

2. Грегорян, Е.Ю. Исследование свойств лессовых грунтов методами зондирования (на примере Северного Кавказа): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.08 / Е.Ю. Григорян. – Ставрополь: 2007. - 22 с.
3. Костерин, Э.В. Основания и фундаменты. - М.: Высш. шк., 1990. - 431 с.
4. Панченко, А.И., Харченко, И.Я. Особо тонкодисперсное минеральное вяжущее «Микродур»: свойства, технология и перспективы использования // Строительные материалы. - 2005. - № 10. -С. 76 - 78.

**УДК 624.072:624.011**

*Муселемов Х.М., Устарханов О.М., Юсупов А.К.*

## **МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ БАЛКИ, УСИЛЕННЫЕ ЗАТЯЖКАМИ**

*Muselemov Kh.M., Ustarkhanov O.M., Yusupov A.K.*

## **METAL BEAMS, REINFORCED BONGS**

*Рассматриваются конструктивные и расчетные схемы шпренгельных балок с одной и с двумя стойками. Приводятся сечения элементов, их подбор, а также определение усилий. На основе вариантного проектирования делается сравнительный анализ, даются таблицы расхода стали для различных вариантов шпренгельных балок, по которым можно судить о рациональности конструкции.*

**Ключевые слова:** *шпренгельная балка, сечение, раскос, перекладина, изгибающий момент, поперечная сила, расход стали.*

*Focuses on the design and calculation scheme trussed girders with one and with two enclosures. Provides cross-section elements, their selection and definition of effort. On the basis of alternative engineering is a comparative analysis, are given in table steel consumption for different variants trussed girders, by which to judge the rationality of the design.*

**Key words:** *wood beam, cross-section, cross stay, beam, bending moment, shear force, the consumption of steel.*

**Введение.** Как известно [1], [2], двутавровые балки составного сечения рациональны при больших нагрузках и пролетах 6 ÷ 9 метров. Фермы рациональны на пролетах 18 метров и выше. На промежуточных пролетах, т.е. от 9 до 18 метров, применяются как балки, так и фермы различной конструктивной схемы. Однако, как показывает опыт проектирования, на пролетах 9 ÷ 18 метров наиболее рациональными конструкциями являются шпренгельные балки, если нагрузки не очень большие. В данной статье рассматривается расчет и констру-

ирование шпренгельных балок и анализируется расход стали при различных пролетах и нагрузках.

### Шпренгельная балка с одной стойкой

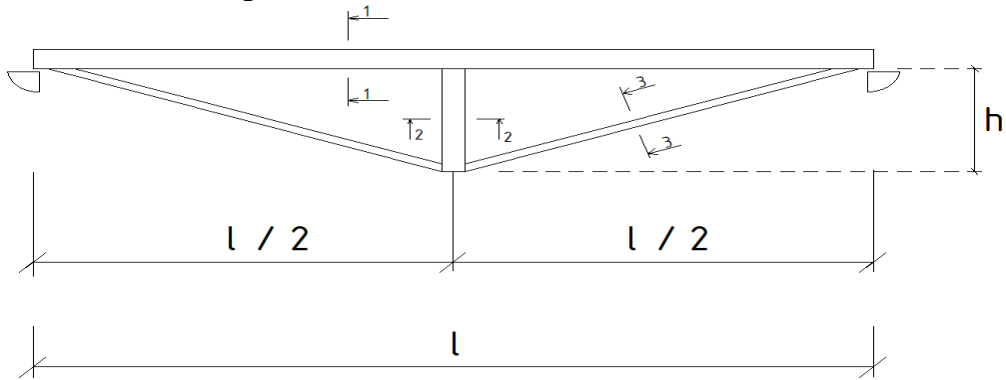
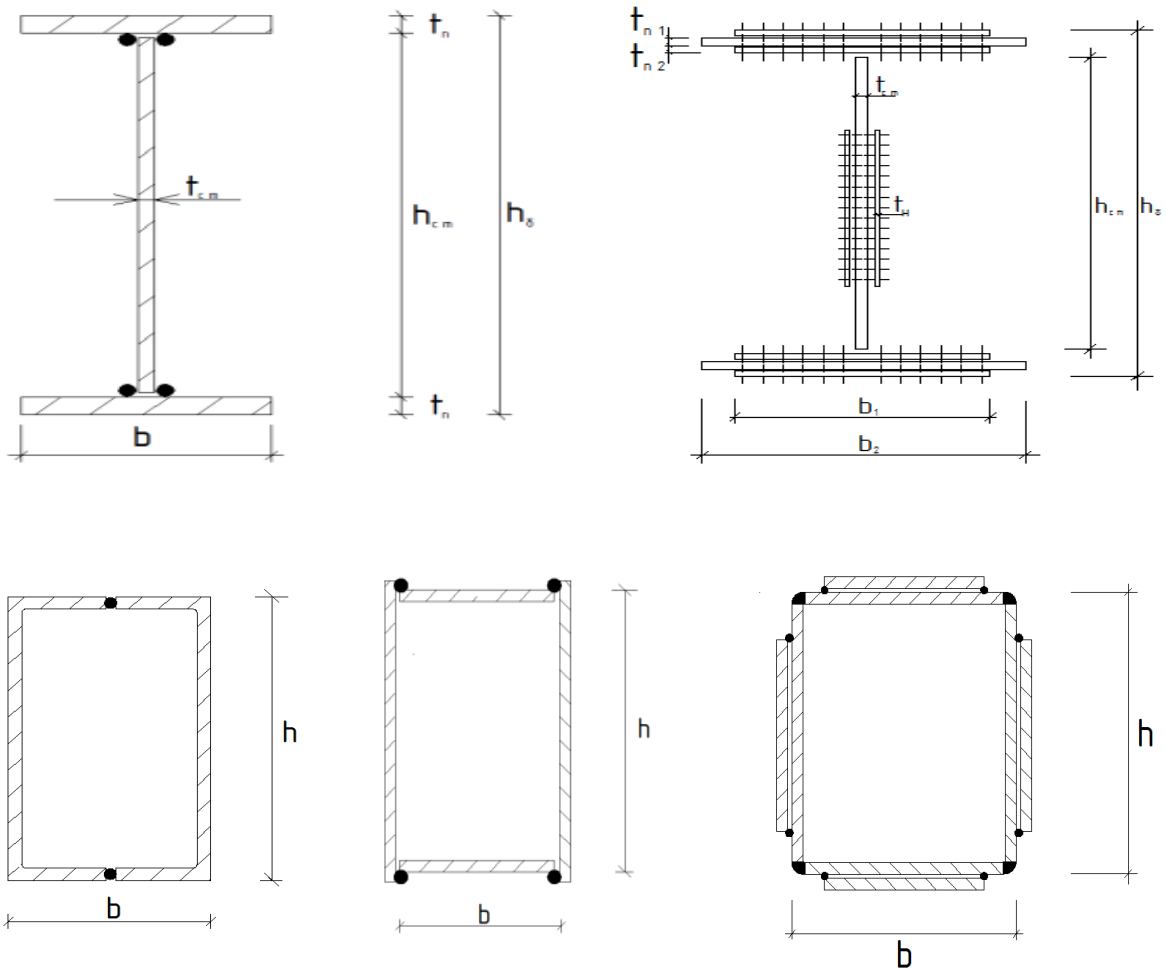
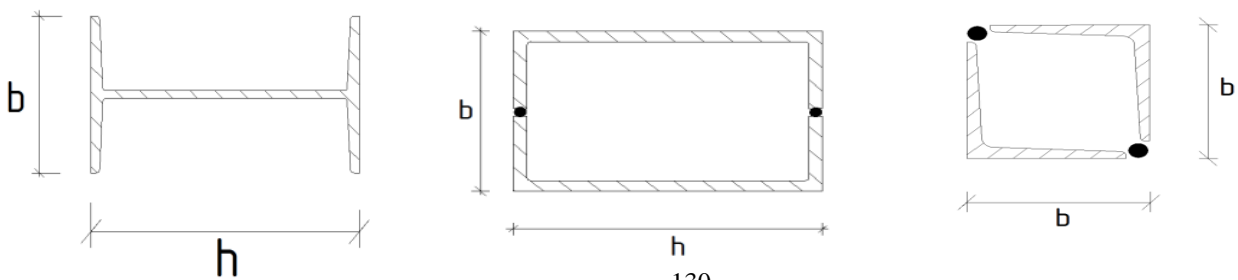


Рисунок 1 - Конструктивная схема шпренгельной балки с одной стойкой

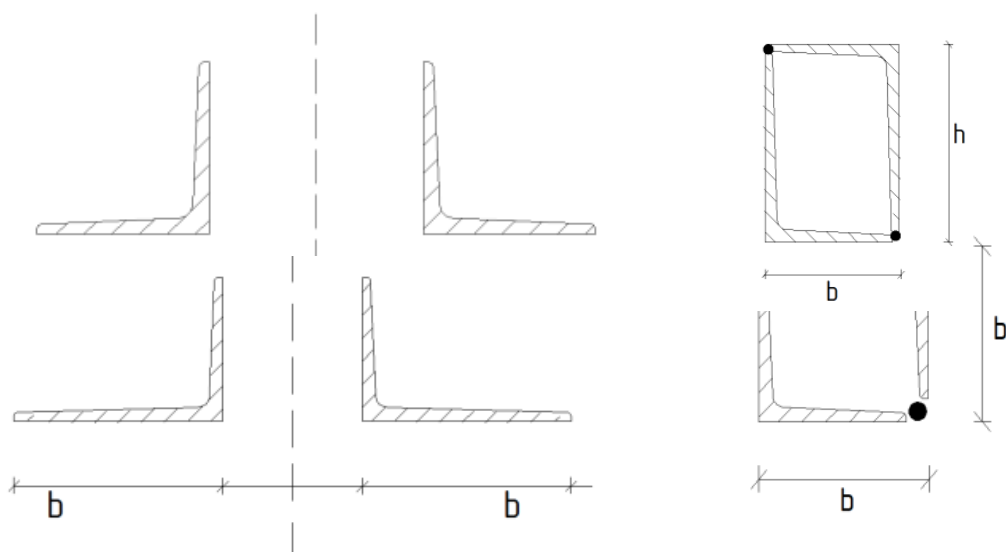
#### Варианты сечения 1-1



#### Варианты сечения 2-2



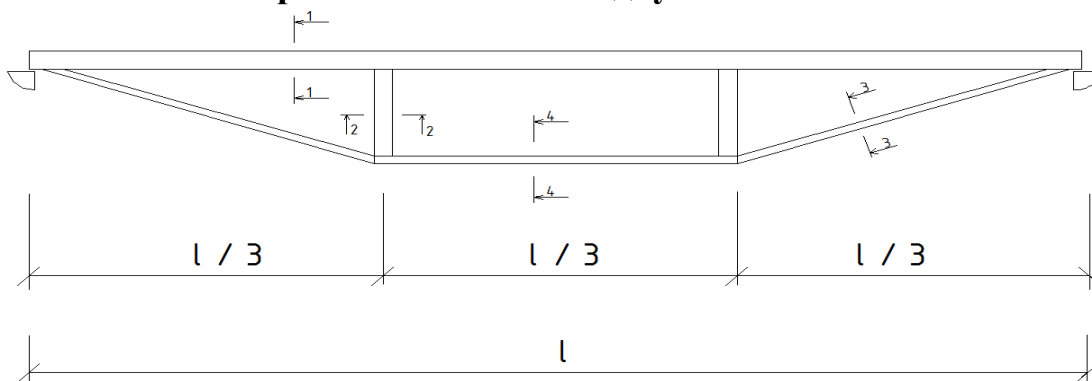
### Варианты сечения 3-3



Сечения 3-3 и 4-4 одинаковы.

**Рисунок 2** - Сечения элементов шпренгельной балки

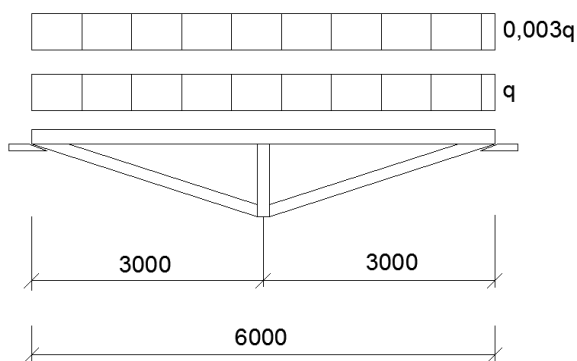
### Шпренгельная балка с двумя стойками



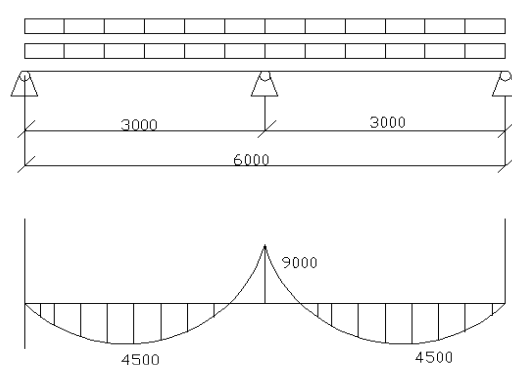
**Рисунок 3** - Конструктивная схема шпренгельной балки с двумя стойками

Сечения элементов шпренгельной балки с двумя стойками такие же, как и элементов шпренгельной балки с одной стойкой (см. рис.2.).

### Расчет шпренгельной балки с одной стойкой



**Рисунок 4** - Конструктивная схема  
Примем  $q^T = 80 \text{ кн/м}$ .



**Рисунок 5** - Расчетная схема

Определение усилий в элементах. Доля опорной реакции, воспринимаемая рас-

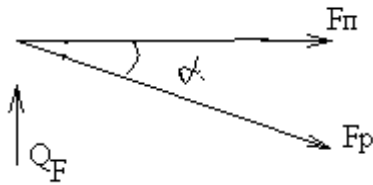
косом:  $Q_p = \frac{ql^2}{2} - Q(0) = \frac{ql}{2} - \frac{3ql}{16} = \frac{5ql}{16} = 150кН.$

Функция моментов  $M(x) = \frac{3ql}{16}x - \frac{qx^2}{2}.$  (1)

Поперечная сила  $Q(x) = \frac{dM}{dx} = \frac{3ql}{16} - qx.$  (2)

Начало координат находится на левой опоре. При  $x=0$  поперечная сила  $Q(0) = \frac{3ql}{16}$ . При  $x=l/2$  поперечная сила  $Q(l/2) = \frac{3ql}{16} - q \cdot \frac{l}{2} = -\frac{5ql}{16}$ .  $i(l/2) = -\frac{ql^2}{34}$ .

Усилие в раскосе определим из равновесия узла. Обычно  $l / h$  примерно равно 0,1.



$$F_p = \frac{Q_p}{\sin \alpha} = \frac{qL}{16 \sin \alpha} = \frac{5 \cdot 80кН \cdot 6м}{16 \cdot 0,196} = 765,03кН$$

$$\sin \alpha = \frac{h}{\sqrt{\frac{l^2}{2} + h^2}} = \frac{0,6м}{\sqrt{\frac{6^2}{2} + (0,6)^2}} = 0,196.$$

Подбор сечения раскоса:  $\frac{F_p}{A_{\text{нетто}}} \leq \gamma \cdot R - \text{по } \sigma_{\tau},$  где

$A_{\text{нетто}}$  - площадь поперечного сечения элемента;  $\gamma$  – коэффициент условий работы;  $R$ - расчетное сопротивление стали; По пределу текучести  $R = R_m^H / \gamma_m = 235 \text{ МПа} / 1,025 = 229,2 \text{ МПа}, \gamma_m$  - коэффициент надежности по материалу;

$$\gamma R \cdot A_{\text{нетто}} \leq F_p; \tag{3}$$

$$A_{\text{нетто}} = \frac{F_p}{\gamma R} = \frac{765,03кН}{0,9 \cdot 229,2кН / \text{см}^2} = 37,13 \text{ см}^2. \quad \text{По временному сопротивлению}$$

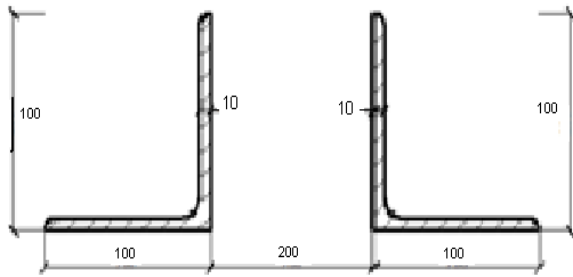
$$R_{\sigma} = R_{\sigma}^H / \gamma_m = 365 \text{ МПа} / 1,025 = 356 \text{ МПа}$$

По временному сопротивлению определим требуемую площадь сечения:

$$A_{\text{нетто}} = \frac{1,3F_p}{\gamma \cdot R^{\sigma}} = \frac{1,3 \cdot 765,03кН}{0,9 \cdot 356кН / \text{см}^2} = 31,04 \text{ см}^2$$

Подбираем из двух значений площадей большее:  $A_{\text{нетто}} = 37,13 \text{ см}^2$

Принимаем уголки равнополочные 2 шт. с сечением:  $t=10\text{мм}; b=100\text{мм}; h=100\text{мм}$



Определение усилия сжатия в перекладине  
 $F_n = F_p \cdot \cos \alpha = 765,03 \text{кН} \cdot 0,980 = 750 \text{кН}$ ,  
 $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0,196^2} = 0,980$ .

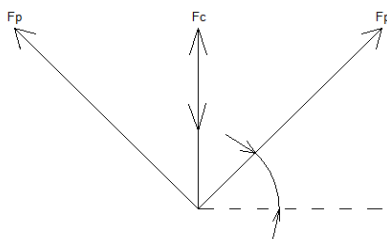
Условие прочности  $\frac{F_n}{A_n} \leq \gamma R$ ,  $A_n = \frac{F_n}{\gamma \cdot R} = \frac{750 \text{кН}}{0,9 \cdot 20 \text{кН} / \text{см}^2} = 41,6 \text{см}^2$

$$\frac{F_n}{A_n} = \frac{750}{41,6} = 18 \leq \gamma R = 0,9 \cdot 20 \text{кН} / \text{см}^2 = 18 \text{кН} / \text{см}^2.$$

Принимаем профиль холодногнутый, сварной прямоугольного сечения.

Определение усилия в жестком элементе (стойке)

Рассматривая равновесие нижнего среднего узла шпренгельной балки,



имеем  
 $F_c = 2 \cdot F_p \cdot \sin \alpha = 2 \cdot 765,03 \text{кН} \cdot 0,196 = 300 \text{кН}$ .

Стойка работает на сжатие. Ее сечение подбираем из условия устойчивости продольного изгиба; задаемся гибкостью  $\lambda_x = 70$ ; по известным таблицам находим соответствующее значение коэффициента продольного изгиба

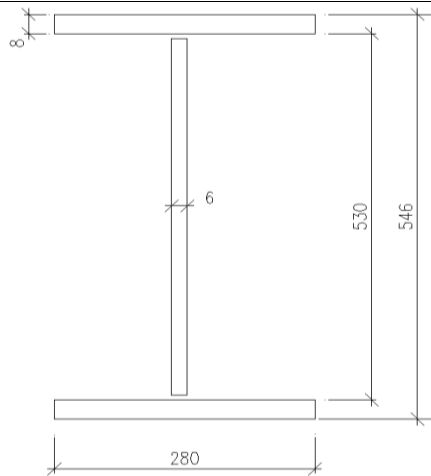
$$\varphi_x = 0,782; \quad \varphi_x = \varphi_y; \quad \frac{F_c}{\varphi_x \cdot A_c} \leq \gamma R; \quad (4)$$

площадь сечения  $A_c = \frac{F_c}{\gamma \cdot R \cdot \varphi_x} = \frac{300 \text{кН}}{0,9 \cdot 20 \text{кН} / \text{см}^2 \cdot 0,782} = 21,31 \text{см}^2$ ;  $\lambda_{\bar{n}}^{\bar{o}} = \lambda_{\bar{n}}^{\acute{o}}$ .

Принимаем сварной двутавр сечением  $t=8\text{мм}$ ;  $b=280\text{мм}$ ;  $h=546\text{мм}$ . Определение напряжений в сечениях перекладины. Вычисляем расчетный момент при  $x=l/2$ .

$$M_p = \frac{q^T \cdot n_1 + 0,03 q^T \cdot n_2}{32} \cdot L^2 =$$

$$= \frac{80 \text{кН} / \text{м} \cdot 1,2 + 0,03 \cdot 80 \text{кН} \cdot \text{м} \cdot 1,05}{32} \cdot 6^2 \text{м} = 110,835 \text{кН} \cdot \text{м}$$



**Рисунок 6** - Сечение верхней перекладины

Напряжения при изгибе находим по формуле:  $\sigma_{\epsilon} = \frac{I_{\delta}}{W \cdot C} \leq \gamma \cdot R$  –  
- первое условие прочности.

$$\sigma_u = \frac{M_p}{W} = \frac{110,835 \text{кН} \cdot \text{см}}{1460,219 \text{см}^3} = 7,59 < 0,9 \cdot 24 \text{кН} / \text{см}^2 = 21,6 \text{кН} / \text{см}^2,$$

где

$$W = \frac{I_n}{h/2} = \frac{39863,2}{54,6/2} = 1460 \text{см}^3. \text{ Первое условие прочности выполняется.}$$

Напряжения сжатия определяем по формуле:  $\sigma_{сж} = \frac{F_{II}}{A_{II}} = \frac{750 \text{кН}}{56 \text{см}^2} = 13,39 \text{кН} / \text{см}^2$ .

Далее находим касательные напряжения:

$$\tau = \frac{S \cdot Q_{\max}}{I_{\bar{I}} \cdot t_{\bar{n}\delta}} = 5,1 \text{êÍ} / \bar{n}\bar{\iota}^2; \text{ второе условие по 4-ой теории прочности}$$

$$\sigma_{II} = \sqrt{(\sigma_u + \sigma_{сж})^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq \gamma \cdot R, \quad (5)$$

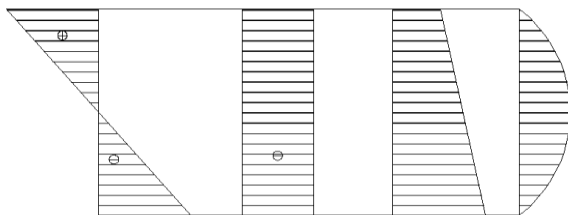
$$\sigma_{\bar{I}\bar{D}} = \sqrt{(\sigma_{\bar{n}\bar{\iota}\bar{\epsilon}})^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{(10,12 \text{êÍ} / \bar{n}\bar{\iota}^2)^2 + 3 \cdot (5,31 \text{êÍ} / \bar{n}\bar{\iota}^2)^2} =$$

$$= 13,16 \text{êÍ} / \bar{n}\bar{\iota}^2 < \gamma \cdot R = 0,9 \cdot 24 \text{êÍ} / \bar{n}\bar{\iota}^2 = 21,6 \text{êÍ} / \bar{n}\bar{\iota}^2.$$

Третье условие

$$\sigma_{\bar{I}\bar{D}} = \sqrt{(\sigma_{\bar{n}\bar{\iota}\bar{\epsilon}} + \sigma_{\epsilon})^2} = \sqrt{(10,12 \text{êÍ} / \bar{n}\bar{\iota}^2 + 6,93 \text{êÍ} / \bar{n}\bar{\iota}^2)^2} =$$

$$= 17,05 \text{êÍ} / \bar{n}\bar{\iota}^2 < \gamma \cdot R = 0,9 \cdot 24 \text{êÍ} / \bar{n}\bar{\iota}^2 = 21,6 \text{êÍ} / \bar{n}\bar{\iota}^2$$



По нашим вычислениям расход стали на рассмотренную выше конструкцию перекладины составил  
G= 363кгс.

$$\sigma_u, \quad \sigma_{сж}, \quad \sigma = \sigma_u + \sigma_{сж}, \quad \tau$$

**Рисунок 7** - Эпюры напряжений

Аналогичные расчеты были выполнены нами и для шпренгельной балки с двумя стойками.

### Расчет шпренгельной балки с двумя стойками

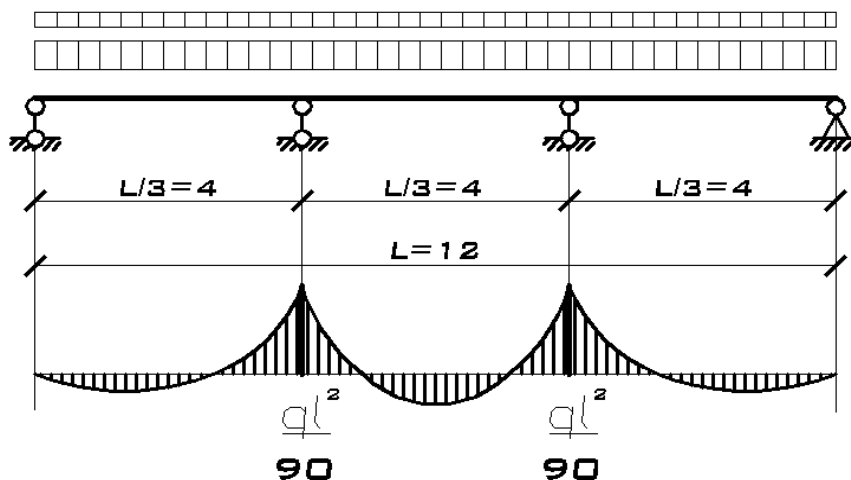


Рисунок 8 - Расчетная схема шпренгельной балки с двумя стойками

#### Определение усилий в элементах

Доля опорной реакции, воспринимаемая раскосом:

$$Q_p = \frac{11ql}{30} = \frac{11 \cdot 80 \cdot 12}{30} = 352 \text{ кН.}$$

Функция моментов 
$$M(x) = \frac{4ql}{30} \cdot x - \frac{qx^2}{2}. \quad (6)$$

Поперечная сила 
$$Q(x) = \frac{dM}{dx} = \frac{4ql}{30} - qx. \quad (7)$$

Начало координат располагается на левой опоре. При  $x=0$  поперечная сила  $Q(0) = \frac{4ql}{30}$ . При  $x = l/3$  поперечная сила  $Q(l/3) = \frac{4ql}{30} - q \cdot \frac{l}{3} = -\frac{6ql}{30}$ .  $M(l/3) = -\frac{ql^2}{90}$  -

- наибольший изгибающий момент в перекладине.

Дальнейшие операции по определению усилий в элементах, а также вычисление их площадей выполняется по алгоритму, приведенному выше для шпренгельной балки с одной стойкой.

### Таблицы результатов расчета и расхода стали, в кгс

Нами было рассмотрено множество вариантов сечений шпренгельных балок как с одной, так и с двумя стойками. Ниже приводятся таблицы расхода стали для рассмотренных шпренгельных балок различного сечения на пролетах 6, 9, 12, 15, 18 м. Величина  $k = q/400$ ,  $q$  кН/м – погонная нагрузка на перекладину шпренгельной балки. После вычисления веса рассмотренных нами конструкций были составлены таблицы 1,2,3.

**Таблица 1- Шпренгель с одной стойкой двутаврового сечения**

1	6	9	12	15	18
k=0,2	453	1067	2011	2931	4528
k=0,5	1121	2451	4498	6907	12935
k=1	2196	5158	9857	16841	24845
k=1,5	3350	7758	14538	23323	35028
k=2	4407	10519	19155	28987	43523

**Таблица 2- Шпренгель с двумя стойками двутаврового сечения**

1	6	9	12	15	18
k=0,2	512	1213	2187	3568	5216
k=0,5	1178	2787	49388	8198	11938
k=1	2232	3952	9227	14630	22939
k=1,5	3544	3635	14060	22108	32708
k=2	4415	10329	18496	29533	42355

**Таблица 3 - Шпренгель с двумя стойками коробчатого сечения**

1	6	9	12	15	18
k=0,2	547	1172	2208	2747	4710
k=0,5	1213	2608	4865	8599	12808
k=1	2282	4173	9700	15401	22464
k=1,5	3905	7865	14020	23611	34353
k=2	4527	10455	-	30758	44375

Исходя из данных таблиц 1, 2, 3 можно сформулировать вывод: на пролетах менее 12 м рациональны по расходу стали шпренгельные балки с одной стойкой; на пролетах 12 ÷ 18 м рациональны шпренгельные балки с двумя стойками.

### **Библиографический список:**

1. "Металлические конструкции" под редакцией Кудишина Ю.И. М.: Академия, 2008. С.730
- 2.. Юсупов А.К., «Металлические конструкции». Махачкала: ДГТУ, 2010. С.750.
3. Киявов У.А., Муселемов Х.М., Устарханов О.М., Устарханов Т.О. //Влияние на напряженно-деформированное состояние трехслойной балки параметров дискретного заполнителя// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Махачкала № 34 (3) 2014, С 68 – 74 стр.