

Список литературы

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Том 1.
2. Пересвет П.С. Расчёт театральных станков на прочность.
3. Рывин В.Я. Конструирование и расчет театральных декораций.
4. Рывин В.Я. Устойчивость театральных конструкций.

Алгоритм расчёта элементов декорации на прочность

1. Определение конструктивных параметров декорации

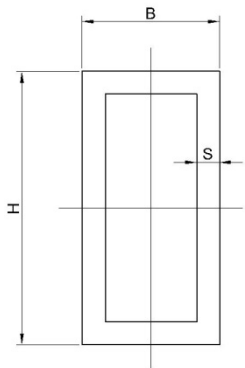
1.1 Материал декорации

Сталь – допустимое напряжение $[\sigma] = 2300 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$

Алюминий – допустимое напряжение $[\sigma] = 1100 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$

1.2 Конструкция декорации

1.2.1 В одну трубу

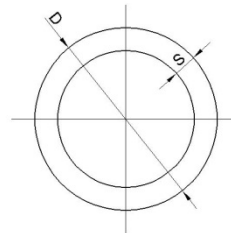


$$I_x = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$b = B - 2 \cdot s$$

$$h = H - 2 \cdot s$$

$$W_x = \frac{I_x}{0.5 \cdot H}$$



$$I_x = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \cdot (1 - e^4)$$

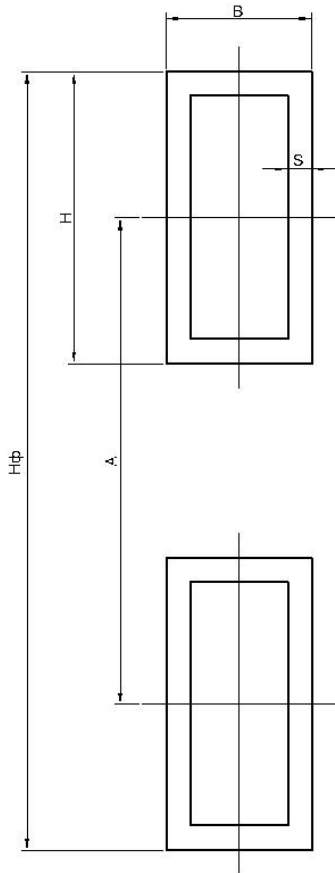
$$e = \frac{D - 2 \cdot s}{D}$$

$$W_x = \frac{I_x}{0.5 \cdot D}$$

I_x – осевой момент инерции (см^4)

W_x – осевой момент сопротивления (см^3)

1.2.2 Плоская ферма



$$I_x = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$b = B - 2 \cdot s$$

$$h = H - 2 \cdot s$$

$$I_{x_{ферм}} = 2 \cdot \left[I_x + F \cdot \left(\frac{A}{2} \right)^2 \right]$$

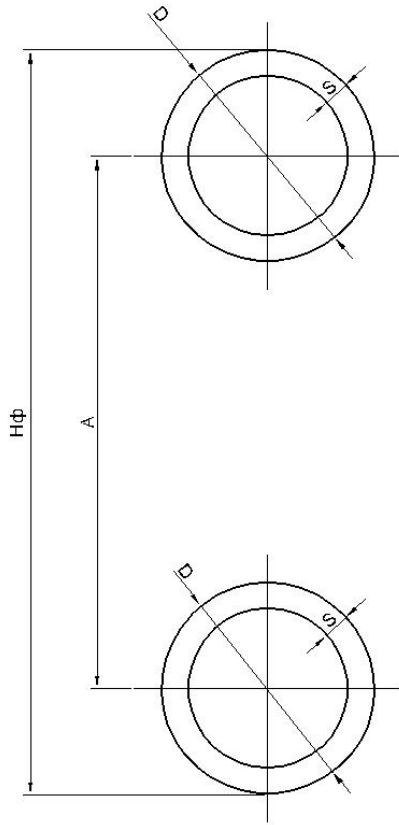
$$W_x = \frac{I_{x_{ферм}}}{0.5 \cdot H\phi}$$

$$F = H \cdot B - h \cdot b$$

$$A = H\phi - H$$

F – площадь поперечного сечения трубы

A – расстояние между центрами тяжести труб фермы



$$I_x = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \cdot (1 - e^4)$$

$$e = \frac{D - 2 \cdot s}{D}$$

$$I_{x_{\text{фepм}}} = 2 \cdot \left[I_x + F \cdot \left(\frac{A}{2} \right)^2 \right]$$

$$W_x = \frac{I_{x_{\text{фepм}}}}{0.5 \cdot H\phi}$$

$$F = \frac{\pi \cdot D^2 - \pi \cdot (D - 2 \cdot s)^2}{4}$$

$$A = H\phi - D$$

1.2.3 Треугольная ферма

$$I_x = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$b = B - 2 \cdot s$$

$$h = H - 2 \cdot s$$

$$F = H \cdot B - h \cdot b$$

Определение центра тяжести сечения фермы

$$X\phi = \frac{2 \cdot g}{3} \qquad Y\phi = \frac{a}{3}$$

Определение момента инерции сечения всей фермы

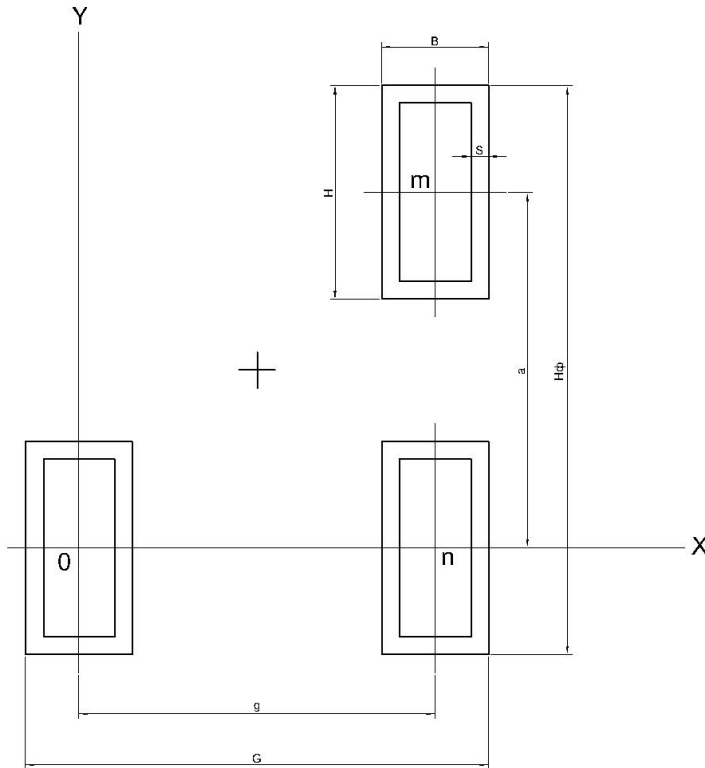
$$I_{x0} = I_x + Y\phi^2 \cdot F$$

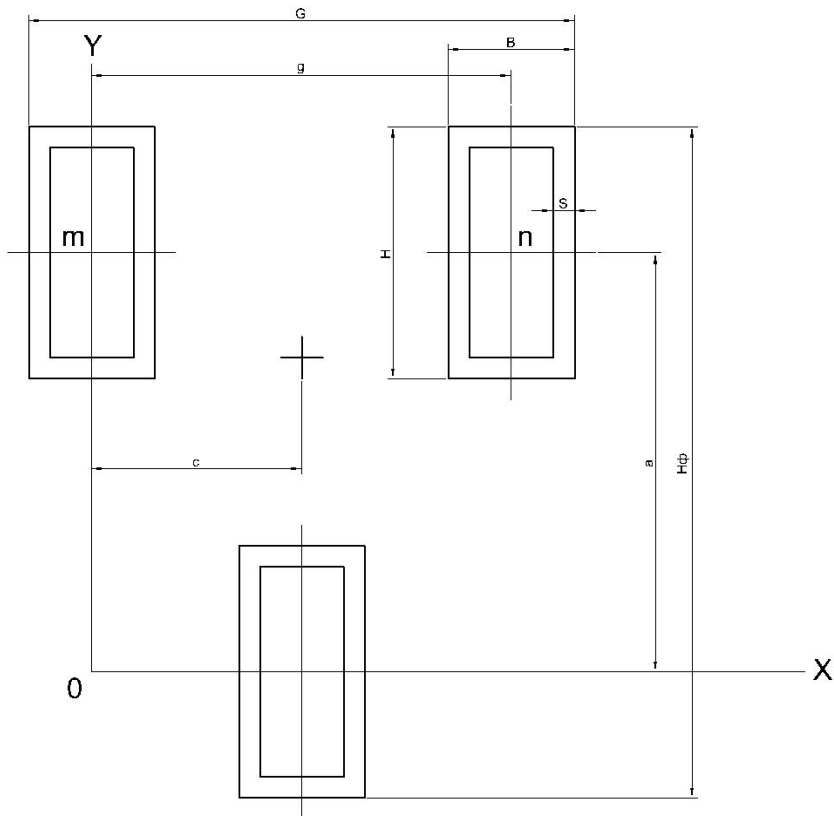
$$I_{xn} = I_x + Y\phi^2 \cdot F$$

$$I_{xm} = I_x + (a - Y\phi)^2 \cdot F$$

$$I_{x_{ферм}} = I_{x0} + I_{xn} + I_{xm}$$

$$W_x = \frac{I_{x_{ферм}}}{a - Y\phi + 0.5 \cdot H}$$





$$I_x = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$b = B - 2 \cdot s$$

$$h = H - 2 \cdot s$$

$$F = H \cdot B - h \cdot b$$

Определение центра тяжести сечения фермы

$$X_{\phi} = \frac{g}{2}$$

$$Y_{\phi} = \frac{2 \cdot a}{3}$$

Определение момента инерции сечения всей фермы

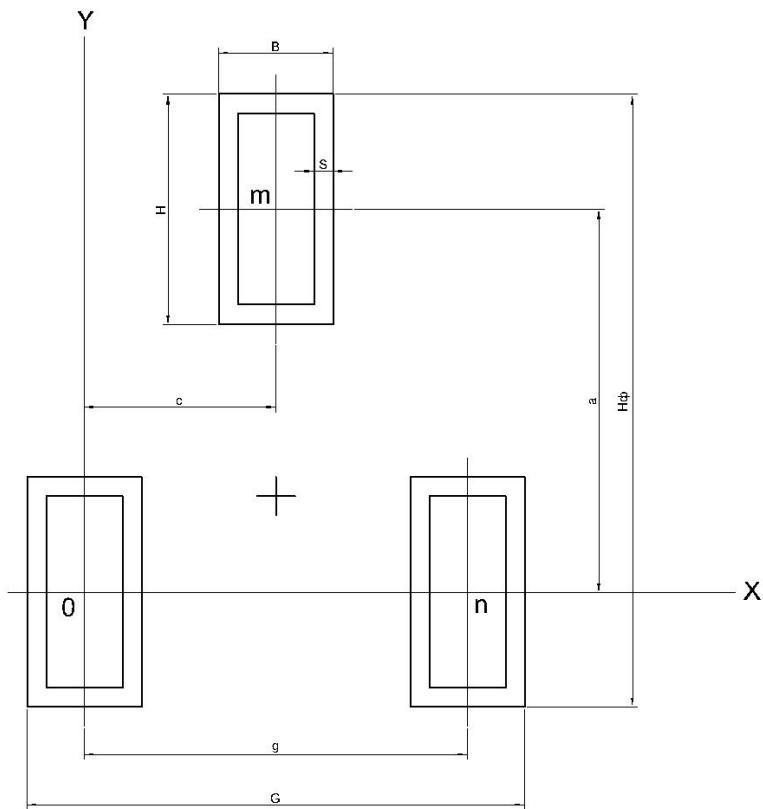
$$I_{x0} = I_x + Y_{\phi}^2 \cdot F$$

$$I_{xn} = I_x + (a - Y_{\phi})^2 \cdot F$$

$$I_{xm} = I_x + (a - Y_{\phi})^2 \cdot F$$

$$I_{x_{\text{ферм}}} = I_{x0} + I_{xn} + I_{xm}$$

$$W_x = \frac{I_{x_{\text{ферм}}}}{Y_{\phi} + 0.5 \cdot H}$$



$$I_x = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$b = B - 2 \cdot s$$

$$h = H - 2 \cdot s$$

$$F = H \cdot B - h \cdot b$$

Определение центра тяжести сечения фермы

$$X\phi = \frac{g}{2} \qquad Y\phi = \frac{a}{3}$$

Определение момента инерции сечения всей фермы

$$I_{x0} = I_x + Y\phi^2 \cdot F$$

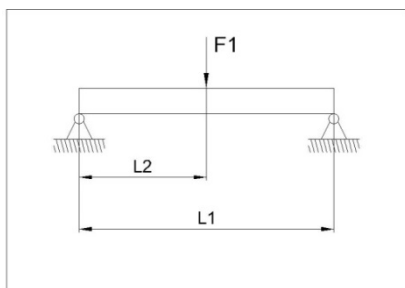
$$I_{xn} = I_x + Y\phi^2 \cdot F$$

$$I_{xm} = I_x + (a - Y\phi)^2 \cdot F$$

$$I_{x_{ферм}} = I_{x0} + I_{xn} + I_{xm}$$

$$W_x = \frac{I_{x_{ферм}}}{a - Y\phi + 0.5 \cdot H}$$

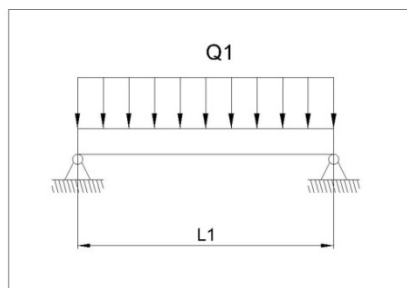
2. Определение схемы нагрузки декорации



$$M = \frac{F1 \cdot L1}{4}$$

$$\sigma_{расч} = \frac{M}{W_x}$$

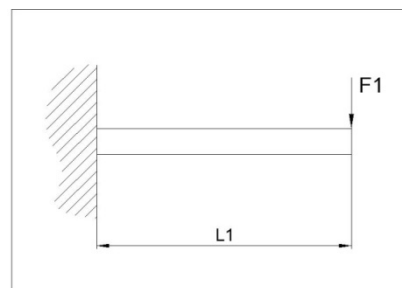
$$\frac{[\sigma]}{\sigma_{расч}} \geq 2$$



$$M = \frac{Q1 \cdot L1^2}{8}$$

$$\sigma_{расч} = \frac{M}{W_x}$$

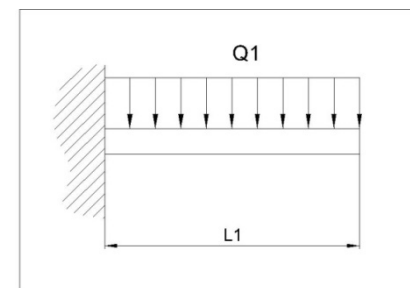
$$\frac{[\sigma]}{\sigma_{расч}} \geq 2$$



$$M = F1 \cdot L1$$

$$\sigma_{расч} = \frac{M}{W_x}$$

$$\frac{[\sigma]}{\sigma_{расч}} \geq 2$$



$$M = \frac{Q1 \cdot L1^2}{2}$$

$$\sigma_{расч} = \frac{M}{W_x}$$

$$\frac{[\sigma]}{\sigma_{расч}} \geq 2$$

$\sigma_{расч}$ – расчётное напряжение $\left(\frac{кг}{см^2} \right)$

$F1$ – сосредоточенная сила (кг) [1 кг=1 даН=10 Н]

M – изгибающий момент (кг • см)

$Q1$ – распределённая нагрузка $\left(\frac{кг}{см} \right)$

Алгоритм расчёта элементов декорации на жесткость

1. Определение конструкционных параметров декорации

1.1 Материал декорации

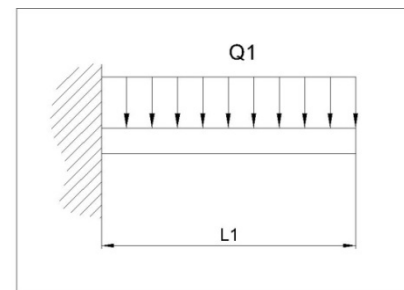
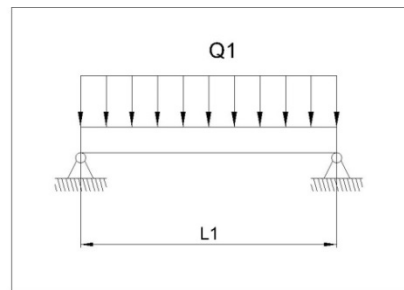
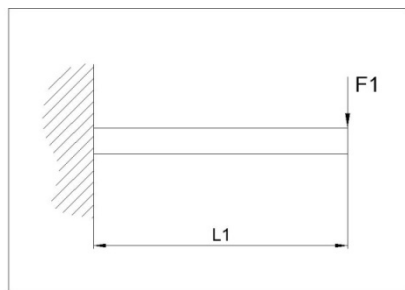
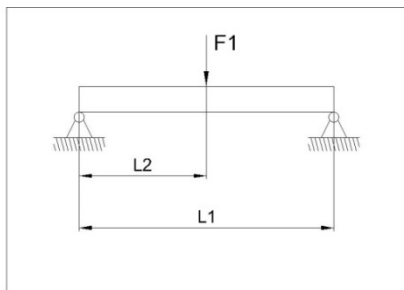
Сталь – модуль упругости $E = 2.1 \cdot 10^6$

Алюминий – модуль упругости $E = 0.6 \cdot 10^6$

1.2 Конструкция декорации

Осейвой момент инерции вычисляется по формулам из расчёта на прочность.

2. Определение схемы нагрузки декорации



$$\vartheta_{расч} = \frac{F1 \cdot L1^3}{48 \cdot Ix_{ферм} \cdot E}$$

$$\vartheta_{расч} = \frac{F1 \cdot L1^3}{3 \cdot Ix_{ферм} \cdot E}$$

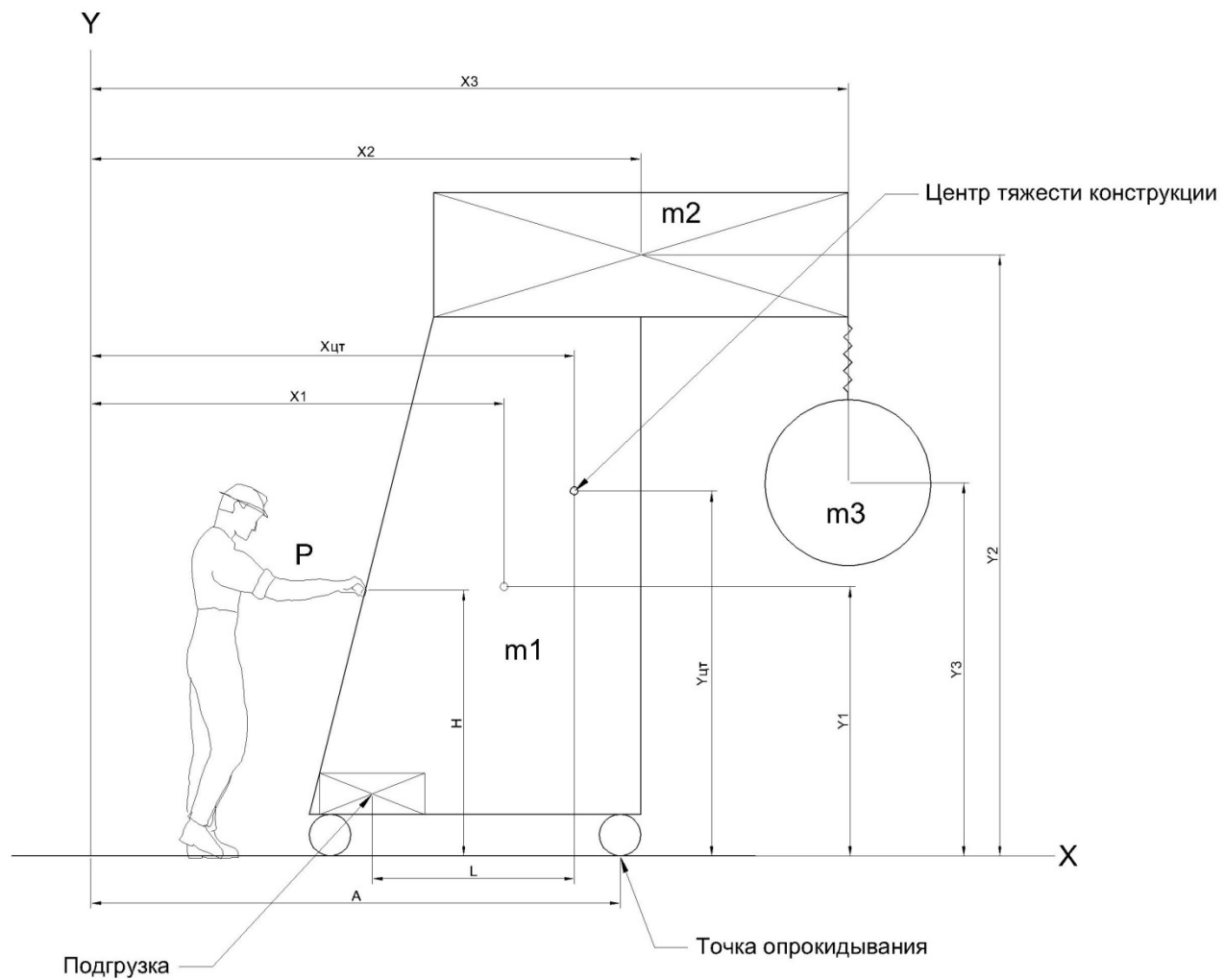
$$\vartheta_{расч} = \frac{5 \cdot Q1 \cdot L1^4}{384 \cdot Ix_{ферм} \cdot E}$$

$$\vartheta_{расч} = \frac{Q1 \cdot L1^4}{8 \cdot Ix_{ферм} \cdot E}$$

$$\vartheta_{дон} = \frac{L1}{200}$$

$$\vartheta_{дон} \geq \vartheta_{расч}$$

Алгоритм расчёта декорации на устойчивость



1. Определение центра тяжести конструкции

$$X_{цт} = \frac{m1 \cdot X1 + m2 \cdot X2 + m3 \cdot X3}{m1 + m2 + m3}$$

$$Y_{цт} = \frac{m1 \cdot Y1 + m2 \cdot Y2 + m3 \cdot Y3}{m1 + m2 + m3}$$

2. Определение силовых факторов, действующих на конструкцию

2.1 При $A > X_{цт}$

$M_{уд}$ = $M \cdot (A - X_{цт})$ – Сумма моментов сил, удерживающих конструкцию от опрокидывания

$M_{опр}$ = $P \cdot H \cdot n + 0.1 \cdot M \cdot Y_{цт}$ - Сумма моментов сил, опрокидывающий конструкцию относительно возможной оси поворота (точки опрокидывания)

P – горизонтально усилие от человека, передвигающего декорацию

H – высота приложения горизонтального усилия

n – количество людей , передвигающих декорацию

$$K = \frac{M_{уд}}{M_{опр}} \geq 2 - \text{декорация устойчива}$$

При $K < 2$ необходима подгрузка

$M_{\text{дон}} = K \cdot M_{\text{онр}} - M_{\text{уд}}$ - дополнительный удерживающий момент

$G_{\text{зр}} = \frac{M_{\text{дон}}}{L}$ - вес необходимого груза

L – расстояние от точки опрокидывания до центра тяжести подгрузки

$N = \frac{G_{\text{зр}}}{g}$ - количество стандартных грузов.

g – вес стандартного груза

1.2 При $A < X_{\text{цт}}$

$M_{\text{уд}} = 0$ – Сумма моментов сил, удерживающих конструкцию от опрокидывания

$M_{\text{онр}} = P \cdot H \cdot n + M \cdot (X_{\text{цт}} - A) + 0.1 \cdot M \cdot Y_{\text{цт}}$ - Сумма моментов сил,
опрокидывающий конструкцию
относительно возможной оси
поворота (точки опрокидывания)

$K = \frac{M_{\text{уд}}}{M_{\text{онр}}} < 2$ необходима подгрузка

$M_{\text{дон}} = K \cdot M_{\text{онр}}$ - дополнительный удерживающий момент

$G_{\text{зр}} = \frac{M_{\text{дон}}}{L}$ - вес необходимого груза

L – расстояние от точки опрокидывания до центра тяжести подгрузки

Алгоритм расчёта троса на разрыв

$$K_{раб} = \frac{Q_{разр} \cdot n \cdot \eta}{Q \cdot k_{дин}} \geq K$$

$K_{раб}$ - расчётный коэффициент запаса прочности

$K = 9$ – допускаемый коэффициент запаса прочности (при подвесе декорации)

$K = 12$ – допускаемый коэффициент запаса прочности (при подвесе человека)

$Q_{разр}$ - разрывное усилие троса принимаемое по ГОСТ 2688-80 (кг)

Q – вес декорации (кг)

n – количество тросов подвеса

η – коэффициент неравномерности распределения нагрузки между тросами (0.7 - 1)

$k_{дин}$ - динамический коэффициент (1 – 1.25)

Алгоритм расчёта болтового соединения на растяжение

$$Q_{\text{факт}} = \frac{P \cdot k}{\pi \cdot R^2} < Q_{\text{доп}}$$

$Q_{\text{факт}}$ – фактическое напряжение при растяжении

$Q_{\text{доп}}$ – допускаемое напряжение при растяжении ($Q_{\text{доп}} = 1250 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$)

P – расчётная нагрузка

k – динамический коэффициент ($k=1.5$)

R – радиус болта

Алгоритм расчёта болтового соединения на срез

$$\tau_{\text{факт}} = \frac{P \cdot k}{\pi \cdot R^2} < \tau_{\text{доп}}$$

$\tau_{\text{факт}}$ – фактическое напряжение при срезе

$\tau_{\text{доп}}$ – допускаемое напряжение при срезе ($\tau_{\text{доп}} = 750 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$)

P – расчётная нагрузка

k – динамический коэффициент ($k=1.5$)

R – радиус болта

Алгоритм расчёта деревянного настила на прочность

$$L \leq 11.53 \cdot s \cdot \sqrt{\frac{1}{Q}} \quad (\text{В.Я. Рывин «Конструирование и расчёт театральных декораций» стр.48})$$

L – Расстояние между поперечными рамами

s – толщина настила

Q – расчётная нагрузка

$$\text{При } Q = 300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} \quad L \leq 0.66 \cdot s$$

Алгоритм расчёта деревянного настила на жесткость

$$L \leq 3.175 \cdot s \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{Q}} \quad (\text{В.Я. Рывин «Конструирование и расчёт театральных декораций» стр.50})$$

L – Расстояние между поперечными рамами

s – толщина настила

Q – расчётная нагрузка

$$\text{При } Q = 300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} \quad L \leq 0.47 \cdot s$$