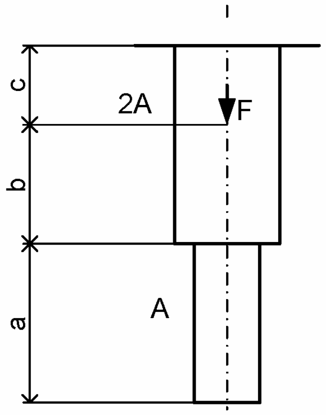
ОПД.Ф.02.02 СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Примеры решения задач на Mathcad

Задача №1

Стальной стержень находится под действием продольной силы и собственного веса.

1. Сделать схематический рисунок стержня по соответствующим размерам, придерживаясь масштаба.
2. Составить для каждого участка стержня в сечении с текущей координатой *x* аналитические выражения продольного усилия и нормального напряжения с учетом собственного веса стержня.
3. Построить эпюры продольных сил и напряжений.
4. Вычислить с учетом собственного веса стержня перемещение сечения, которое находится на расстоянии a+b от свободного конца.



SI MathCad

$E = 2\cdot 10^{11}$ $\gamma = 78\cdot 10^{3}$

$A = 1.4\cdot 10^{-3}$ $a = 2.4$ $b = 1.8$ $c = 1.2$ $F = 1600$

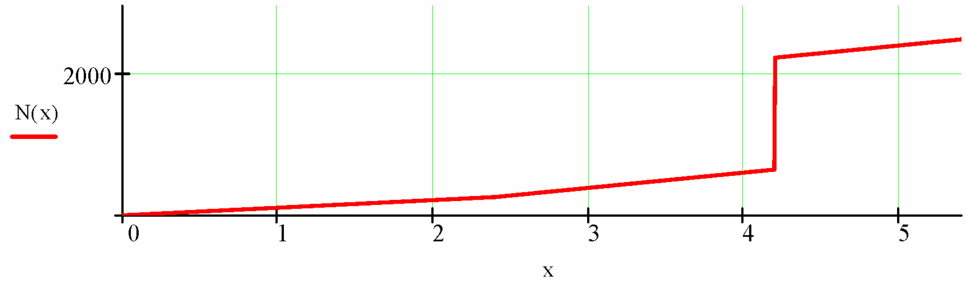
Решение.

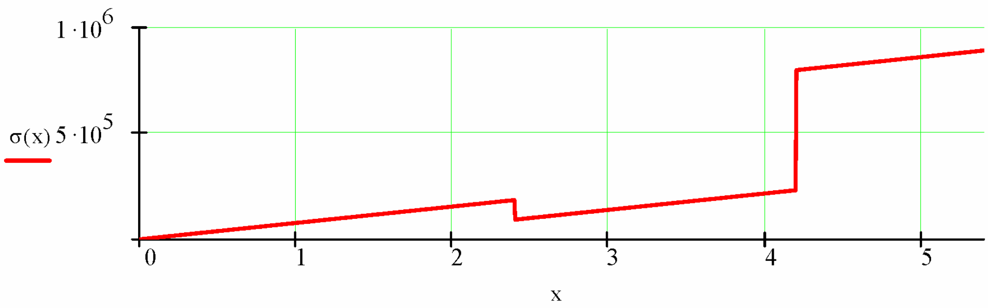
1. Разбиваем ступенчатый стержень на участки.
2. Находим величины продольных сил и напряжений на каждом участке стержня в функции расстояния от конца стержня:

$$N(x) = \begin{vmatrix} A\cdot\gamma\cdot x \\ A\cdot\gamma\cdot a + 2\cdot A\cdot\gamma\cdot(x-a) \ \text{ if } x > a \\ A\cdot\gamma\cdot a + 2\cdot A\cdot\gamma\cdot(x-a) + F \ \text{ if } x > a+b \end{vmatrix}$$

$$\sigma(x) = \begin{vmatrix} \dfrac{N(x)}{A} \\ \dfrac{N(x)}{2A} \ \text{ if } x > a \end{vmatrix}$$

3. Строим эпюры





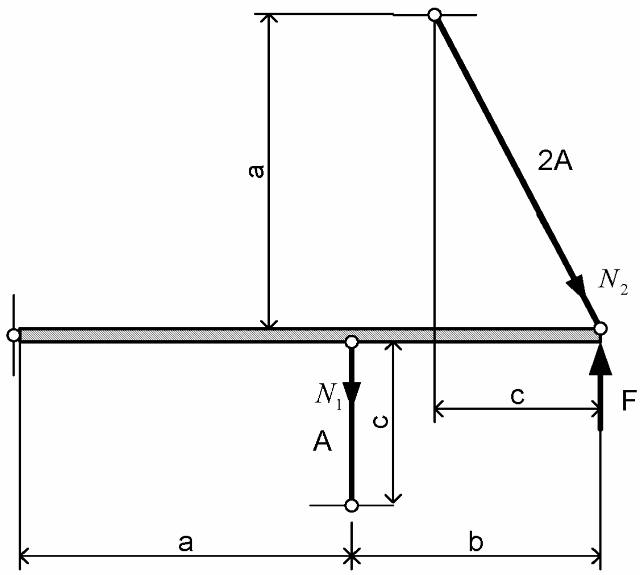
4. Перемещение сечения, которое находится на расстоянии а от свободного конца

$$\Delta l = \int_{a}^{a+b+c} \frac{\sigma(x)}{E}\,dx \qquad \Delta l = 6.638\times 10^{-6}$$

Задача №2

Абсолютно жесткий брус, опирающийся на шарнирно неподвижную опору, прикреплен к двум стержням с помощью шарниров.

1. Найти усилия и напряжения в стержнях, выразив их через силу F.
2. Найти допустимую нагрузку сравнением сравнением напряжений в двух стержнях с допустимым напряжением [σ]=160МПа.
3. Найти граничную нагруженность системы и допустимую нагруженность, если граница текучести σ_T=260МПа, а запас прочности k_T=1.5.
4. Сравнить рассчитанное значение $F_{доп}$ с граничной и допустимой нагруженностью.



$a = 2.4 \quad b = 1.8 \quad c = 1.2 \quad A = 1.4 \cdot 10^{-3}$

Решение. SI MathCad ORIGIN = 1

1. Составляем уравнения равновесия совместно с уравнением условия обеспечения жесткости системы

$F = 1 \quad N_1 = 0 \quad N_2 = 0$

Given

$$-a \cdot N_1 - \frac{(a+b)\cdot a}{\sqrt{a^2+c^2}} \cdot N_2 + (a+b)\cdot F = 0$$

$$2c\cdot(a+b)\cdot N_1 - a^2 \cdot N_2 = 0$$

$$N = \mathrm{Find}(N_1, N_2) \quad N = \begin{pmatrix} 0.468 \\ 0.819 \end{pmatrix}$$ (в долях F)

$$\frac{N_1}{A} \div \frac{N_2}{2A} = 1.143$$ То есть $\sigma_1 > \sigma_2$

Допустимая нагрузка

$$Fd = \frac{2A}{N_1} \cdot 160 \cdot 10^6 \qquad Fd = 9.572 \times 10^5$$

При достижении границы текучести в левом стержне

$$Ft = \frac{2A}{N_1} \cdot \frac{260}{1.5} \cdot 10^6 \qquad Ft = 1.037 \times 10^6$$

Уравнение равновесия в граничном режиме

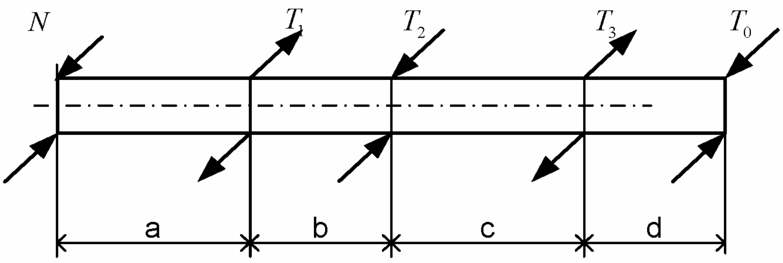
$$-a \cdot Ft - \frac{(a+b)\cdot a}{\sqrt{a^2+c^2}} \cdot A \cdot \frac{260}{1.5} + (a+b)\cdot Fd = 0$$

$$Fd = \frac{a \cdot Ft + \frac{(a+b)\cdot a}{\sqrt{a^2+c^2}} \cdot A \cdot \frac{260}{1.5}}{a+b} \qquad Fd = 5.926 \times 10^5$$

Полученное значение почти вдвое меньше рассчитанного по допустимой нагрузке

Задача №4

К стальному валу приложены три крутящих момента.
1. Установить, при каком значении крутящего момента T_0 угол поворота правого конечного сечения будет нулевым.
2. Построить эпюру крутящих моментов.
3. Для заданного значения $[\tau]$ определить диаметр вала из расчета на прочность.
4. Построить эпюру углов поворота.
5. Найти наибольший относительный угол поворота.



$a = 2.4$ $\quad b = 1.3$ $\quad c = 2.8$ $\quad d = 1.3$ SI MathCad

$T_1 = 1300$ $\quad T_2 = 500$ $\quad T_3 = 1200$ $\quad \tau = 80 \cdot 10^6$ $\quad G = 8.1 \cdot 10^{10}$

Решение.

1. Составляем уравнения равновесия и условие равенства нулю угла поворота правого конечного сечения

$N = 0$ $\qquad T0 = 0$

Given

$$-N + T_1 - T_2 + T_3 - T0 = 0$$

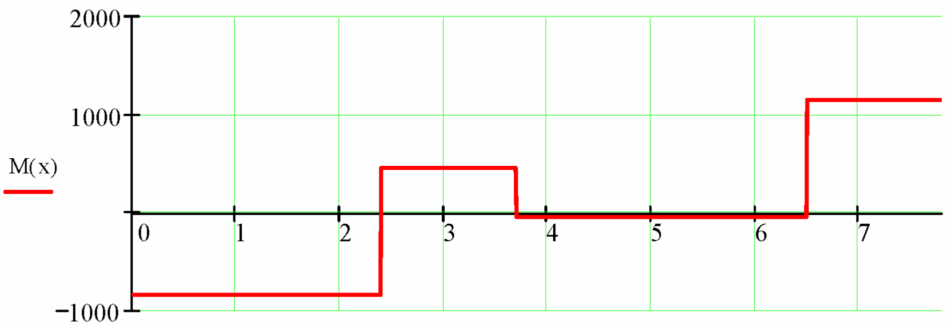
$$-a \cdot N + b \cdot (-N + T_1) + c \cdot (-N + T_1 - T_2) + d \cdot (-N + T_1 - T_2 + T_3) = 0$$

Решение этой системы

$$\begin{pmatrix} N \\ T0 \end{pmatrix} = \mathrm{Find}(N, T0) \qquad T0 = 1162.821 \qquad N = 837.179$$

Строим эпюру крутящих моментов

$$M(x) = \left| \begin{array}{l} -N \\ -N + T_1 \ \text{ if } x > a \\ -N + T_1 - T_2 \ \text{ if } x > a + b \\ -N + T_1 - T_2 + T_3 \ \text{ if } x > a + b + c \end{array} \right.$$



Максимальный момент

$Mm = T0 \qquad Mm = 1162.821$

Минимальный диаметр вала из условия прочности

$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot Mm}{\pi \cdot \tau}} \qquad d = 0.042$

Принимаем

$d = 0.045$

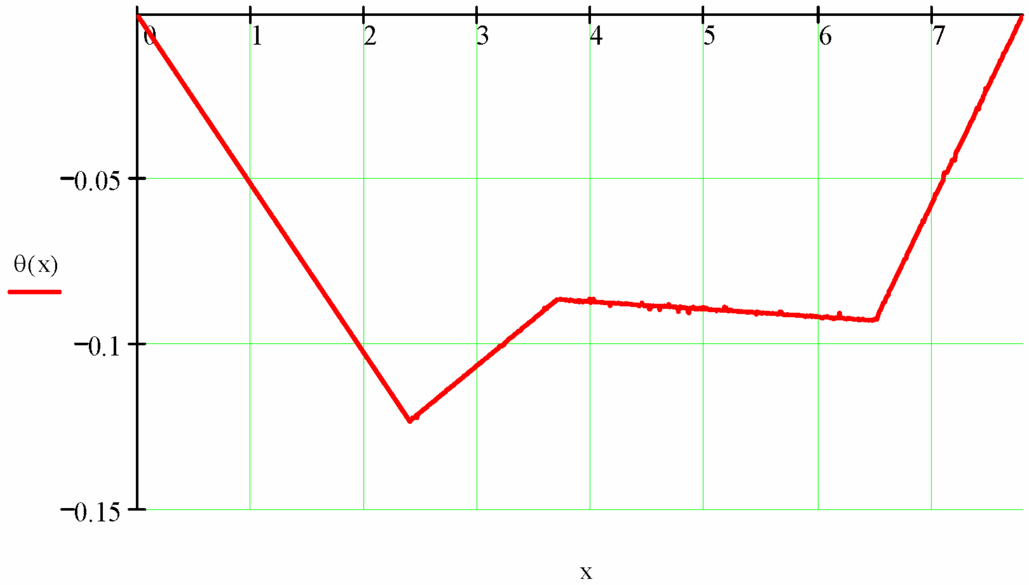
Момент инерции поперечного сечения вала

$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \qquad J = 2.013 \times 10^{-7}$

Угол поворота

$\theta(x) = \int_0^x \frac{M(x)}{G \cdot J} dx$

Строим эпюру

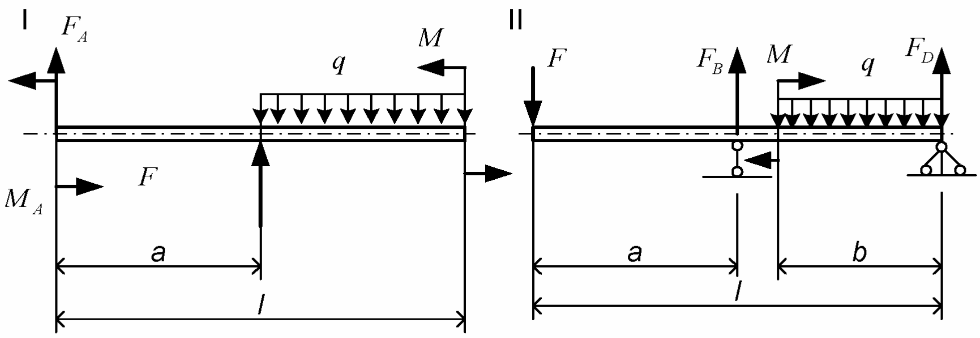


Максимальный по абсолютной величине угол поворота

$-\theta(a) = 0.123$

Задача №6

Для заданных схем двух балок
1. Начертить расчетные схемы.
2. Определить опорные реакции и проверить их.
3. Составить аналитические выражения изгибающего момента и поперечной силы на всех участках.
4. Построить эпюры M и Q.
5. Установить положение опасного сечение. Выполнить выбор сечений балок:
а). для схемы I - прямоугольник h*b, принимая Ra =16 МПа, h:b=1.5;
б). для схемы II - двутавровое при расчетном сопротивлении Rb=200 МПа.



$a = 3 \quad b = 2.4 \quad l = 6$ SI MathCad

$M = 7000 \quad F = 16000 \quad q = 10000$

Решение.

а)

Составляем уравнения равновесия

$FA = 0 \qquad MA = 0$

Given

$$FA + F - (l - a)\cdot q = 0$$

$$M + MA - \left(\frac{l + a}{2}\right)\cdot(l - a)\cdot q + a\cdot F = 0$$

Решение этой системы

$$\begin{pmatrix} FA \\ MA \end{pmatrix} = \text{Find}(FA, MA) \quad FA = 14000 \qquad MA = 80000$$

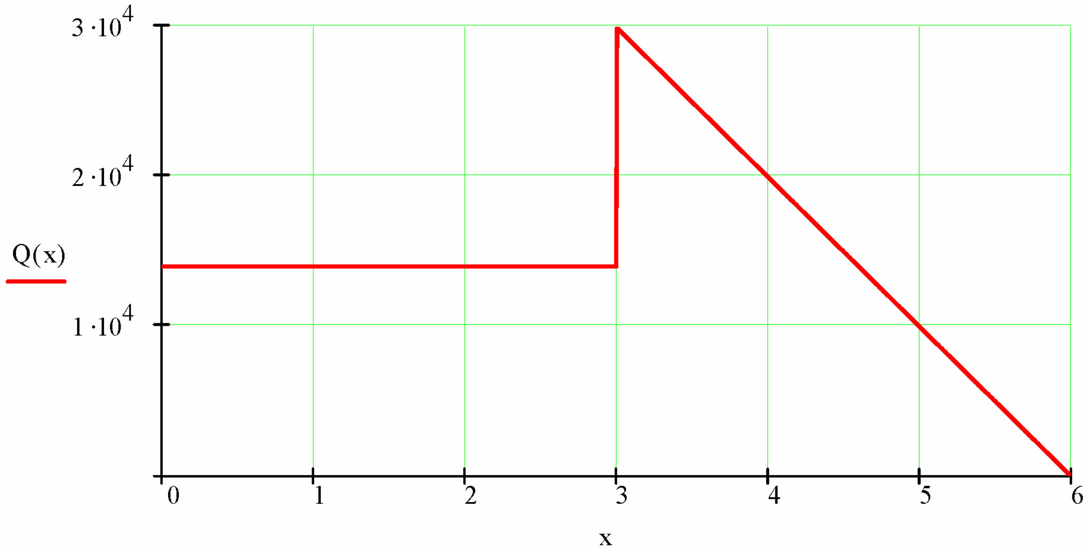
Проверка

$$M + MA - a\cdot FA - \frac{(l - a)^2}{2}\cdot q = 0$$

Изгибающие моменты и поперечные силы по участкам

$$M(x) = \left| \begin{array}{l} MA - FA\cdot x \\ MA - FA\cdot x - F\cdot(x - a) + \frac{q}{2}\cdot(x - a)^2 \ \text{ if } x > a \end{array} \right. \qquad Q(x) = \left| \begin{array}{l} FA \\ FA + F - q\cdot(x - a) \ \text{ if } x > a \end{array} \right.$$

Строим эпюры



Максимальный момент

$Mm = MA \qquad Mm = 80000$

Момент сопротивления при заданном соотношении высоты к ширине

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{b(1.5b)^2}{6} = 0.375b^3$$

Из условия прочности

$$W = \frac{Mm}{16 \cdot 10^6} \qquad W = 5 \times 10^{-3}$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{W}{0.375}} \qquad b = 0.237$$

принимаем $b = 0.24 \qquad h = 1.5 \cdot b \qquad h = 0.36$

б)

Составляем уравнения равновесия

$FB = 0 \qquad FD = 0 \qquad M = 7000 \quad b = 2.4$

Given

$FB + FD - b \cdot q - F = 0$

$-M - \left(l - a - \frac{b}{2}\right) \cdot b \cdot q + a \cdot F + (l - a) \cdot FD = 0$

Решение этой системы

$\begin{pmatrix} FB \\ FD \end{pmatrix} = \text{Find}(FB, FD) \qquad FB = 39266.667 \qquad FD = 733.333$

Проверка

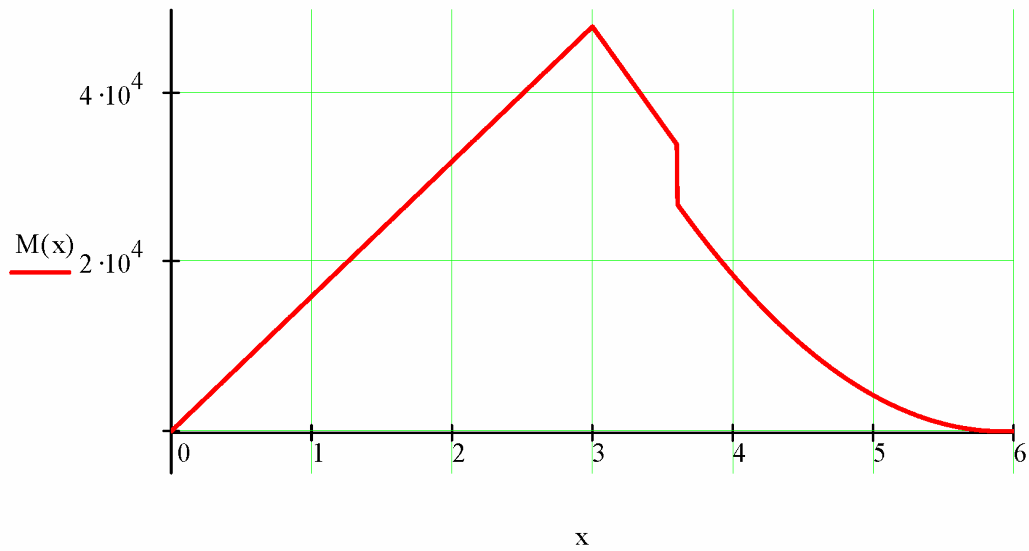
$-M - (l - a) \cdot FB + l \cdot F + \frac{1}{2} \cdot b^2 \cdot q = 0$

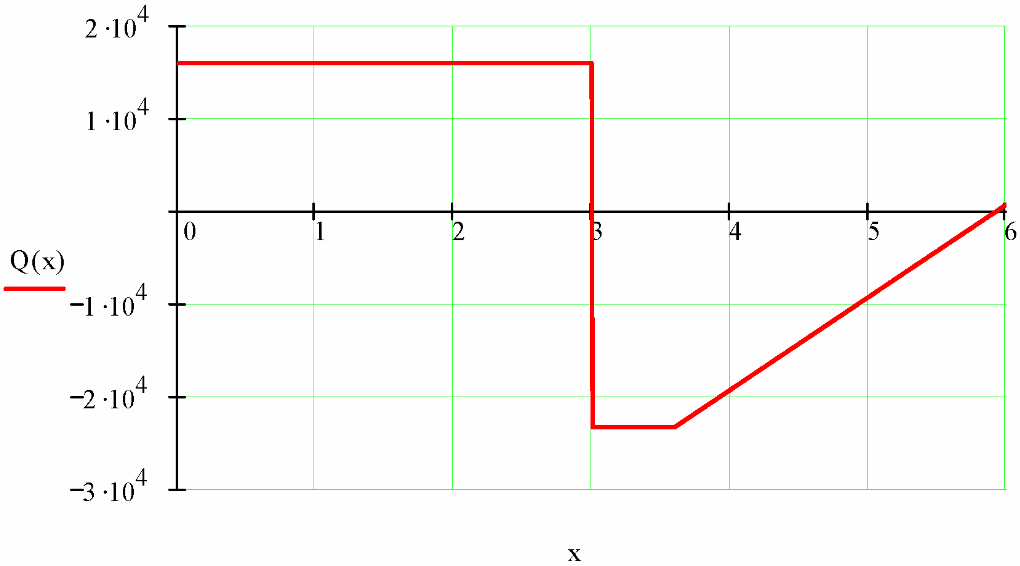
Изгибающие моменты и поперечные силы по участкам

$$M(x) = \left| \begin{array}{l} F \cdot x \\ F \cdot x - FB \cdot (x - a) \quad \text{if } x > a \\ F \cdot x - FB \cdot (x - a) - M + \frac{q}{2} \cdot (x - l + b)^2 \quad \text{if } x > l - b \end{array} \right.$$

$$Q(x) = \left| \begin{array}{l} F \\ F - FB \quad \text{if } x > a \\ F - FB + q \cdot (x - l + b) \quad \text{if } x > l - b \end{array} \right.$$

Строим эпюры





Максимальный момент

$Mm = M(a)$ $\quad$ $Mm = 48000$

Момент сопротивления

$W = \dfrac{Mm}{200 \cdot 10^6}$ $\quad$ $W = 2.4 \times 10^{-4}$

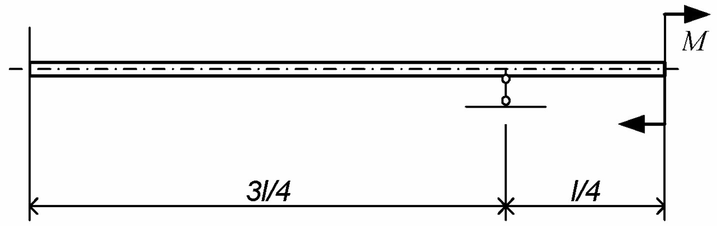
По таблицам сортамента (ГОСТ8509-72) подбираем двутавр №20а

$W = 237 \quad см^3$

Задача №9

Для статически неопределимой балки постоянного поперечного сечения

1. Построить эпюры изгибающих моментов и поперечных сил.
2. Подобрать балку двутаврового сечения при [σ]=160 МПа.
3. Изобразить вид упругой линии.

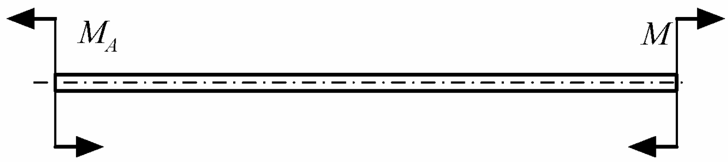


l = 3.8 M = 40000 SI MathCad

Решение.

Количество независимых уравнений равновесия - 2, количество неизвестных реакций -3. Степень неопределенности 3-2=1

В качестве основной системы выберем защемленную балку, отбросив опору. Для ее расчета составим уравнения равновесия и определим реакции опор.

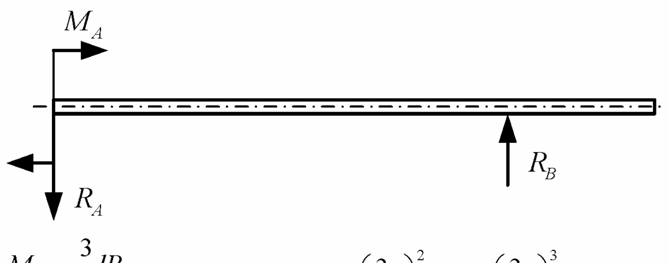


RA = 0 MA = M

Прогиб в точке B от действия внешних сил

$$EIy = \frac{M_A\left(\frac{3}{4}l\right)^2}{2} = \frac{9Ml^2}{32}$$

Расчетная схема для определения прогиба от лишней силы



$$M_A = \frac{3}{4}lR_B$$

$$R_A = R_B \qquad EIy = -\frac{M_A\left(\frac{3}{4}l\right)^2}{2} + \frac{R_A\left(\frac{3}{4}l\right)^3}{6} = -\frac{9}{64}R_B l^3$$

Приравняв сумму прогибов от внешних сил и лишней реакции, получим

$$RB = \frac{2M}{l} \qquad RB = 21052.632$$

Составляем уравнения равновесия с учетом полученной реакции

Given

$$-RA + RB = 0$$

$$-MA - M + \frac{3}{4} \cdot l \cdot RB = 0$$

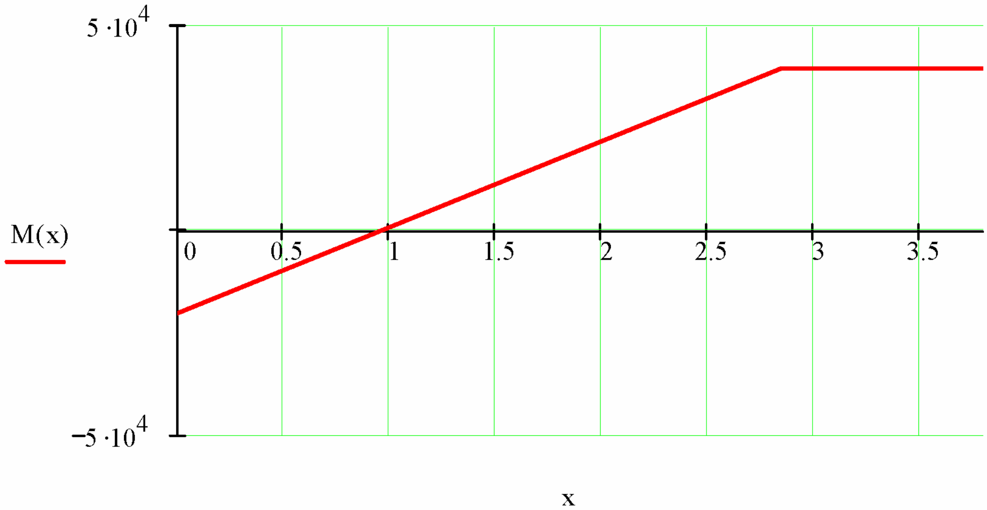
Решение этой системы

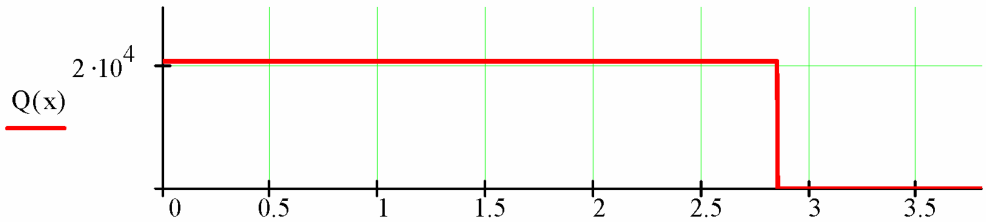
$$\begin{pmatrix} RA \\ MA \end{pmatrix} = \text{Find}(RA, MA) \quad RA = 21052.632 \qquad MA = 20000$$

Изгибающие моменты и поперечные силы по участкам

$$M(x) = \left| \begin{array}{l} -MA + RA \cdot x \\ -MA + RA \cdot x - RB \cdot \left(x - \frac{3 \cdot l}{4} \right) \text{ if } x > \frac{3l}{4} \end{array} \right. \qquad Q(x) = \left| \begin{array}{l} RA \\ RA - RB \text{ if } x > \frac{3l}{4} \end{array} \right.$$

Строим эпюры





Максимальный момент

$$Mm = M(l) \qquad Mm = 40000 \qquad M = 40000$$

Момент сопротивления

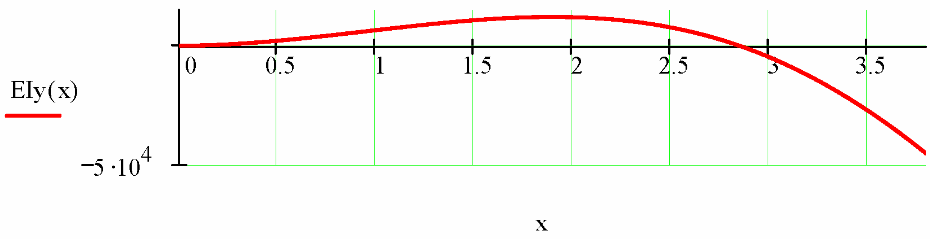
$$W = \frac{Mm}{160\cdot 10^{6}} \qquad W = 2.5\times 10^{-4}$$

По таблицам сортамента (ГОСТ8509-72) подбираем двутавр №20b

$$W = 250 \quad см^{3}$$

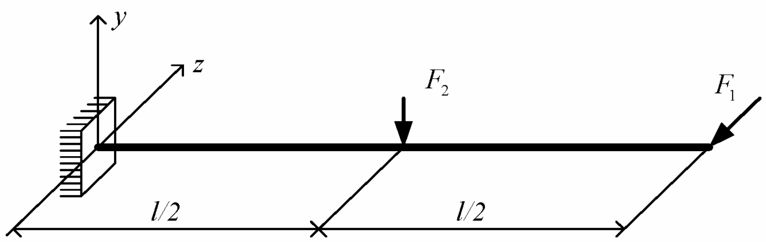
Уравнение упругой линии

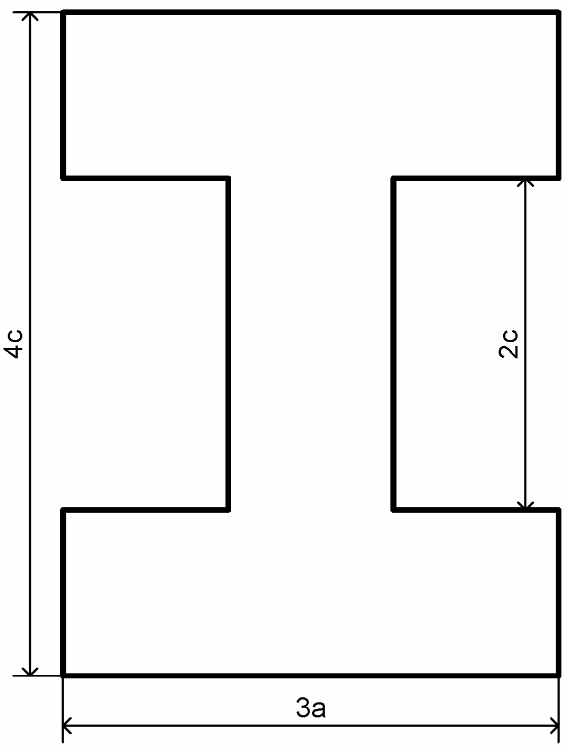
$$EIy(x) = \begin{vmatrix} \dfrac{MA\cdot x^{2}}{2} - \dfrac{RA\cdot x^{3}}{6} \\ \dfrac{MA\cdot x^{2}}{2} - \dfrac{RA\cdot x^{3}}{6} + \dfrac{RB\cdot\left(x - \frac{3}{4}\cdot 1\right)^{3}}{6} \quad \text{if } x > \dfrac{3\cdot 1}{4} \end{vmatrix}$$



Задача №10

Стальная балка ВС нагружена силами F_1 и F_2 которые действуют в направлении главных центральных осей поперечного сечения
1. Начертить в масштабе расчетную схему балки и ее поперечное сечение.
2. Построить эпюры изгибающих моментов в главных плоскостях сечения.
3. Найти для опасного сечения положение нулевой линии, установить в сечении опасные точки, вычислить максимальные растягивающие и сжимающие нормальные напряжения. Построить эпюру распределения напряжений в сечении и проверить прочность балки при R=200 МПа.
4. Найти величину полного прогиба и его направление:
а) свободного конца консольной балки;
б) середины двухопорной балки.





SI MathCad

$l = 2.8$ $E = 2\cdot 10^{11}$

$F_1 = 1700$ $F_2 = 2700$

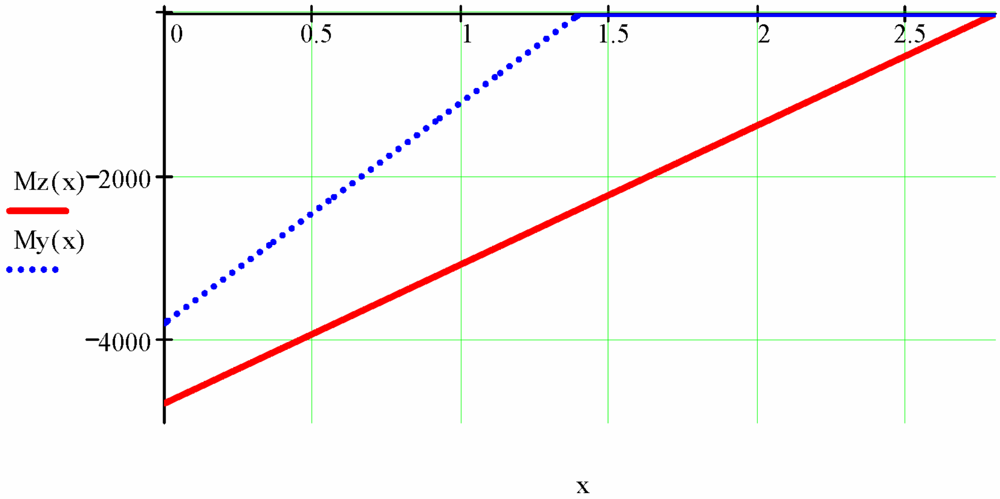
$a = 0.04$ $c = 0.04$

Решение.

Уравнения эпюр для горизонтальной и вертикальной плоскостей.

$$Mz(x) = -l\cdot F_1 + F_1\cdot x \qquad My(x) = \left| \begin{array}{l} -\frac{1}{2}\cdot l\cdot F_2 + F_2\cdot x \\ 0 \ \text{ if } \ x > \frac{l}{2} \end{array} \right.$$

Строим эпюры



В опасном сечении (заделка)

$MBz := Mz(0) \qquad MBz = -4760$

$MBy := My(0) \qquad MBy = -3780$

Моменты инерции

$$Iz := \frac{3 \cdot a \cdot (4 \cdot c)^3}{12} - \frac{2 \cdot a \cdot (2 \cdot c)^3}{12} \qquad Iz = 3.75467 \times 10^{-5}$$

$$Iy := \frac{4 \cdot c \cdot (3 \cdot a)^3}{12} - \frac{2 \cdot c \cdot (a)^3}{12} - 2 \cdot a \cdot 2 \cdot c \cdot a^2 \qquad Iy = 1.23733 \times 10^{-5}$$

Угол наклона нейтральной линии

$$\beta := \operatorname{atan}\left(\frac{Iz}{Iy} \cdot \frac{MBy}{MBz}\right) \qquad \beta := \frac{180}{\pi} \cdot \beta \qquad \beta = 67.462$$

Напряжения в экстремальных точках

$$\sigma_1 := -\frac{-MBz}{Iz} \cdot 2.5 \cdot c - \frac{MBy}{Iy} \cdot a \qquad \sigma_1 = -457729$$ сжатие

$$\sigma_2 := -\frac{MBz}{Iz} \cdot 2.5 \cdot c - \frac{MBy}{Iy} \cdot a \qquad \sigma_2 = 24897384$$ растяжение

$$\sigma_3 := -\frac{MBz}{Iz} \cdot 2.5 \cdot c - \frac{-MBy}{Iy} \cdot a \qquad \sigma_3 = 457729$$ растяжение

$$\sigma_4 := -\frac{-MBz}{Iz} \cdot 2.5 \cdot c - \frac{-MBy}{Iy} \cdot a \qquad \sigma_4 = -24897384$$ сжатие

Во всех экстремальных точках удовлетворяется условие прочности

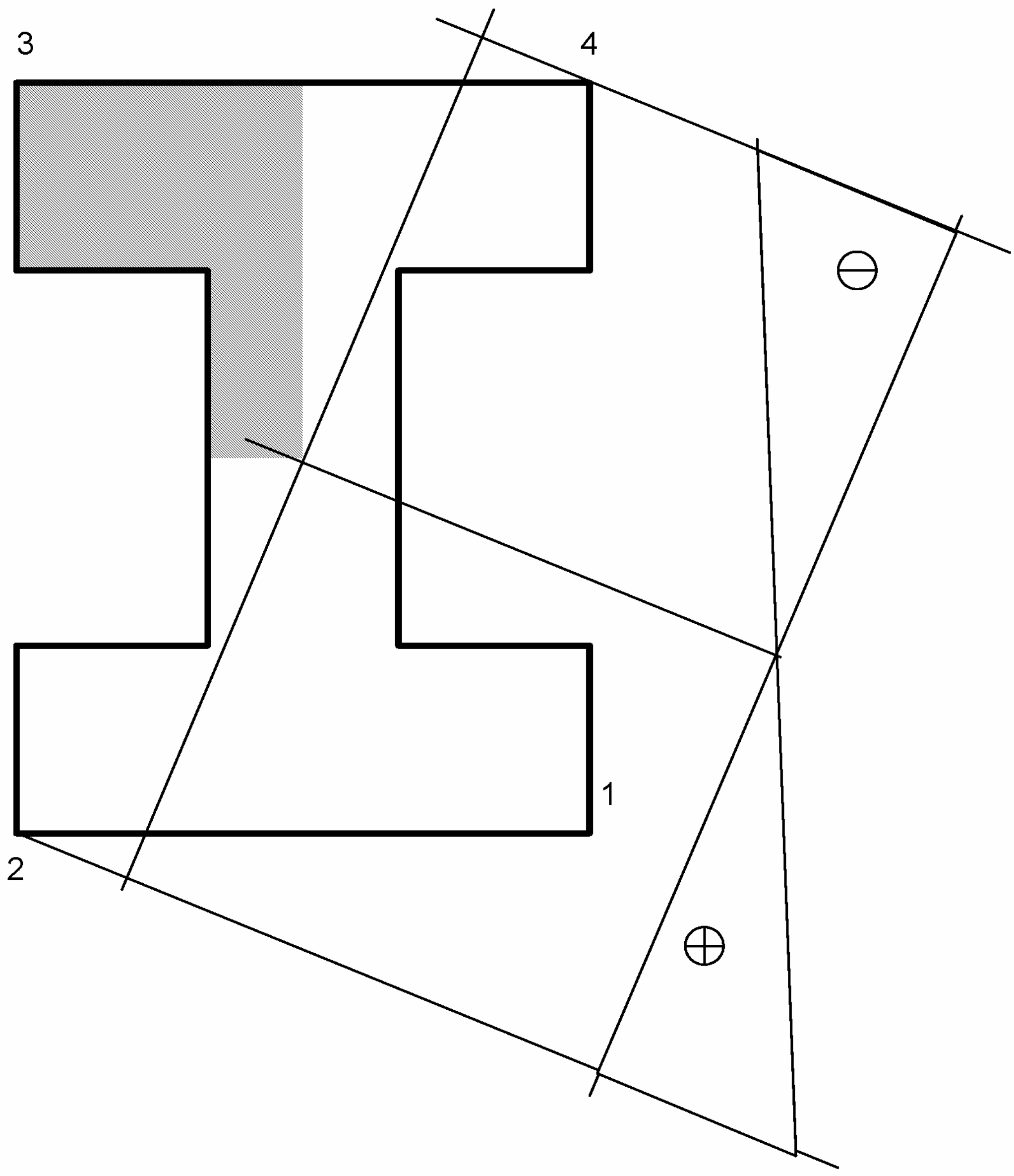
$\sigma < 200000000$

Прогиб конца балки

$$Vy = \frac{1}{E \cdot Iz} \cdot \int_0^l \left(\int_0^x My(x)\,dx \right) dx \qquad Vy = -8.222 \times 10^{-4}$$

$$Vz = \frac{1}{E \cdot Iy} \cdot \int_0^l \left(\int_0^x Mz(x)\,dx \right) dx \qquad Vz = -5.027 \times 10^{-3}$$

$$V = \sqrt{Vy^2 + Vz^2} \qquad V = 5.094 \times 10^{-3}$$

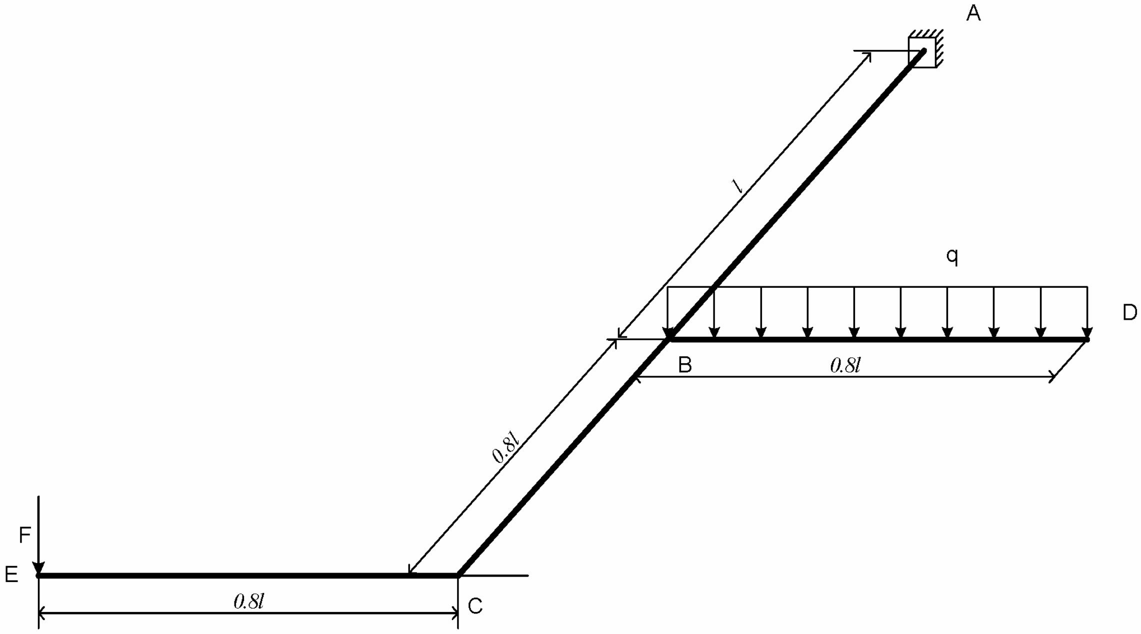


Задача №12

Для ломаного стержня круглого сечения круглого поперечного сечения, находящегося в горизонтальной плоскости, на который действуют силы в вертикальной плоскости необходимо:

1. Построить отдельно эпюры поперечных сил, изгибающих и крутящих моментов
2. Установить опасное сечение и найти расчетный диаметр по четвертой теории прочности;
3. Выполнить подбор диаметра сечения, при [σ]=160 МПа

$l := 1.2 \quad q := 20000 \quad F := 30000$



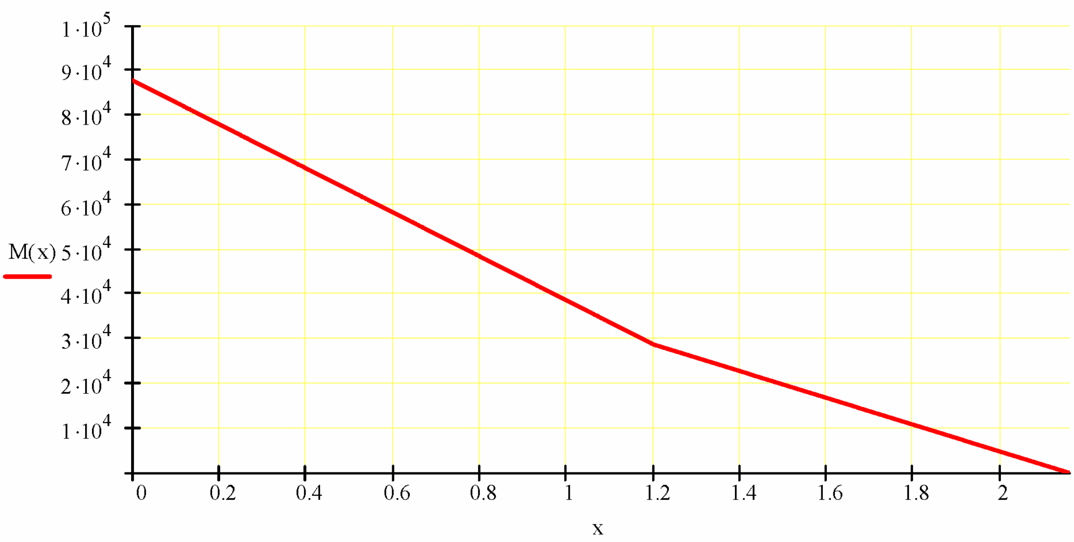
Решение SI MathCad

Разделив конструкцию на три части, получим три схемы.

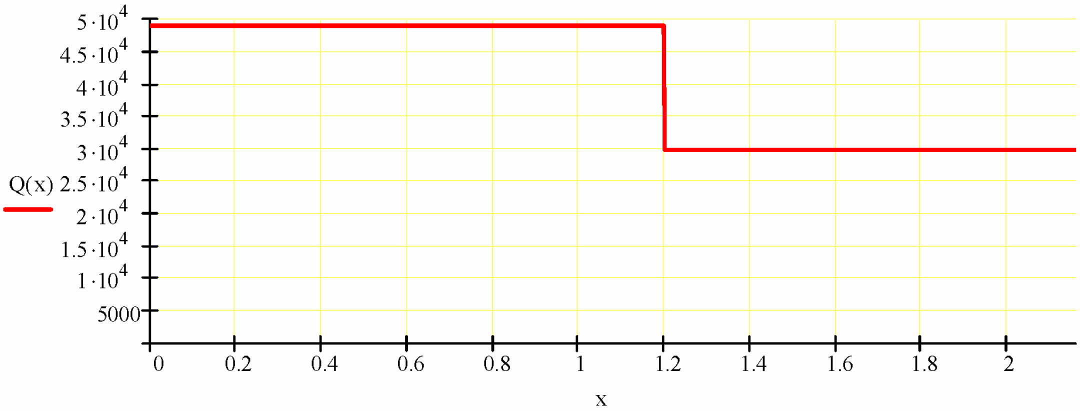
ABC

$YA := F + 0.8l\cdot q \quad MA := 0.8\cdot l^2\cdot q + 1.8F\cdot l \qquad YA = 49200 \qquad MA = 87840$

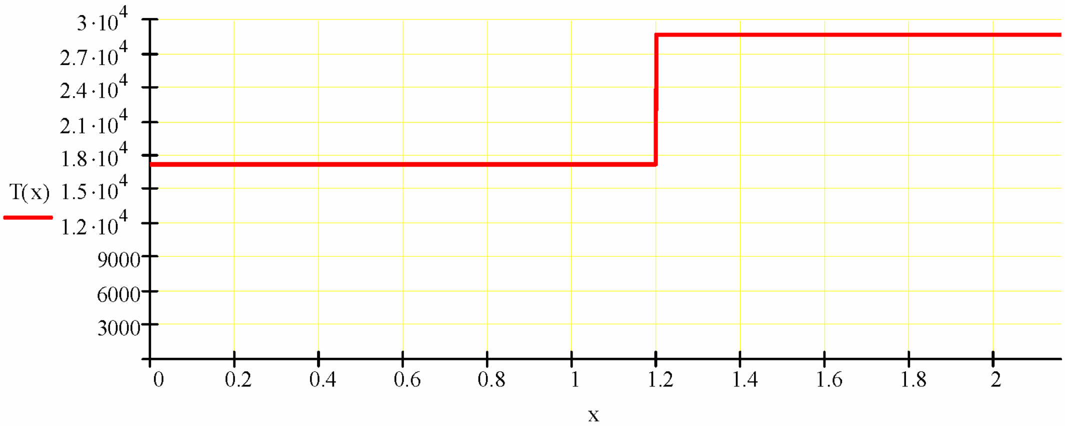
$$M(x) := \left| \begin{array}{l} MA - YA\,x \\ MA - YA\,x + 0.8\cdot l\cdot q\cdot(x - l) \ \text{ if } \ x > l \end{array} \right.$$



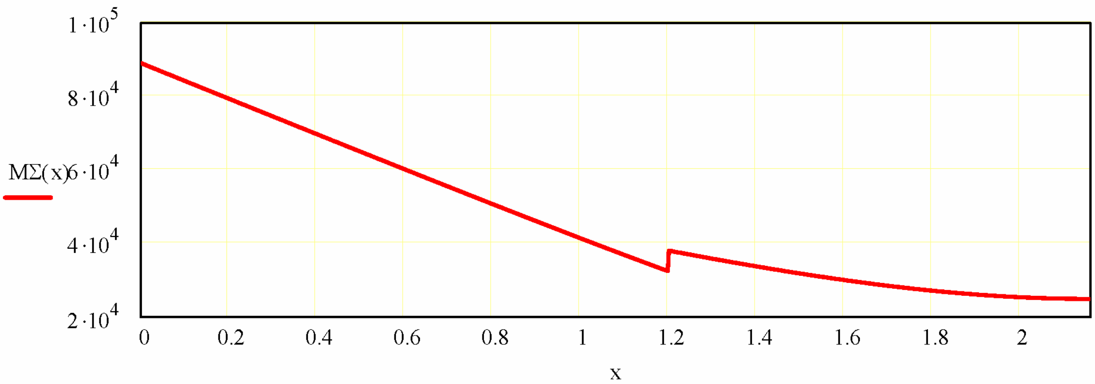
$$Q(x) := \begin{vmatrix} YA \\ YA - 0.8l\,q \quad \text{if } x > l \end{vmatrix}$$



$$T(x) := \begin{vmatrix} 0.8 \cdot l\,F - 0.4 \cdot l^2 \cdot q \\ 0.8 \cdot l \cdot F \quad \text{if } x > l \end{vmatrix}$$



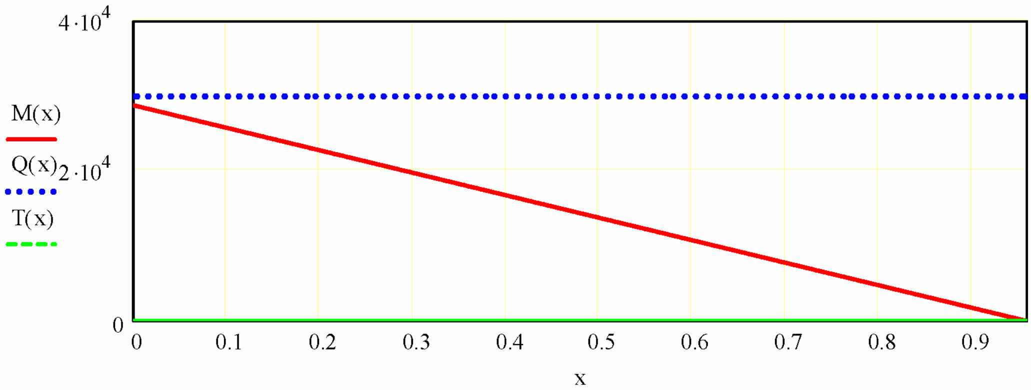
$M\Sigma(x) := \sqrt{(M(x))^2 + 0.75\,(T(x))^2}$ $\quad M\Sigma(0) = 89105.636$



CE

$YC := -F$ $\quad MC := 0.8l \cdot F$ $\quad YC = -30000$ $\quad MC = 28800$

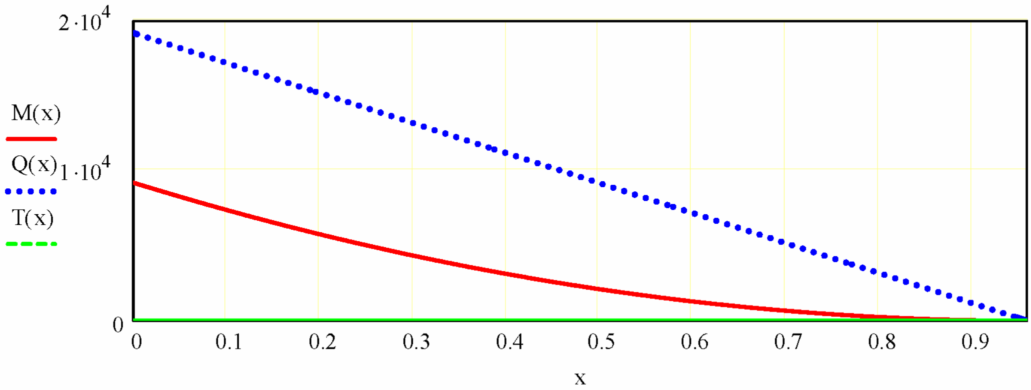
$M(x) := MC + YC\,x$ $\quad Q(x) := F$ $\quad T(x) := 0$



BD

$YB := 0.8l \cdot q \qquad MB := 0.5(0.8l)^2 \cdot q \qquad YB = 19200 \qquad MB = 9216$

$M(x) := MB - YB\,x + 0.5q \cdot x^2 \quad Q(x) := YB - q \cdot x \quad T(x) := 0$



Самое опасное место - точка А

$Mm := M\Sigma(0) \qquad Mm = 8.911 \times 10^4$

Минимальный диаметр из условия прочности

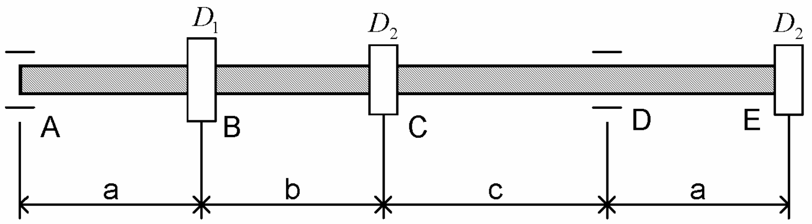
$$d := 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{4 \cdot Mm}{\pi \cdot 160 \cdot 10^6}} \qquad d = 0.178$$

Задача 13

Шкив диаметром D_1, у которого ветви ремня расположены в горизонтальной плоскости, делает n и передает мощность N. Два других ремня расположены в вертикальной плоскости, их шкивы имеют диаметр D_2 и передают мощность $\frac{N}{2}$ каждый.

Необходимо:

1. Найти крутящие моменты и построить их эпюры.
2. Определить окружные усилия, действующие на шкивы.
3. Определить силы, изгибающие валы в вертикальной и горизонтальной плоскостях, пренебрегая весом вала и шкивов.
4. Построить эпюры изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях и эпюру суммарного изгибающего момента.
5. С помощью эпюр найти опасное сечение и определить максимальный расчетный момент по третьей теории прочности
6. Выполнить подбор диаметра вала при $[\sigma] = 100$ МПа.



MathCad SI

ORIGIN := 1

Решение $D_1 := 1.0 \quad D_2 := 0.8 \quad a := 1.3 \quad b := 1.3 \quad c := 1.6 \quad \omega := \frac{\pi}{30}\cdot 600 \quad N := 200000$

Крутящие моменты

$T_1 := \frac{N}{\omega} \qquad T_2 := \frac{N}{2\cdot\omega} \qquad T_1 = 3183 \qquad T_2 = 1592$

Окружные усилия $i := 1 .. 2$

$F_i := \frac{2\cdot T_i}{D_i} \qquad F = \begin{pmatrix} 6366 \\ 3979 \end{pmatrix}$

Горизонтальная плоскость $\begin{pmatrix} FhA \\ FhD \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

Given

$F_1 + FhA + FhD = 0 \qquad a\cdot F_1 + (a + b + c)\cdot FhD = 0$

$\begin{pmatrix} FhA \\ FhD \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(FhA, FhD) \qquad \begin{pmatrix} FhA \\ FhD \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -4.396 \times 10^3 \\ -1.97 \times 10^3 \end{pmatrix}$

$$Mh(x) := \begin{array}{|l} FhA\cdot x \\ FhA\cdot x + F_1\cdot(x - a) \ \text{ if } x > a \\ FhA\cdot x + F_1\cdot(x - a) + FhD\cdot(x - a - b - c) \ \text{ if } x > a + b + c \end{array}$$

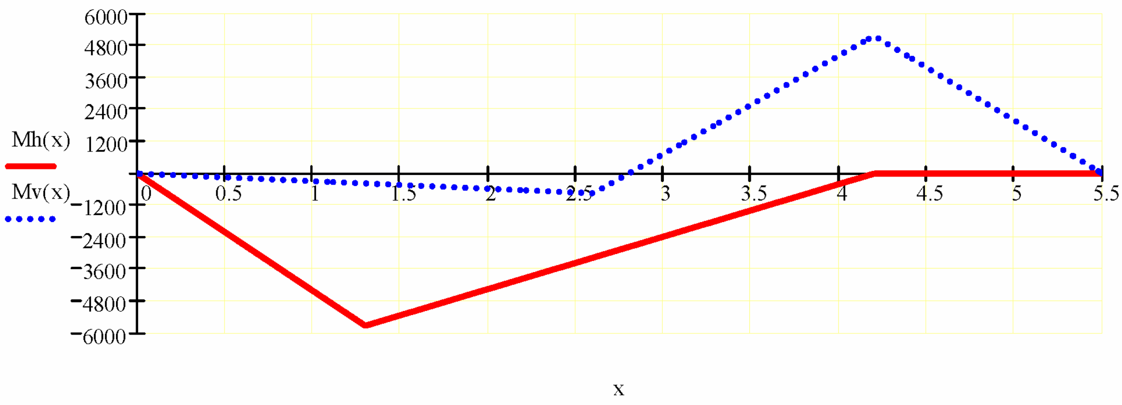
Вертикальная плоскость $\begin{pmatrix} FvA \\ FvD \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

Given

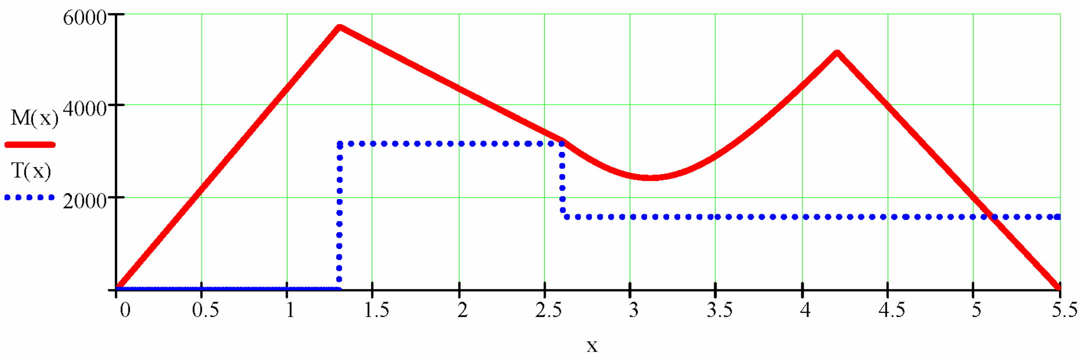
$2F_2 + FvA + FvD = 0 \qquad (a + b)\cdot F_2 + (a + b + c)\cdot FvD + (2a + b + c)\cdot F_2 = 0$

$$\begin{pmatrix} FvA \\ FvD \end{pmatrix} := Find(FvA, FvD) \qquad \begin{pmatrix} FvA \\ FvD \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -284.205 \\ -7.674 \times 10^{3} \end{pmatrix}$$

$$Mv(x) := \left| \begin{array}{l} FvA \cdot x \\ FvA \cdot x + F_2 \cdot (x - a - b) \quad \text{if } x > a + b \\ FvA \cdot x + F_2 \cdot (x - a - b) + FvD \cdot (x - a - b - c) \quad \text{if } x > a + b + c \end{array} \right.$$



$$M(x) := \sqrt{(Mh(x))^2 + (Mv(x))^2} \qquad T(x) := \left| \begin{array}{l} 0 \\ T_1 \quad \text{if } x > a \\ T_1 - T_2 \quad \text{if } x > a + b \end{array} \right.$$



Самое опасное сечение - в точке В $\quad M(a) = 5.726 \times 10^{3}$

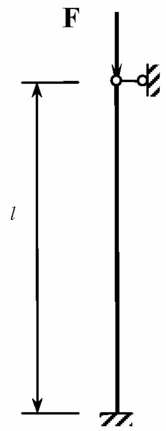
Расчетный момент по третьей теории прочности

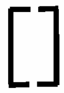
$$Mc := \sqrt{(M(a))^2 + \left(T\left(a + 10^{-9}\right)\right)^2} \qquad Mc = 6.552 \times 10^{3}$$

Минимальный диаметр вала

$$d := 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{2 \cdot Mc}{\pi 100 \cdot 10^{6}}} \qquad d = 0.069 \qquad d := 70 \quad \text{мм}$$

Задача №14





Стальной стержень длиной l сжимается силой F.

Необходимо:

1. Выполнить подбор элементов сечения стержня из условий стойкости.
2. Определить критическую силу и коэффициент запаса стойкости. $l = 2.2$ м, $R = 190$ МПа, $F = 140$ кН

Решение:

1. Находим коэффициент приведения длины $\boldsymbol{\mu=0.7}$, исходя из условий закрепления стержня.

2. Определяем коэффициент продольного изгиба, для чего определяем расчетную длину стержня:

$$l_{ef} = \mu l = 0.7 \cdot 2.2 = 1.54 \text{ м}$$

Находим сечение, задавшись предварительно значением $\varphi = 0.5$

$$A = \frac{F}{\varphi R} = \frac{140 \cdot 10^3}{0.5 \cdot 190 \cdot 10^6} = 1.474 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Исходя из условия

$$A_1 > \frac{A}{2} = \frac{1.474 \cdot 10^{-3}}{2} = 7.37 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

подбираем по таблице сортамента швеллер №6.5 с площадью поперечного сечения

$$A_1 = 7.51 \text{ см}^2$$

Момент инерции сечения швеллера относительно главной оси

$$I_y = 8.7 \text{ см}^4$$

Относительно края

$$I_x = 8.7 + 7.51(3.6 - 1.24)^2 = 50.53 > 48.6 \text{ см}^4 = I_x$$

Радиус инерции сечения:

$$i = 2\sqrt{\frac{I}{A}} = 2\sqrt{\frac{48.6}{7.51}} = 5.1 \text{ см}$$

Наибольшая гибкость стержня:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} = \frac{1.54}{0.051} = 30$$

Находим коэффициент φ по таблице:

$\varphi = 0.94$

Повторяем расчет

$$A = \frac{F}{\varphi R} = \frac{140 \cdot 10^3}{0.94 \cdot 190 \cdot 10^6} = 0.784 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \quad A_1 > \frac{A}{2} = \frac{0.784 \cdot 10^{-3}}{2} = 3.92 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

подбираем по таблице сортамента швеллер №5 с площадью поперечного сечения

$A_1 = 6.93 \text{ см}^2$

Момент инерции сечения швеллера относительно главной оси

$I_y = 8.3 \text{ см}^4$

Относительно края

$I_x = 8.3 + 6.93 \cdot (3.7 - 1.35)^2$ =46.6>26.0 см^4 $= I_x$

Радиус инерции сечения:

$$i = 2\sqrt{\frac{I}{A}} = 2\sqrt{\frac{26}{6.93}} = 3.87 \text{ см}$$

Наибольшая гибкость стержня:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} = \frac{1.54}{0.0387} = 40$$

Находим коэффициент φ по таблице:

$\varphi = 0.92$

3. Значение допустимой сжимающей силы:

$$F = R\varphi A = 190 \cdot 0.92 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 6.93 \cdot 10^{-4} = 242 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Коэффициент запаса стойкости

$$n = \frac{242}{140} = 1.73$$