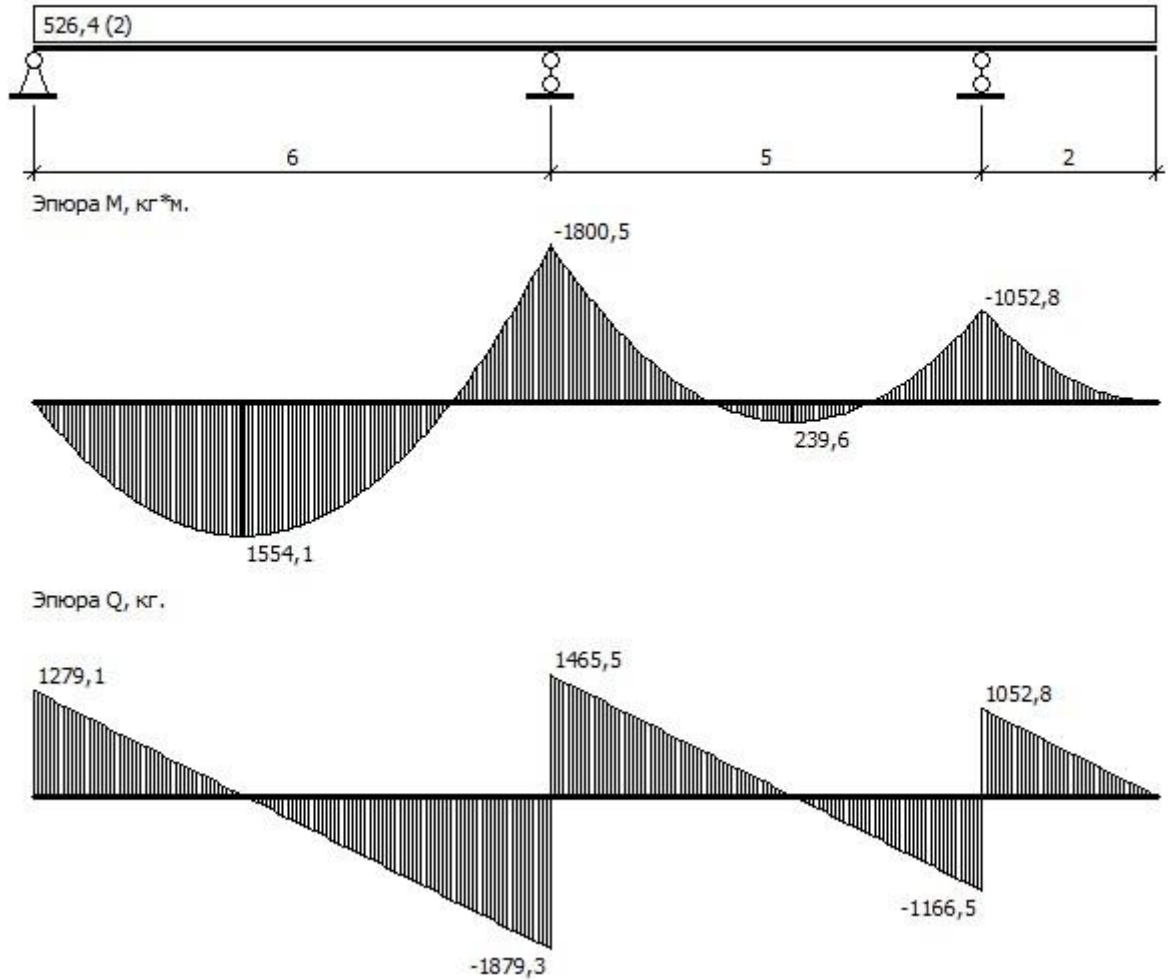


# Расчет балки Ultralam

## Расчетная схема



## Нагрузки

Пролет	Тип нагрузки	Значение, кг(кг/м.п.)	Коэф. надежности $\gamma_f$	Коэф. длительности $\gamma_d$	Привязка X, м	Длина S, м
0	распределенная	350	1	1	-	-
0	распределенная	126	1,4	0,7	-	-

## Исходные данные

Тип материала Ultralam: R.

Ширина сечения: 75 мм.

Высота сечения: 600 мм.

### Геометрические характеристики

Момент сопротивления,  $W = b \cdot h^2 / 6 = 7,5 \cdot 60^2 / 6 = 4500 \text{ см}^3$ .

Момент инерции,  $I = b \cdot h^3 / 12 = 7,5 \cdot 60^3 / 12 = 135000 \text{ см}^4$ .

Статический момент,  $S = b \cdot h^2 / 8 = 7,5 \cdot 60^2 / 8 = 3375 \text{ см}^3$ .

### Прочностные характеристики

Прочностные характеристики определяются по табл.7 [2], модуль упругости - по табл.8 [2].

Расчетное сопротивление изгибу,  $R_n = 26,5 \text{ МПа}$ .

Расчетное сопротивление скалыванию,  $R_{s,n} = 2,6 \text{ МПа}$ .

Модуль упругости,  $E_n = 14000 \text{ МПа}$ .

### Коэффициенты условий работы

Температурно-влажностные условия эксплуатации соответствуют классу 1 по табл.6 [2]. В соответствии с п.7.5 [2], коэффициент условий эксплуатации  $m_v = 1$ .

Конструкция эксплуатируется при установившейся температуре воздуха до 35°C. В соответствии с п.3.2б [1], коэффициент  $m_T = 1$ .

Процент напряжений в балке от расчетных постоянных и временных длительных нагрузок будем оценивать по проценту суммарного значения этих нагрузок от полной. Доля расчетных постоянных и временных длительных нагрузок составляет 89,95%. В соответствии с п.3.2в [1], коэффициент  $m_{d,1} = 0,8$ .

Доля нормативных постоянных и временных длительных нагрузок составляет 92,06%. В соответствии с п.3.2в [1], коэффициент  $m_{d,2} = 0,8$ .

Высота сечения - 600 мм. В соответствии с п.3.2д [1] и табл.7 [1], коэффициент  $m_b = 0,96$ .

Балка не подвергнута глубокой пропитке антипиренами под давлением. В соответствии с п.3.2ж [1] коэффициент  $m_a = 1$ .

По приложению И [2] класс ответственности конструкции - 2. В соответствии с п.3.2 [1] и табл.9а [1], коэффициент  $\gamma_{к/о} = 1$ .

### Расчетные значения прочностных характеристик

Определим расчетные значения прочностных характеристик умножением их нормативных значений на коэффициенты условий работы.

$R = R_n \cdot m_v \cdot m_T \cdot m_{d,1} \cdot m_b \cdot m_a / \gamma_{к/о} = 26,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,96 \cdot 1 / 1 = 20,35 \text{ МПа}$ .

$R_s = R_{s,n} \cdot m_v \cdot m_T \cdot m_{d,1} \cdot m_b \cdot m_a / \gamma_{к/о} = 2,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,96 \cdot 1 / 1 = 1,997 \text{ МПа}$ .

$$E = E_n \cdot m_b \cdot m_t \cdot m_{d,2} = 14000 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 = 11200 \text{ МПа.}$$

### **Проверка по моменту**

Для определения предельно-допустимого момента преобразуем формулу 17 [1].

$$M_{\text{пред}} = W \cdot R, \text{ где}$$

$W$  - момент сопротивления сечения,  $\text{см}^3$ ,

$R$  - расчетное сопротивление изгибу, МПа.

Определим предельно-допустимый момент  $M_{\text{пред}}$ .

$$M_{\text{пред}} = (0.1) \cdot 4500 \cdot 20,35 = 9158,4 \text{ кг}\cdot\text{м.}$$

Максимальный действующий момент из статического расчета балки,  $M = 1800,5 \text{ кг}\cdot\text{м}$ .

Так как максимальный действующий момент меньше предельно-допустимого ( $1800,5 < 9158,4$ ), несущая способность по моменту обеспечена.

### **Проверка по поперечной силе**

Для определения предельно-допустимого значения поперечной силы преобразуем формулу 18 [1].

$$Q_{\text{пред}} = I \cdot b \cdot R_s / S, \text{ где}$$

$I$  - момент инерции сечения,  $\text{см}^4$ ,

$b$  - ширина сечения,  $\text{см}$ ,

$R_s$  - расчетное сопротивление скалыванию, МПа,

$S$  - статический момент,  $\text{см}^3$ .

Определим предельно-допустимое значение поперечной силы  $Q_{\text{пред}}$ .

$$Q_{\text{пред}} = (10) \cdot 135000 \cdot 7,5 \cdot 1,997 / 3375 = 5990,4 \text{ кг.}$$

Максимальная поперечная сила из статического расчета балки,  $Q = 1879,3 \text{ кг}$ .

Так как максимальная поперечная сила меньше предельно-допустимой ( $1879,3 < 5990,4$ ), несущая способность по поперечной силе обеспечена.

### **Проверка устойчивости плоской формы деформирования**

Максимальные изгибные напряжения определяются из условия 22 [1] (левая часть).

$$\sigma = M / (\phi_m \cdot W), \text{ где}$$

$M$  - максимальный момент,  $\text{кг}\cdot\text{м}$ ,

$\phi_m$  - коэффициент, характеризующий устойчивость из плоскости,

$W$  - момент сопротивления сечения,  $\text{см}^3$ .

Коэффициент  $\phi_m$  определяется по формуле 23 [1].

$$\phi_m = 140 \cdot b^2 \cdot k_\phi / (I_p \cdot h), \text{ где}$$

$b$  - ширина сечения, мм,

$h$  - высота сечения, мм,

$l_p$  - расстояние между опорными сечениями элемента, а при закреплении сжатой кромки элемента в промежуточных точках от смещения из плоскости изгиба - расстояние между этими точками, мм,

$k_\phi$  - коэффициент формы эпюры на участке  $l_p$ , определяемый по таблице Г.2 [1].

Если на участке  $l_p$  имеются точки подкрепления растянутой кромки, то коэффициент  $\phi_m$  нужно помножить на коэффициент  $k_{pm}$ , определяемый по формуле 24 [1].

$$k_{pm} = 1 + [0.142 \cdot l_p / h + 1.76 \cdot h / (l_p - 1)] \cdot [m^2 / (m^2 + 1)], \text{ где}$$

$h, l_p$  - то же что и в формуле 23 [1],

$m$  - количество точек подкрепления растянутой кромки.

### Пролет 1.

Расстояние между точками раскрепления сжатой кромки,  $l_p = 6000$  мм.

Максимальный момент на участке  $l_p$ ,  $M = 1800,5$  кг·м.

Коэффициент формы эпюры на участке  $l_p$ ,  $k_\phi = 1.13$ .

Определим коэффициент  $\phi_m$ .

$$\phi_m = 140 \cdot 75^2 \cdot 1.13 / (6000 \cdot 600) = 0,247 .$$

Определим максимальное напряжения изгиба  $\sigma$ .

$$\sigma = (10) \cdot 1800,5 / (0,247 \cdot 4500) = 16,19 \text{ МПа.}$$

Условие 22 [1] выполняется ( $\sigma < R$ ,  $16,19 < 20,35$ ), устойчивость плоской формы деформирования обеспечена.

### Пролет 2.

Расстояние между точками раскрепления сжатой кромки,  $l_p = 5000$  мм.

Максимальный момент на участке  $l_p$ ,  $M = 1800,5$  кг·м.

Коэффициент формы эпюры на участке  $l_p$ ,  $k_\phi = 1.13$ .

Определим коэффициент  $\phi_m$ .

$$\phi_m = 140 \cdot 75^2 \cdot 1.13 / (5000 \cdot 600) = 0,297 .$$

Определим максимальное напряжения изгиба  $\sigma$ .

$$\sigma = (10) \cdot 1800,5 / (0,297 \cdot 4500) = 13,49 \text{ МПа.}$$

Условие 22 [1] выполняется ( $\sigma < R$ ,  $13,49 < 20,35$ ), устойчивость плоской формы деформирования обеспечена.

### Пролет 3.

Расстояние между точками раскрепления сжатой кромки,  $l_p = 2000$  мм.

Максимальный момент на участке  $l_p$ ,  $M = 1052,8$  кг·м.

Коэффициент формы эпюры на участке  $l_p$ ,  $k_\phi = 1.13$ .

Определим коэффициент  $\phi_m$ .

$$\phi_m = 140 \cdot 75^2 \cdot 1.13 / (2000 \cdot 600) = 0,742 .$$

Определим максимальное напряжения изгиба  $\sigma$ .

$$\sigma = (10) \cdot 1052,8 / (0,742 \cdot 4500) = 3,155 \text{ МПа.}$$

Условие 22 [1] выполняется ( $\sigma < R$ ,  $3,155 < 20,35$ ), устойчивость плоской формы деформирования обеспечена.

обеспечена.

### **Проверка по прогибам**

Предельно-допустимый прогиб определится как доля пролета в соответствии с табл.16 [1] и табл.Е.1 [3].

Максимальный прогиб определяется по формуле 50 [1].

$$U = [1 + c \cdot (h / l)^2] \cdot U_0 / k, \text{ где}$$

$U_0$  - прогиб без учета деформаций сдвига, мм,

$k$  - коэффициент принимаемый равным 1 для балок постоянного сечения,

$c$  - коэффициент учитывающий влияние деформаций сдвига и определяемый по табл.Г.3 [1],

$h$  - высота сечения, мм,

$l$  - длина пролета, мм.

Прогибы определяются от постоянных и временных длительных нагрузок.

#### **Пролет 1.**

Расчетная длина пролета,  $l = 6000$  мм.

Прогиб без учета деформаций сдвига,  $U_0 = 2,698$  мм (из решения дифференциального уравнения изогнутой оси балки, координата максимального прогиба  $x = 2,701$  м).

Высота сечения,  $h = 600$  мм.

Коэффициент учета влияния деформаций сдвига,  $c = 19,2$ .

Определим максимальный прогиб  $U$ .

$$U = [1 + 19,2 \cdot (600 / 6000)^2] \cdot 2,698 / 1 = 3,215 \text{ мм.}$$

определим предельно допустимый прогиб  $U_{\text{пред}}$ .

Доля пролета, составляющая предельно-допустимый прогиб -  $1 / 200$ .

$$U_{\text{пред}} = l / 200 = 6000 / 200 = 30 \text{ мм.}$$

Так как максимальный прогиб меньше предельно-допустимого ( $3,215 < 30$ ), необходимая жесткость обеспечена.

#### **Пролет 2.**

Расчетная длина пролета,  $l = 5000$  мм.

Прогиб без учета деформаций сдвига,  $U_0 = 0,253$  мм (из решения дифференциального уравнения изогнутой оси балки, координата максимального прогиба  $x = 0,969$  м).

Высота сечения,  $h = 600$  мм.

Коэффициент учета влияния деформаций сдвига,  $c = 19,2$ .

Определим максимальный прогиб  $U$ .

$$U = [1 + 19,2 \cdot (600 / 5000)^2] \cdot 0,253 / 1 = 0,323 \text{ мм.}$$

определим предельно допустимый прогиб  $U_{\text{пред}}$ .

Доля пролета, составляющая предельно-допустимый прогиб -  $1 / 200$ .

$$U_{\text{пред}} = l / 200 = 5000 / 200 = 25 \text{ мм.}$$

Так как максимальный прогиб меньше предельно-допустимого ( $0,323 < 25$ ), необходимая жесткость обеспечена.

### Пролет 3.

Расчетная длина пролета,  $l = 2000$  мм.

Прогиб без учета деформаций сдвига,  $U_0 = 1,145$  мм (из решения дифференциального уравнения изогнутой оси балки, координата максимального прогиба  $x = 2$  м).

Высота сечения,  $h = 600$  мм.

Коэффициент учета влияния деформаций сдвига,  $c = 19,2$ .

Определим максимальный прогиб  $U$ .

$$U = [1 + 19,2 \cdot (600 / 2000)^2] \cdot 1,145 / 1 = 3,124 \text{ мм.}$$

определим предельно допустимый прогиб  $U_{\text{пред}}$ .

Доля пролета, составляющая предельно-допустимый прогиб -  $1 / 200$ .

Так как пролет консольный, расчетную длину нужно удвоить в соответствии с примечанием 1 к табл.Е.1 [3].

$$U_{\text{пред}} = 2 \cdot l / 200 = 2 \cdot 2000 / 200 = 20 \text{ мм.}$$

Так как максимальный прогиб меньше предельно-допустимого ( $3,124 < 20$ ), необходимая жесткость обеспечена.

### Итоговая сводная таблица

Пролет	$L_{\text{геом}}$	Моменты, кг·м		Поперечная сила, кг		Устойчивость, МПа		Прогибы, мм		
		$M_{\text{пред}}$	$M$	$Q_{\text{пред}}$	$Q$	$\sigma_{\text{макс}}$	$\sigma$	$U_{\text{пред}}$	$U$	$X, \text{ м}$
1	6	9158,4	1800,5	5990,4	1879,3	20,35	16,19	30	3,215	2,701
2	5	9158,4	1800,5	5990,4	1879,3	20,35	13,49	25	0,323	0,969
3	2	9158,4	1800,5	5990,4	1879,3	20,35	3,155	20	3,124	2

### Заключение по расчету

Так как все проверки выполняются - необходимая прочность и жесткость балки обеспечена.

### Список литературы

1. СТО 36554501-002-2006 "Деревянные клееные и цельнодеревянные конструкции. Методы проектирования и расчета".
2. СТО 36554501-021-2010 "Деревянные конструкции. Многослойный клееный из шпона материал Ultralam (Ультралам). Общие технические требования".
3. СП 20.13330.2011 "Нагрузки и воздействия".