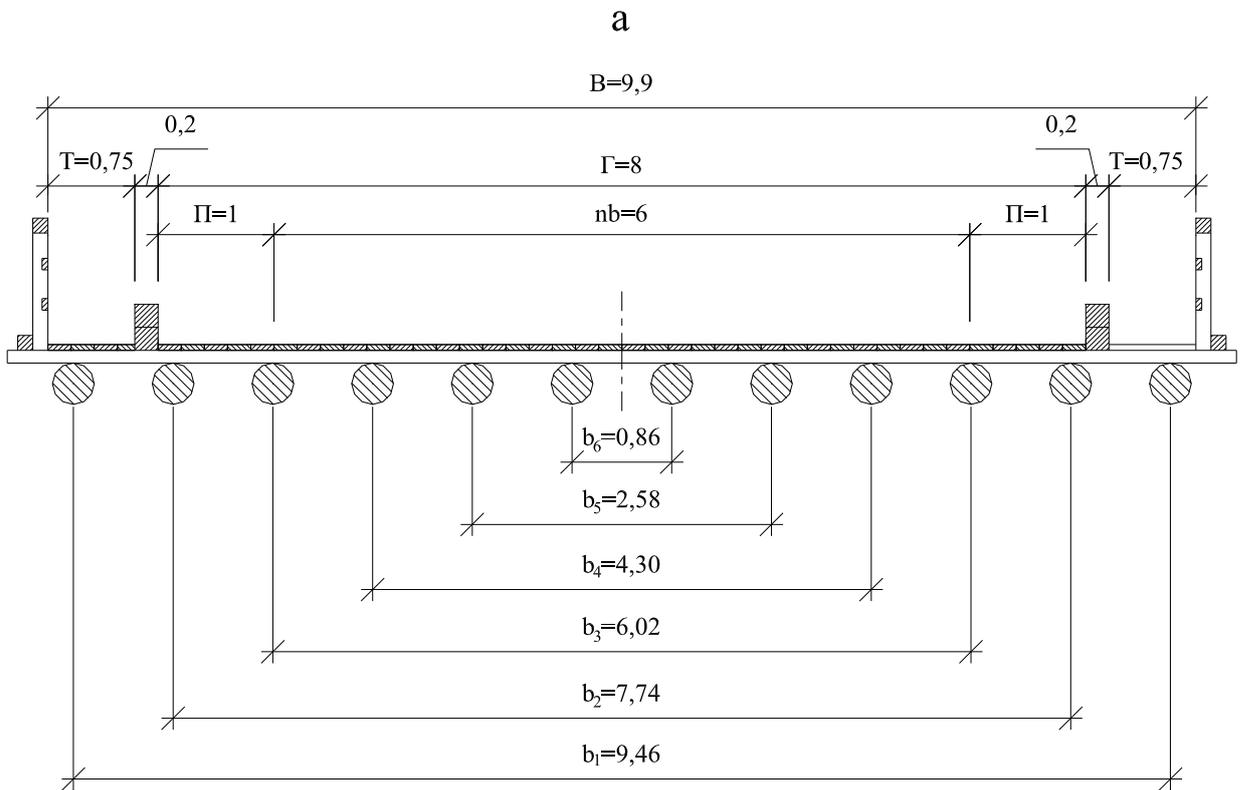


Рисунок 3.1 – Схема пролетного строения моста:

а - поперечное сечение;

б - фасад;

в - расчетная схема прогонов;

г - линия влияния изгибающего момента.

**б) при расчетах по прогибам** (см. рис.3.2, б):

крайняя полоса нагрузки А8:

$$e_1 = \frac{nb}{2} - 1,5 = \frac{6}{2} - 1,5 = 1,5 \text{ м}; \quad (3.4)$$

другая полоса нагрузки А8:

$$e_2 = e_1 - 3 = 1,5 - 3 = -1,5 \text{ м}. \quad (3.5)$$

**в) для нагрузки НГ-60** (см. рис.3.2, в):

$$e = \frac{\Gamma - B_H}{2} - 0,25 = \frac{8 - 3,3}{2} - 0,25 = 2,1 \text{ м}. \quad (3.6)$$

**Коэффициент поперечной установки для каждого вида из нагрузок:**

$$K_{ny} = \frac{1}{m_{np}} + \frac{e_i \cdot b_1}{b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 + b_4^2 + b_5^2 + b_6^2}, \quad (3.7)$$

где  $m_{np} = 12$  - количество прогонов в поперечном сечении моста;

$b_i$  - расстояние между осями каждой пары прогонов (см. рис.3.1, а).

**а) при расчетах по прочности:**

крайняя полоса нагрузки А8:

$$K_{ny} = \frac{1}{12} + \frac{2,5 \cdot 9,46}{9,46^2 + 7,74^2 + 6,02^2 + 4,3^2 + 2,58^2 + 0,86^2} = 0,195;$$

другая полоса нагрузки А8:

$$K_{ny} = \frac{1}{12} + \frac{-0,5 \cdot 9,46}{9,46^2 + 7,74^2 + 6,02^2 + 4,3^2 + 2,58^2 + 0,86^2} = 0,061.$$

**б) при расчетах по прогибам:**

крайняя полоса нагрузки А8:

$$K_{ny1} = \frac{1}{12} + \frac{1,5 \cdot 9,46}{9,46^2 + 7,74^2 + 6,02^2 + 4,3^2 + 2,58^2 + 0,86^2} = 0,150;$$

другая полоса нагрузки А8:

$$K_{ny2} = \frac{1}{12} + \frac{-1,5 \cdot 9,46}{9,46^2 + 7,74^2 + 6,02^2 + 4,3^2 + 2,58^2 + 0,86^2} = 0,016.$$

**в) для нагрузки НГ-60:**

$$K_{ny} = \frac{1}{12} + \frac{2,1 \cdot 9,46}{9,46^2 + 7,74^2 + 6,02^2 + 4,3^2 + 2,58^2 + 0,86^2} = 0,177.$$

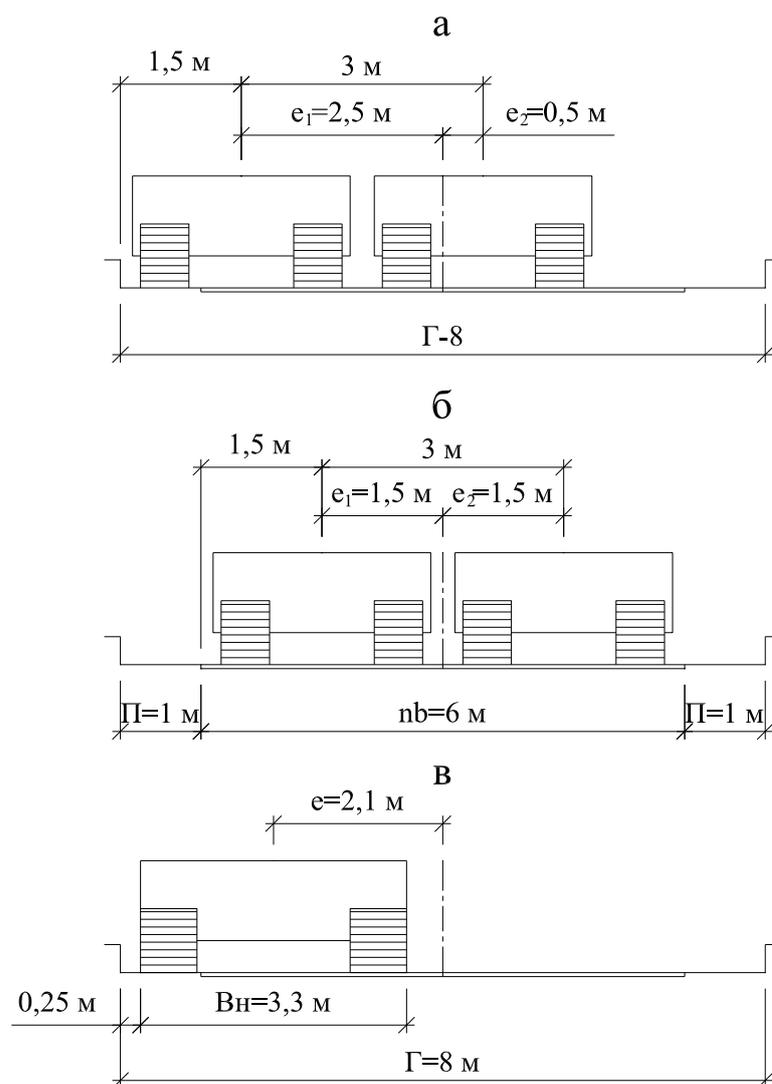


Рисунок 3.2 – Схема для определения величины эксцентриситета:

а - при загрузении колоннами А8 для расчета по прочности;

б - то же для расчета по прогибам;

в - при загрузении нагрузкой НГ-60.

### 3.4 Расчетные изгибающие моменты в прогоне

Расчетный изгибающий момент посередине одного прогона от постоянной нагрузки:

$$M_n = \gamma_f \cdot \frac{q_{\Pi}}{m_{\text{пр}}} \cdot A, \quad (3.8)$$

где  $\gamma_f = 1,2$  - коэффициент надежности по постоянной нагрузке для деревянных конструкций;

$A = \frac{l^2}{8} = \frac{6,4^2}{8} = 5,12 \text{ м}^2$  – площадь линии влияния изгибающего момента посередине пролета (см. рис. 3.1, г).

$$M_n = 1,2 \cdot \frac{21,285}{12} \cdot 5,12 = 10,898 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Расчетный изгибающий момент посередине пролета от одной полосы нагрузки А8:

$$M_{ep} = K_{ny} \cdot (s_1 \cdot \gamma_{f1} \cdot P \cdot (\eta_m + \eta_1) + s_2 \cdot \gamma_{f2} \cdot v \cdot A), \quad (3.9)$$

где  $P = 9,81 \cdot K = 9,81 \cdot 8 = 78,48 \text{ кН}$  - нагрузка на ось тележки А8 (рис.3.3, а);

$v = 0,98 \cdot K = 0,98 \cdot 8 = 7,84 \text{ кН/м}$  - интенсивность равномерно распределенной части нагрузки А8 (см. рис.3.3, а);

$s_1 = 1$  - коэффициент полосности для крайней полосы для нагрузки А8;

$s_2 = 1$  - для тележки А8 для другой полосы;

$s_2 = 0,6$  - для равномерно распределенной части нагрузки А8 другой полосы;

$\gamma_f$  - коэффициент надежности по временной подвижной нагрузке:

**для тележки А8:**

$$\gamma_{f1} = 1,50 - 0,01 \cdot \lambda \quad (\text{при } \lambda \leq 30 \text{ м}), \quad (3.10)$$

где  $\lambda = l = 6,4 \text{ м}$  - длина загрузки.

$$\gamma_{f1} = 1,5 - 0,01 \cdot 6,4 = 1,436.$$

**для равномерно распределенной части нагрузки А8:**

$$\gamma_{f2} = 1,2.$$

$\eta_m = \frac{l}{4} = \frac{6,4}{4} = 1,6$  – максимальная ордината линии влияния (см. рис. 3.1, г);

$\eta_1 = \frac{l}{4} - 0,75 = \frac{6,4}{4} - 0,75 = 0,85$  – ордината на расстоянии 1,5 м от  $\eta_m$ .

**Крайняя полоса А8:**

$$M_{gp} = 0,195 \cdot (1 \cdot 1,436 \cdot 78,48 \cdot (1,6 + 0,85) + 1 \cdot 1,2 \cdot 7,84 \cdot 5,12) = 63,234 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

**Другая полоса А8:**

$$M_{gp} = 0,061 \cdot (1 \cdot 1,436 \cdot 78,48 \cdot (1,6 + 0,85) + 0,6 \cdot 1,2 \cdot 7,84 \cdot 5,12) = 18,606 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

**Расчетный изгибающий момент посередине прогона от нагрузки НГ-60:**

$$M_{gp} = K_{ny} \cdot \gamma_f \cdot v \cdot A, \quad (3.11)$$

где  $\gamma_f = 1$  - коэффициент надежности по нагрузке;

$v = 111,88 \text{ кН/м}$  - интенсивность эквивалентной нагрузки от НГ-60 для длины заграждения  $\lambda = l = 6,4 \text{ м}$  [2].

$$M_{gp} = 0,177 \cdot 1 \cdot 111,88 \cdot 5,12 = 101,39 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

**Расчетный изгибающий момент:**

$$M_d = M_n + \sum M_{gp}, \quad (3.12)$$

где  $\sum M_{gp}$  - воздействие всех полос нагрузки А8 или одиночной нагрузки НГ-60.

**Нагрузка А8:**

$$M_d = 10,898 + 63,234 + 18,606 = 92,738 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

**Одиночная нагрузка НГ-60:**

$$M_d = 10,898 + 101,39 = 112,288 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

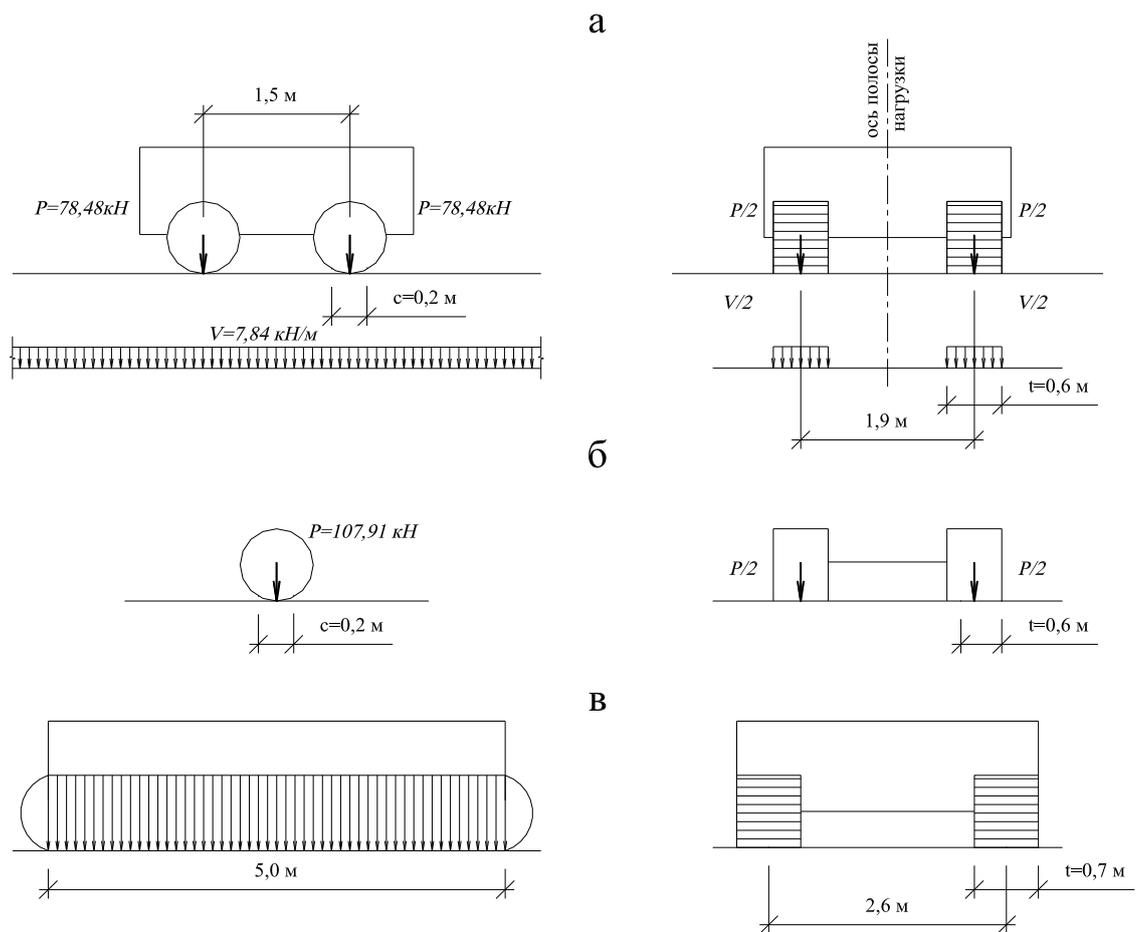


Рисунок 3.3 – Схемы нагрузок от подвижного состава

- а - автомобильная нагрузка А8 в виде полосы равномерно Распределенной нагрузки интенсивностью  $v$  и одиночной тележки с давлением на ось  $P$ ;
- б - одиночная ось для проверки проезжей части мостов, проектируемых под нагрузку А8;
- в - тяжелая одиночная нагрузка НГ-60.

### 3.5 Подбор сечения прогонов

Требуемый момент сопротивления прогонов:

$$W_{mp} = \frac{\max M_d}{R_{db}}, \quad (3.13)$$

где  $R_{db} = 17700 \cdot 0,8 = 14160,0 \text{ кН/м}^2$  - расчетное сопротивление древесины породы «Пихта» изгибу для элементов из бревен естественной коничности [3].

$$W_{mp} = \frac{112,288}{14160} = 0,00793 \text{ м}^3.$$

Принимается число бревен в одном прогоне  $m_{\text{бр}} = 2$ .

Требуемый расчетный диаметр бревна посередине длины прогона:

$$d_p = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{W_{\text{тр}}}{m_{\text{бр}}}} \quad (3.14)$$

$$d_p = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,00793}{2}} = 0,343 \text{ м.}$$

Диаметр бревна прогона в тонком конце с учетом его коничности:

$$d = d_p - 0,004 \cdot (l + 0,6) \quad (3.15)$$

$$d = 0,343 - 0,004 \cdot (6,4 + 0,6) = 0,315 \text{ м.}$$

Принимается  $d=0,32$  м, который меньше заданного  $0,36$  м, тогда  $d_p = 0,348$  м (рис. 3.4).

Расчетный момент сопротивления прогона:

$$W_{nt} = m_{\text{бр}} \cdot 0,096 \cdot d_p^3 \quad (3.16)$$

$$W_{nt} = 2 \cdot 0,096 \cdot 0,348^3 = 0,00809 \text{ м}^3.$$

Проверка прочности прогона по нормальным напряжениям:

$$\sigma = \frac{M_d}{W_{nt}} \leq R_{db} \quad (3.17)$$

$$\sigma = \frac{112,288}{0,00809} = 13880,0 \text{ кН/м}^2 < R_{db} = 14160,0 \text{ кН/м}^2.$$

**Полученное напряжение меньше расчетного сопротивления на 2%, прочность прогона обеспечена.**

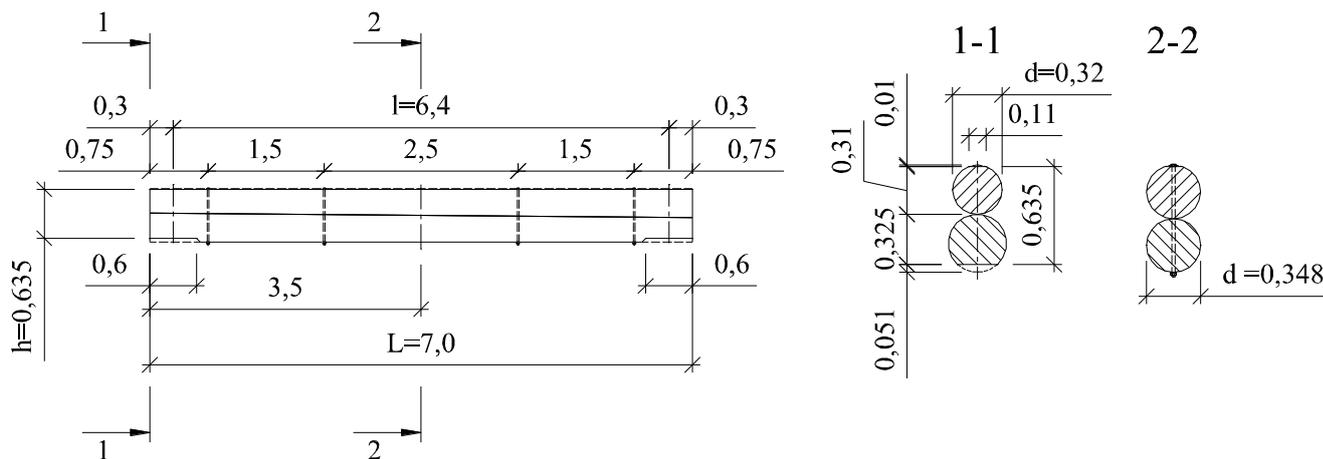


Рисунок 3.4 – Конструкция двухъярусного прогона

### 3.6 Расчет прогонов на прогиб

Прогиб прогонов определяется от нормативной вертикальной подвижной временной нагрузки А8:

от тележки, принимаемой в виде сосредоточенной силы весом  $2P$  [2]:

$$Q = (K_{ny1} + K_{ny2}) \cdot 2P \quad (3.17)$$

$$Q = (0,150 + 0,016) \cdot 2 \cdot 78,48 = 26,055 \text{ кН.}$$

от веса равномерно распределенной части нагрузки [2]:

$$q = K_{ny1} \cdot 0,1 \cdot P + K_{ny2} \cdot 0,6 \cdot 0,1 \cdot P \quad (3.18)$$

$$q = 0,15 \cdot 0,1 \cdot 78,48 + 0,016 \cdot 0,6 \cdot 0,1 \cdot 78,48 = 1,253 \text{ кН/м.}$$

Проверка относительно прогиба:

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{48} \cdot \frac{Q \cdot l^2}{E \cdot I} + \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} \leq \left[ \frac{f}{l} \right], \quad (3.19)$$

где  $E = 9810000 \text{ кН/м}^2$  - модуль нормальной упругости древесины;

$I = m_{\bar{b}p} \cdot 0,048 \cdot d_p^4 = 2 \cdot 0,048 \cdot 0,348^4 = 0,001408 \text{ м}^4$  - момент инерции прогона из бревен;

$$\left[ \frac{f}{l} \right] = \frac{1}{200} = 0,005 - \text{допускаемый относительный прогиб.}$$

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{48} \cdot \frac{26,055 \cdot 6,4^2}{9810000 \cdot 0,001408} + \frac{5}{384} \cdot \frac{1,253 \cdot 6,4^3}{9810000 \cdot 0,001408} = 0,002 < 0,005.$$

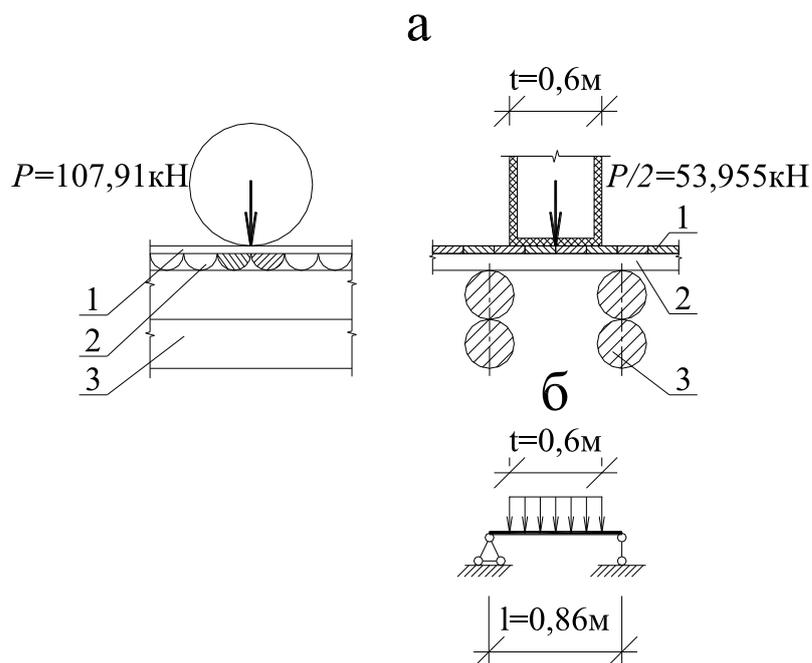
**Условие выполняется, расчет прогонов закончен.**

## 4 РАСЧЕТ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ

### 4.1 Расчетная схема настила и нагрузки на него

В качестве расчетной схемы поперечного рабочего настила принимается простая балка.

Нагрузкой на настил является одиночная ось нагрузки А11. Влияние собственного веса и веса дорожного покрытия не учитывается. Расчетная схема настила приведена на рис.4.1, б.



- 1 - защитный и распределительный из досок;
- 2 - поперечный настил из пластин;
- 3 - двухъярусный прогон.

Рисунок 4.1 – К расчету проезжей части:

а - эскиз настила; б - расчетная схема настила.

### 4.2 Изгибающие моменты

Изгибающий момент в одном элементе поперечного настила:

$$M_d = \frac{\gamma_f \cdot P}{16 \cdot m_n} \cdot (2l - t), \quad (4.1)$$

где  $\gamma_f = 1,2$  - коэффициент надежности по нагрузке для мостов под нагрузку

A8;

$m_n = 2$  - количество элементов настила, одновременно воспринимающих давление колеса;

$P = 9,81 \cdot K = 9,81 \cdot 11 = 107,91$  кН - нагрузка одиночной оси тележки A11 [2];

$l = 0,86$  м - расчетный пролет настила;

$t = 0,6$  м - ширина обода колеса тележки A11 (рис.3.3, б.).

$$M_d = \frac{1,2 \cdot 107,91}{16 \cdot 2} \cdot (2 \cdot 0,86 - 0,6) = 4,53 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

### 4.3 Подбор сечения настила

Требуемый момент сопротивления одного элемента настила:

$$W_{mp} = \frac{M_d}{R_{db}}, \quad (4.2)$$

где  $R_{db} = 15700 \cdot 0,8 = 12560,0$  кН/м<sup>2</sup> - расчетное сопротивление древесины породы «Пихта» изгибу для элементов из окантованных бревен [3].

$$W_{mp} = \frac{4,53}{12560} = 0,000361 \text{ м}^3.$$

Для настила из пластин вычисляется минимальный диаметр пластины:

$$\min d \geq 3,5 \sqrt[3]{W_{тр}} \quad (4.3)$$

$$\min d \geq 3,5 \cdot \sqrt[3]{0,000361} = 0,25 \text{ м}.$$

Принимается по сортаменту диаметр пластины  $d = 0,26$  м.

***Расчетный момент сопротивления пластины:***

$$W_{nt} = 0,0238d^3 \quad (4.4)$$

$$W_{nt} = 0,0238 \cdot 0,26^3 = 0,000418 \text{ м}^3.$$

***Проверка прочности настила:***

$$\sigma = \frac{M_d}{W_{nt}} \leq R_{db} \quad (4.5)$$

$$\frac{4,53}{0,000418} = 10829,32 \text{ кН/м}^2 \leq R_{db} = 12560,0 \text{ кН/м}^2.$$

**Полученное напряжение меньше расчетного сопротивления, прочность настила обеспечена.**

## 5 РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОПОРЫ

### 5.1 Давление на один ряд свай или стоек в опоре

Линия влияния для определения давления от нагрузок изображена на рис.5.1.

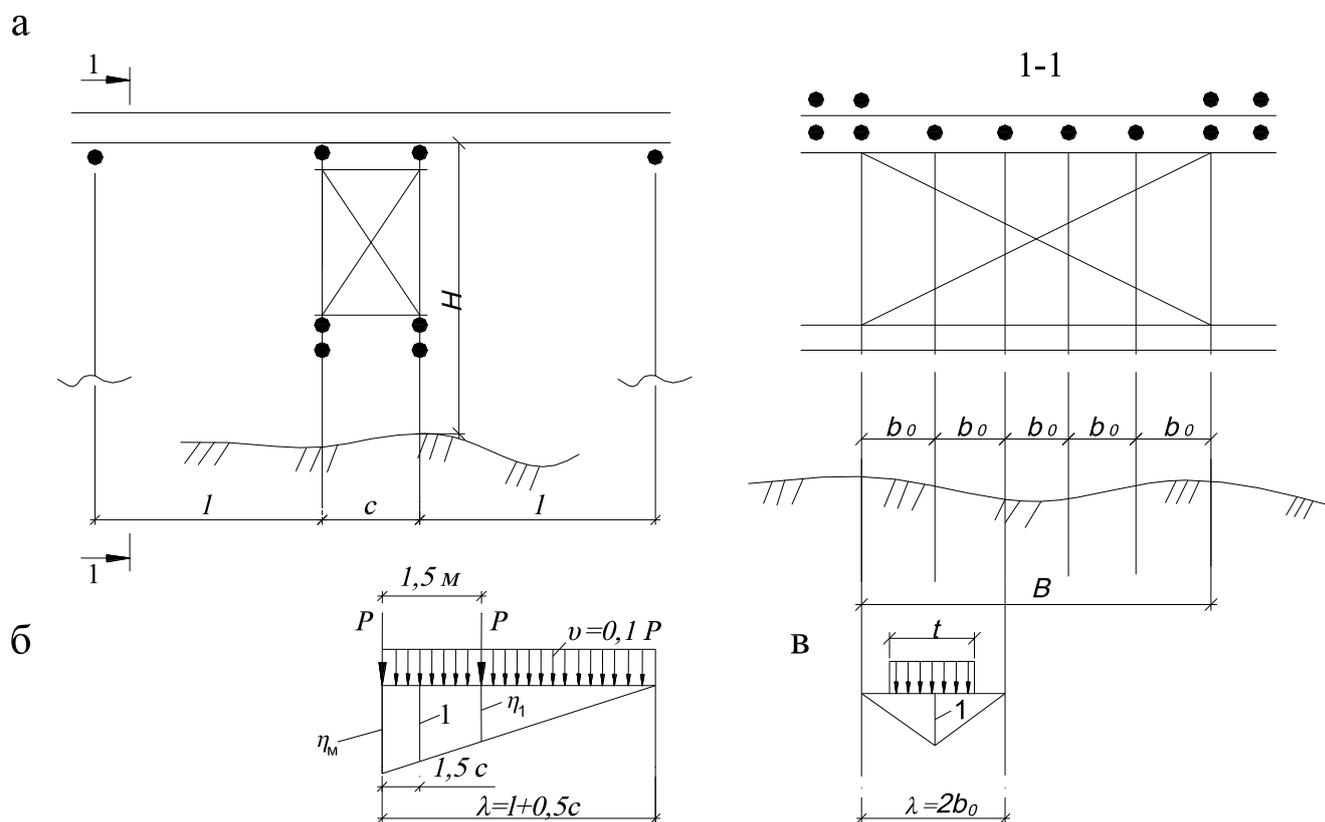


Рисунок 5.1 – Схемы к расчету пространственной опоры:

а- схема пространственной опоры; б - линия влияния давления на ряд свай (стоек) опоры; в - линия влияния давления на одну сваю (стойку).

Длина загружаемого участка линии влияния:

$$\lambda = l + 0,5c, \quad (5.1)$$

где  $l = 6,4$  м - расчетный пролет прогонов;

$c = 1,5$  м - расстояние между рядами свай (стоек).

$$\lambda = 6,4 + 0,5 \cdot 1,5 = 7,15 \text{ м.}$$

Площадь загружаемого участка:

$$A = \frac{(l + 0,5c)^2}{2l} \quad (5.2)$$

$$A = \frac{(6,4 + 0,5 \cdot 1,5)^2}{2 \cdot 6,4} = 3,994 \text{ м}^2.$$

Давление на один ряд свай (стоек) от постоянной нагрузки (от веса пролетного строения):

$$N_n = \gamma_f \cdot q_n \cdot A, \quad (5.3)$$

где  $\gamma_f = 1,2$  - коэффициент надежности по нагрузке для деревянных конструкций;

$q_n = 21,285$  кН/м - нормативная интенсивность постоянной нагрузки по формуле (3.1).

$$N_n = 1,2 \cdot 21,285 \cdot 3,994 = 102,015 \text{ кН.}$$

Ординаты линий влияния при загрузении нагрузкой А8:

$$\eta_m = \frac{l + 0,5c}{l} = \frac{7,15}{6,4} = 1,117 - \text{максимальная ордината линии влияния;}$$

$$\eta_1 = \frac{l + 0,5c - 1,5}{l} = \frac{7,15 - 1,5}{6,4} = 0,883 - \text{ордината на расстоянии 1,5 м от } \eta_m.$$

Равномерно распределенной частью нагрузки А8 загружается линия влияния по всей ее длине (см. рис.5.1, б).

Давление на один ряд стоек (свай) одной полосы нагрузки А8:

$$N_{\text{в}} = s_1 \cdot \gamma_f \cdot P \cdot (\eta_m + \eta_1) + s_1 \cdot \gamma_f \cdot 0,1 \cdot P \cdot A, \quad (5.4)$$

где  $s_1 = 1$  - коэффициент полосности;

$\gamma_f = 1,5 - 0,01 \cdot 7,15 = 1,429$  - коэффициент надежности для тележки А8, определяемый по формуле (3.10);

$\gamma_f = 1,2$  - коэффициент надежности для равномерно распределенной части нагрузки А8;

$P = 78,48$  кН - нагрузка на ось тележки А8 [2].

$$N_{\text{в}} = 1 \cdot 1,429 \cdot 78,48(1,117 + 0,883) + 1 \cdot 1,2 \cdot 0,1 \cdot 78,48 \cdot 3,994 = 261,91 \text{ кН.}$$

Давление на один ряд свай (стоек) от нагрузки НГ-60:

$$N_{\text{в}} = \gamma_f \cdot v \cdot A, \quad (5.5)$$

где  $\gamma_f = 1$  - коэффициент надежности по нагрузке;

$v = 107,05$  кН/м - интенсивность эквивалентной нагрузки от НГ-60, определяемая в зависимости от длины загрузки (см. рис.5.1, б).

$$N_{\text{в}} = 1 \cdot 107,05 \cdot 3,994 = 427,558 \text{ кН.}$$

## 5.2 Расчет стойки

Расчетное усилие в одной стойке (свае):

$$N_d = \frac{N_n}{n_c} + K_{ny} \cdot N_{\text{в}}, \quad (5.6)$$

где  $n_c = 12$  - количество стоек в одном ряду.

$K_{ny}$  - коэффициент поперечной установки для стоек (свай), определенный по формуле (3.7) для каждого вида из нагрузок.

Для нагрузки А8:

$$K_{ny} = 0,195;$$

$$N_d = \frac{102,015}{12} + 0,195 \cdot 261,91 = 59,574 \text{ кН.}$$

Для нагрузки НГ-60:

$$K_{ny} = 0,177;$$

$$N_d = \frac{102,015}{12} + 0,177 \cdot 427,558 = 84,179 \text{ кН.}$$

Предварительный диаметр стойки посередине ее длины:

$$d_0 \cong 1,3 \sqrt{\frac{\max N_d}{R_{dc}}}, \quad (5.7)$$

где  $R_{dc} = 14700 \cdot 0,8 = 11760 \text{ кН/м}^2$  - расчетное сопротивление древесины стойки сжатию.

$$d_0 \cong 1,3 \sqrt{\frac{84,179}{11760}} = 0,108 \text{ м.}$$

Диаметр бревна стойки в тонком конце с учетом его коничности:

$$d_c = d_0 - 0,004 l, \quad (5.8)$$

где  $l = 3,4 \text{ м}$  - длина стойки.

$$d_c = d_0 - 0,004 l = 0,108 - 0,004 \cdot 3,4 = 0,094 \text{ м.}$$

Принимается  $d_c=0,18 \text{ м}$ , тогда диаметр стойки посередине ее расчетной длины  $d_0 = 0,194 \text{ м}$ .

### Проверка стойки на устойчивость:

$$\frac{\max N_d}{A_d} \leq \varphi R_{dc}, \quad (5.9)$$

где  $A_d = \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,194^2}{4} = 0,0295 \text{ м}^2$  – площадь поперечного сечения стойки посередине ее длины.

Гибкость стойки:

$$\lambda = \frac{4l_{ef}}{d_0} = \frac{4 \cdot 3,4}{0,194} = 70,1 > 70, \quad (5.10)$$

где  $l_{ef} = 3,4 \text{ м}$  - расчетная длина стойки, равная ее геометрической длине.

Коэффициент понижения несущей способности центрально сжатых элементов при  $\lambda > 70$ :

$$\varphi = \frac{3000}{\lambda^2} = \frac{3000}{70,1^2} = 0,61 \quad (5.11)$$

Из условия устойчивости:

$$\frac{84,179}{0,0295} = 2853,525 \text{ кН/м}^2 < 0,61 \cdot 11760 = 7173,6 \text{ кН/м}^2.$$

***Устойчивость стойки обеспечена.***

### 5.3 Расчет свай

Глубина забивки свай принимается 4,0 м.

Сечение свай в тонком конце принимается как у стойки:  $d_c=0,18 \text{ м}$ .

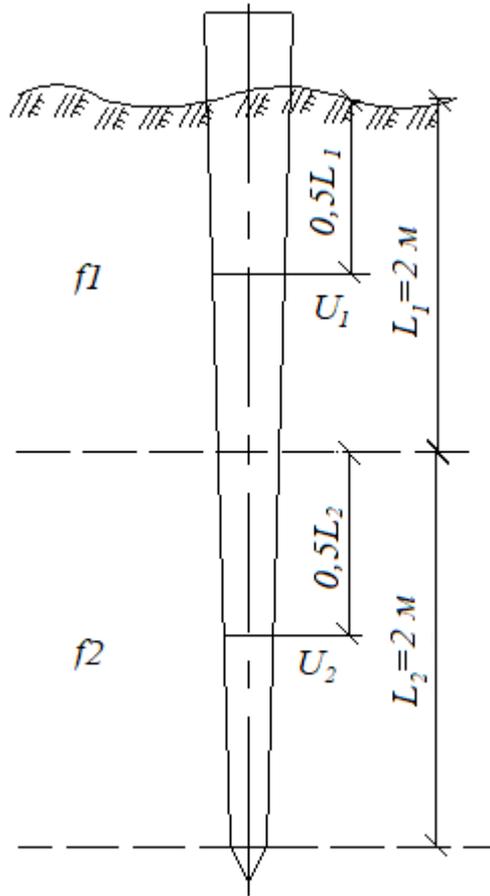


Рисунок 5.2 – Схема к расчету несущей способности сваи

Максимальное расчетное усилие в свае должно быть меньше ее несущей способности:

$$\max N_d \leq \Phi \quad (5.12)$$

Несущая способность висячей сваи:

$$\Phi = RA + \sum u_i f_i l_i, \quad (5.13)$$

где  $R = 1250 \text{ кН/м}^2$  - расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи [4];

$$A_d = \frac{\pi d_c^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,18^2}{4} = 0,0254 \text{ м}^2 - \text{площадь поперечного сечения сваи в}$$

тонком конце.

Грунт толщиной 4,0 м разбивается на 2 слоя по 2,0 м:

$$l_1 = l_2 = 2,0 \text{ м - толщина слоев грунта.}$$

Диаметр сваи посередине каждого слоя грунта:

$$d_2 = d_c + 0,008 l_2/2 = 0,18 + 0,008 \cdot 1 = 0,188 \text{ м;}$$

$$d_1 = 0,18 + 0,008 \cdot 3 = 0,204 \text{ м.}$$

Наружный периметр поперечного сечения сваи посередине каждого слоя грунта:

$$u_2 = \pi d = 3,14 \cdot 0,188 = 0,591 \text{ м;}$$

$$u_1 = 3,14 \cdot 0,204 = 0,641 \text{ м.}$$

Расчетное сопротивление каждого слоя грунта на боковой поверхности сваи:

$$f_1 = 120 \text{ кН/м}^2 [4];$$

$$f_2 = 200 \text{ кН/м}^2 [4].$$

$$\Phi = 1250 \cdot 0,0254 + 0,641 \cdot 120 \cdot 2 + 0,591 \cdot 200 \cdot 2 = 421,990 \text{ кН.}$$

$$\max N_d = 84,179 \text{ кН} < \Phi = 421,990 \text{ кН.}$$

*Несущая способность сваи обеспечена.*

## 5.4 Расчет насадки

### 5.4.1 Расчет насадки на смятие

В качестве насадки принимается бревно диаметром в тонком конце  $d_H = 0,36$  м, опиленное на два канта шириной  $b_H = 0,7 \cdot 0,36 = 0,25$  м.

В месте опирания стойки на насадку передается давление  $N_d = 84,179$  кН, равное усилию в стойке, которое определяется по формуле (5.6).

В месте опирания прогона на насадку передается давление:

$$N_d = \frac{N_{\text{п}}}{m_{\text{пр}}} + K_{\text{пу}} N_{\text{в}}, \quad (5.14)$$

где  $N_{\text{п}} = 102,015$  кН - давление на один ряд стоек от постоянной нагрузки, определенное по формуле (5.3);

$N_{\text{вА8}} = 261,91$  кН - давление на один ряд стоек от временной нагрузки А8, определенное по формуле (5.4);

$N_{\text{вНГ-60}} = 427,558$  кН - давление на один ряд стоек от временной нагрузки НГ-60, определенное по формуле (5.5);

$m_{\text{пр}} = 12$  - число прогонов в поперечном сечении моста;

$K_{\text{пу}}$  - коэффициент поперечной установки для давления прогона на насадку, определенный по формуле (3.7) для каждого вида из нагрузок.

Для нагрузки А8:

$$K_{\text{пу}} = 0,195;$$

$$N_d = \frac{102,015}{12} + 0,195 \cdot 261,91 = 59,574 \text{ кН.}$$

Для нагрузки НГ-60:

$$K_{\text{пу}} = 0,177;$$

$$N_d = \frac{102,015}{12} + 0,177 \cdot 427,558 = 84,179 \text{ кН.}$$

Проверка на прочность насадки при смятии древесины поперек волокон:

$$\frac{N_d}{A_q} \leq R_{dq}, \quad (5.15)$$

где  $N_d$  - давление стойки или прогона на насадку;

$A_q$  - соответствующая площадь смятия.

$R_{dqa}$  - расчетное сопротивление местному смятию поперек волокон на части длины насадки (при длине незагруженных участков насадки не менее длины площадки смятия и не менее толщины насадки):

$$R_{dqa} = R_{dq} \left( 1 + \frac{8}{l_s + 1,2} \right), \quad (5.16)$$

где  $R_{dq} = 1770 \cdot 0,8 = 1416,0$  кН/м<sup>2</sup> - расчетное сопротивление смятию по всей поверхности элемента поперек волокон;

$l_s$  - длина площадки смятия вдоль волокон древесины насадки:

$l_s = 0,11$  м - длина площадки смятия в месте опирания прогона на насадку.

Площадь смятия насадки в месте опирания прогона:

$$A_q = b_{пр} \cdot b_{н}, \quad (5.17)$$

где  $b_{пр} = 0,16$  м - ширина площадки опирания прогона на насадку, равная половине диаметра прогона в тонком конце;

$b_{н} = 0,25$  м - ширина верхней грани насадки (рис.5.3, а).

$$A_q = 0,16 \cdot 0,25 = 0,04 \text{ м}^2.$$

$$R_{dqa} = 1416 \cdot \left( 1 + \frac{8}{11 + 1,2} \right) = 2344,52 \text{ кН/м}^2.$$

Из условия прочности при давлении прогона на насадку:

$$\frac{N_d}{A_q} = \frac{84,179}{0,04} = 2104,48 \text{ кН/м}^2 < R_{dqa} = 2344,53 \text{ кН/м}^2.$$

Условие прочности насадки на смятие выполняется.

Площадь смятия насадки в месте ее опирания на стойку:

$$A_q = 0,785d_c^2 - 0,667(d_c - b_n)\sqrt{d_c^2 - b_n^2}, \quad (5.18)$$

где  $d_c = 0,3$  м – диаметр стойки в тонком конце;

$b_n = 0,25$  м - ширина стески насадки (рис.5.3, б).

$$A_q = 0,785 \cdot 0,3^2 - 0,667 \cdot (0,3 - 0,25) \cdot \sqrt{0,3^2 - 0,25^2} = 0,065 \text{ м}^2.$$

$l_s = 0,30$  м - длина площадки смятия в месте опирания насадки на стойку.

$$R_{dqa} = 1416 \cdot \left(1 + \frac{8}{30 + 1,2}\right) = 1779,08 \text{ кН/м}^2.$$

Из условия прочности при давлении насадки на стойку:

$$\frac{N_d}{A_q} = \frac{84,179}{0,065} = 1295,06 \text{ кН/м}^2 < R_{dqa} = 1779,08 \text{ кН/м}^2.$$

***Условие прочности насадки на смятие выполняется.***

#### **5.4.2 Расчет насадки на изгиб**

Насадку на изгиб рассчитывают как простую балку пролетом  $b_0$ , равным расстоянию между осями стоек или свай (см. рис.5.2, в). Давление концов прогонов на насадку принимается равномерно распределенным.

Интенсивность давления на насадку постоянной нагрузки:

$$P_{\Pi} = \frac{N_{\Pi}}{b_1}, \quad (5.19)$$

где  $N_{\Pi} = 102,015$  кН - расчетная нагрузка на один ряд свай (стоек) от веса пролетного строения, определяемая по формуле (5.3);

$b_1 = 9,46$  м - расстояние между осями крайних прогонов (см. рис. 3.1, а).

$$P_{\text{п}} = \frac{102,015}{9,46} = 10,784 \text{ кН/м.}$$

Колесо или гусеницу временной подвижной нагрузки располагают посередине пролета насадки.

Давление на насадку определяется на ширине:

$$b_b = t + 2h_0, \quad (5.20)$$

где  $t = 0,6$  м - ширина обода колеса для нагрузки А8;

$t = 0,7$  м - ширина гусеницы для нагрузки НГ-60;

$h_0 = 0,815$  м - строительная высота пролетного строения на опоре (см. рис.5.2, в).

Интенсивность давления на насадку временной подвижной нагрузкой:

$$q_{\text{н}} = \frac{N_b}{2b_b}, \quad (5.20)$$

где  $N_b = 261,910$  кН - давление на один ряд свай (стоек) от временной нагрузки А8, определяемое по формуле (5.4);

$N_b = 427,558$  кН - давление на один ряд свай (стоек) от временной нагрузки НГ-60, определяемое по формуле (5.5).

Для нагрузки А8:

$$b_b = 0,6 + 2 \cdot 0,815 = 2,23 \text{ м;}$$

$$q_{\text{н}} = \frac{261,910}{2 \cdot 2,23} = 58,724 \text{ кН/м.}$$

Для нагрузки НГ-60:

$$b_b = 0,7 + 2 \cdot 0,815 = 2,33 \text{ м;}$$

$$q_{\text{н}} = \frac{427,558}{2 \cdot 2,33} = 91,751 \text{ кН/м.}$$

Расчетный изгибающий момент посередине пролета насадки при  $b_0 = 0,86 \text{ м} < b_b = 2,33 \text{ м}$ :

$$M_d = \frac{(P_{\text{п}} + q_{\text{н}})b_0^2}{8} \quad (5.21)$$

$$M_d = \frac{(10,784 + 91,751) \cdot 0,86^2}{8} = 9,479 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Прочность насадки по нормальным напряжениям:

$$\frac{M_d}{W_{nt}} \leq R_{db}, \quad (5.22)$$

где  $W_{nt} = 0,0978d_{\text{н}}^3 = 0,0978 \cdot 0,36^3 = 0,00456 \text{ м}^3$ ;

$R_{db} = 15700 \cdot 0,8 = 12550 \text{ кН/м}^2$  - расчетное сопротивление древесины изгибу.

$$\frac{M_d}{W_{nt}} = \frac{9,479}{0,00456} = 2078,7 \text{ кН/м}^2 \leq R_{db} = 12550 \text{ кН/м}^2.$$

***Условие выполняется, прочность насадки на изгиб обеспечена.***

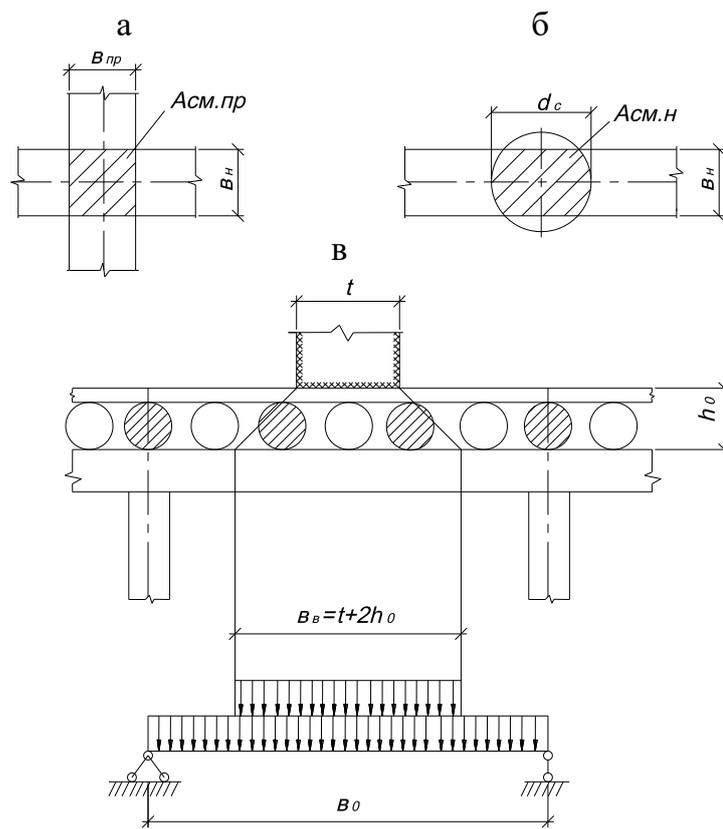


Рисунок 5.2 – Схемы к расчету насадки:

а - в месте опирания прогона на насадку; б - в месте опирания насадки на стойку; в - на изгиб.

## 7. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВАРИАНТОВ РАСЧЕТНОЙ ЗАДАЧИ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Мост запроектирован через овраг с периодически действующим водотоком.

Мост расположен на прямом горизонтальном участке автомобильной дороги.

Наименование грунта – глинистый при показателе консистенции  $I_L=0,5$ .

Категория дороги – IV.

Габарит моста – Г-8.

Отверстие моста – 42,0 м.

Возвышение верха проезжей части над уровнем воды – 5,5 м.

Интенсивность постоянной нагрузки проезжей части моста – 2,15 кН/м<sup>2</sup>.

Временная подвижная нагрузка – А11 и НГ-60.

Древесина для конструкций моста принята 1-го сорта с влажностью не более 25%.

Порода древесины – пихта.

Предельная длина бревен для конструкции – 7,0 м.

Нижний настил проезжей части моста – из пластин.

Предельный диаметр бревен в тонком конце – 0,36 м.

Рассчитать промежуточную опору – пространственную.

### Данные о профилях перехода:

Расстояние между отметками, м:

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Расстояние между отметками	а-б	16,0	14,0	15,0	14,0	18,0	10,0	12,0	8,0	14,0	16,0	20,0	10,0	12,0	21,0
	б-в	30,0	32,0	31,0	25,0	27,0	18,0	14,0	27,0	28,0	28,0	25,0	12,0	15,0	10,0
	в-г	10,0	7,0	8,0	12,0	7,0	24,0	20,0	15,0	12,0	12,0	11,0	25,0	21,0	15,0
	г-д	8,0	11,0	10,0	12,0	10,0	10,0	12,0	21,0	10,0	8,0	8,0	15,0	8,0	8,0
	д-е	15,0	13,0	14,0	15,0	13,0	9,0	15,0	13,0	12,0	12,0	13,0	8,0	18,0	17,0
	е-ж	11,0	13,0	12,0	12,0	15,0	19,0	17,0	6,0	14,0	14,0	13,0	20,0	16,0	19,0

Номер варианта	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
Расстояние между отметками	а-б	9,0	9,0	14,0	12,0	15,0	15,0	18,0	15,0	21,0	14,0	12,0	16,0	15,0	15,0
	б-в	27,0	27,0	32,0	17,0	14,0	31,0	25,0	29,0	12,0	28,0	16,0	26,0	28,0	11,0
	в-г	15,0	15,0	10,0	21,0	20,0	10,0	7,0	8,0	15,0	12,0	24,0	12,0	8,0	24,0
	г-д	20,0	21,0	8,0	8,0	12,0	8,0	12,0	12,0	8,0	8,0	10,0	10,0	12,0	12,0
	д-е	13,0	12,0	15,0	16,0	12,0	14,0	13,0	14,0	15,0	14,0	9,0	11,0	16,0	15,0
	е-ж	6,0	6,0	11,0	16,0	17,0	12,0	15,0	12,0	19,0	14,0	19,0	15,0	11,0	13,0

Отметки поверхности грунта и уровня воды (по вариантам курсовой работы<sup>1</sup>), м:

Отметка грунта	Вариант расчетной задачи													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
а	60,5	60,5	61,0	61,5	59,5	59,3	61,6	58,9	59,5	62,3	61,3	58,4	59,9	61,5
б	58,6	57,9	60,0	59,4	56,0	57,8	59,3	56,7	57,5	61,0	59,4	56,9	56,0	58,5
в	57,1	56,0	57,0	56,5	54,3	55,2	58,3	54,5	56,4	58,9	57,5	54,7	53,8	55,9
г	56,0	55,0	55,5	47,0	51,0	53,7	54,0	49,0	53,0	54,0	56,0	51,0	50,0	52,0
д	57,5	56,0	58,2	55,7	54,5	55,6	58,3	54,8	56,0	58,5	57,5	54,3	53,5	56,0
е	58,6	57,9	60,0	59,4	56,0	57,8	59,3	56,7	57,5	61,0	59,4	56,9	56,0	58,5
ж	61,0	59,6	61,6	62,3	59,8	60,4	62,0	59,9	61,0	62,8	62,1	58,9	58,9	60,5
Отметка уровня воды	58,6	57,9	60,0	59,4	56,0	57,8	59,3	56,7	57,5	61,0	59,4	56,9	56,0	58,5

<sup>1</sup> Для каждого последующего варианта после 14, значения отметок поверхности грунта и уровня воды уменьшаются на 1 м.