

Расчетно-графическая работа № 4

«Расчет тормоза грузоподъемного механизма»

ПРИМЕР № 1 (Прижимной рычаг с тормозной колодкой)

Рассмотрим грузоподъемный механизм, состоящий из тормозного, грузового барабанов и прижимного рычага. Прижимной рычаг силой P прижимает тормозную колодку к тормозному барабану. Система находится в равновесии. Система имеет постоянно замкнутый тормоз, это означает, что при отсутствии электроэнергии тормоз всегда включен, грузы заторможены силой P . При подаче электроэнергии в электромотор исчезает сила P , тормоз растормаживается, барабан вращается, груз и тележка опускаются или поднимаются.

Дано: G – вес ступенчатого барабана; Q – вес груза, тележки; a, b – размеры прижимного рычага; c – толщина тормозной колодки; f – коэффициент трения скольжения.

$G=1,2$ кН; $Q=15$ кН; $a=0,2$ м; $b=0,45$ м; $c=0,04$ м; $f=0,25$.

Определить: Силы в неподвижных опорах O, A и минимальную силу P прижатия рычага к барабану.

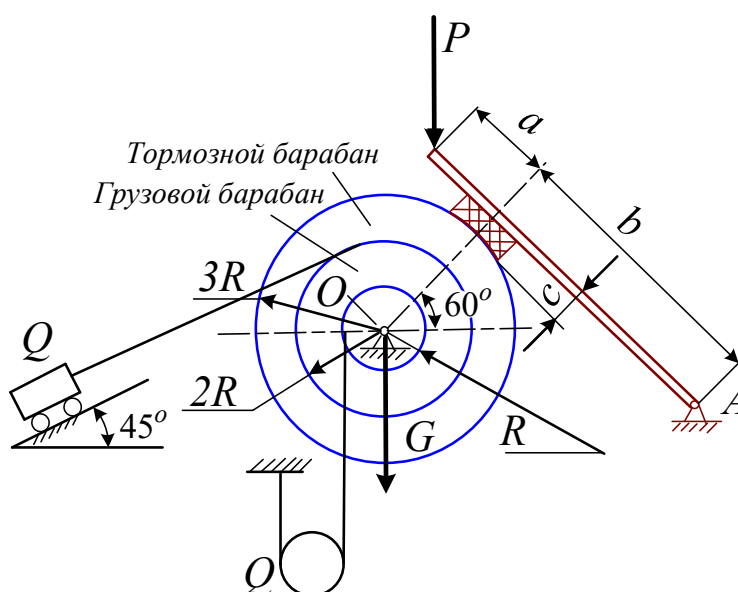


Рисунок 1. Общий вид тормоза грузоподъемного механизма

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ

- 1.1. В неподвижном шарнире O показать реакции X_0 и Y_0 (рис. 1)
- 1.2. Все канаты рассечь, показать в них усилия вдоль канатов.
- 1.3. Тормозной рычаг убрать, в точке контакта рычага с барабаном показать две силы N и

$F_{тр}$.



Тележка весом Q (рис. 2) показать вес тележки, канат рассечь, показать усилие T вдоль каната. Силу Q разложить по осям X и Y .

Проекция на ось X :

$$\sum X_i = T - Q \sin 45 = 0;$$

Усилие в канате грузовой тележки равно

$$T = Q \sin 45; T = 15 \cdot 0,707 = 10,605 \text{ кН.}$$

Рис. 2. Грузовая тележка

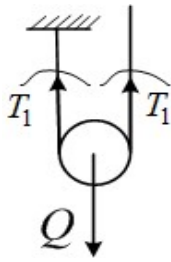


Рис. 3. Грузовой блок

Показываем вес блока Q (рис. 3). Блок висит на двух канатах, канаты рассекаем, показываем в них усилия вдоль канатов.

Проекция на ось Y :

$$\sum Y_i = 2T_1 - Q = 0; \text{ из этого уравнения получим } 2T_1 = Q.$$

Усилие в одном канате равно $T_1 = Q/2 = 15/2 = 7,5$ кН.

РАВНОВЕСИЕ БАРАБАНОВ

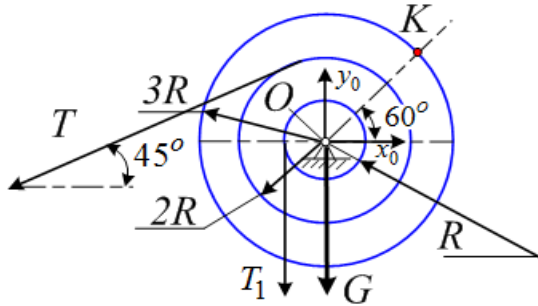


Рис. 4. Равновесия нет (эта схема приводится для пояснения, ее не надо рисовать при оформлении)

Сила, с которой прижимной рычаг действует на барабан

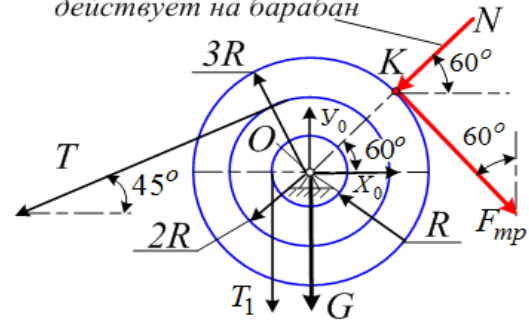


Рис. 5. Равновесие барабанов

На рис. 4 нет равновесия, т.к. убрали прижимной рычаг, барабаны под действием сил T и T_1 вращаются против вращения часовой стрелки.

На рис. 2,б в точке контакта K показаны две силы от действия тормозного рычага: нормальная сила N , которая направлена вдоль штриховой линии и сила трения F_{mp} , которая направлена перпендикулярно N в сторону, противоположную вращению, то есть создает тормозной момент.

Рассмотрим систему сил, приложенных к барабанам, у нас четыре неизвестные величины: X_0 , Y_0 , N и F_{mp} , поэтому необходимо составить четыре уравнения.

1) Составим уравнение моментов относительно точки O :

$$\sum M_0 = 0; T \cdot 2R + T_1 R - F_{mp} 3R = 0 \text{ (силы не надо раскладывать, плечи – это радиусы),}$$

из этого уравнения найдем силу трения $F_{mp} = \frac{T \cdot 2R + T_1 R}{3R} = 9,57$ кН.

2) Закон Шарля Кулона $F_{mp} = fN$, откуда $N = \frac{F_{mp}}{f} = \frac{9,57}{0,25} = 38,28$ кН.

3) Составим уравнение проекций на ось X :

$$\sum X_i = 0; X_0 - T \cos 45 - N \cos 60 + F_{mp} \sin 60 = 0, \text{ выразим } X_0$$

$$X_0 = T \cos 45 + N \cos 60 - F_{mp} \sin 60; X_0 = 10,605 \cdot 0,707 + 38,28 \cdot 0,5 - 9,57 \cdot 0,866 = 18,35 \text{ кН.}$$

4) Составим уравнение проекций на ось Y :

$$\sum Y_i = 0; Y_0 - G - T_1 - T \sin 45 - N \sin 60 - F_{mp} \cos 60 = 0, \text{ выразим } Y_0$$

$$Y_0 = G + T_1 + T \sin 45 + N \sin 60 + F_{mp} \cos 60;$$

$$Y_0 = 1,2 + 7,5 + 10,605 \cdot 0,707 + 38,28 \cdot 0,866 + 9,57 \cdot 0,5 = 54,132 \text{ кН.}$$

РАВНОВЕСИЕ ПРИЖИМНОГО РЫЧАГА

Нарисовать прижимной рычаг, в неподвижной опоре A показать X_A и Y_A . В точке K на тормозной колодке показываем силы N и F_{mp} **противоположно направлениям рисунка 5**.

Рассмотрим систему сил, приложенных к прижимному рычагу. Три неизвестные величины: X_A , Y_A и сила P . Нормальную реакцию N и силу трения F_{mp} определили по формулам (1) и (2). Их будем подставлять в уравнения для прижимного рычага, знаки **не менять!!!**

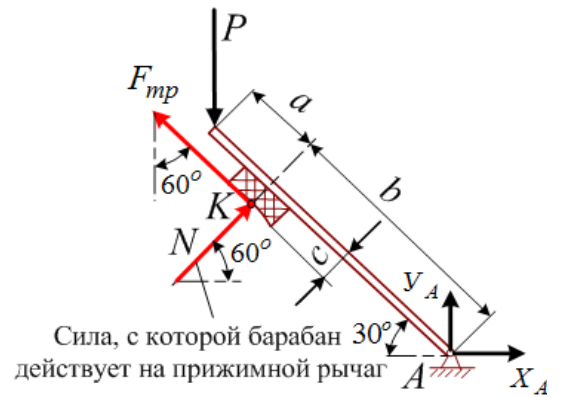


Рисунок. 5

5) Составим уравнение моментов относительно точки A : $\sum M_A = 0$; $P \cdot (a + b) \cos 30 - F_{mp}c - Nb = 0$;

$$P = \frac{F_{mp}c + Nb}{(a + b) \cos 30}; P = \frac{9,57 \cdot 0,04 + 38,28 \cdot 0,45}{(0,2 + 0,45)0,866} = 31,28 \text{ кН.}$$

6) Составим уравнение проекций на ось X :

$$\sum X_i = 0; X_A + N \cos 60 - F_{mp} \sin 60 = 0, \text{ выразим } X_A$$

$$X_A = -N \cos 60 + F_{mp} \sin 60; X_A = -38,28 \cdot 0,5 + 9,57 \cdot 0,866 = -10,86 \text{ кН.}$$

7) Составим уравнение проекций на ось Y :

$$\sum Y_i = 0; Y_A - P + N \sin 60 + F_{mp} \cos 60 = 0, \text{ выразим } Y_A$$

$$Y_A = P - N \sin 60 - F_{mp} \cos 60; Y_A = 31,28 - 38,28 \cdot 0,866 - 9,57 \cdot 0,5 = -6,65 \text{ кН.}$$

ОТВЕТ: $X_0 = 18,35 \text{ кН}$; $Y_0 = 54,132 \text{ кН}$; $X_A = -10,86 \text{ кН}$; $Y_A = -6,65 \text{ кН}$; $P_{min} = 31,28 \text{ кН}$

«Расчет тормоза грузоподъемного механизма»
ПРИМЕР № 2 (безрычажный тормоз)

Рассмотрим грузоподъемный механизм, состоящий из тормозного, грузового барабанов и тормоза. Тормоз силой P прижат к тормозному барабану, система неподвижная и находится в равновесии.

Дано: G – общий вес барабанов, вес блока; Q – вес груза; a, b – размеры тормоза; f – коэффициент трения скольжения.

$G=1,2$ кН; $Q=15$ кН; $a=0,2$ м; $b=0,45$ м; $f=0,25$.

Определить: Силы в неподвижной опоре O , в подшипниках A, B и минимальную силу P прижатия тормоза к барабану.

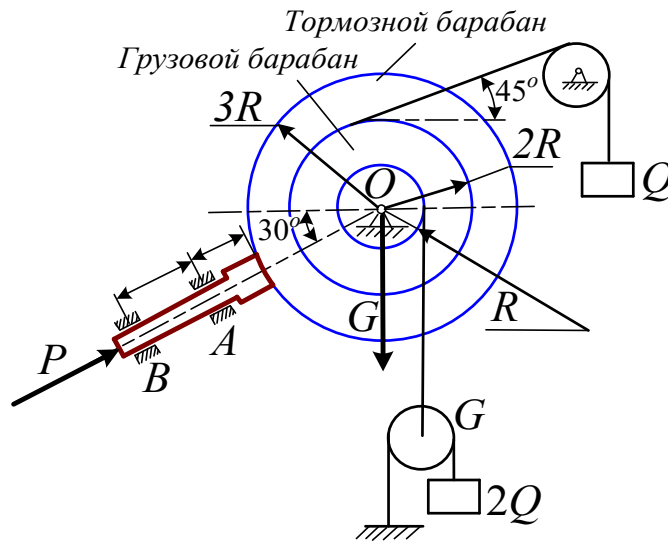


Рисунок 1. Общий вид грузоподъемного механизма

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТА

- 1.1. В неподвижном шарнире O показать силы X_0 и Y_0 .
- 1.2. Все канаты рассечь, показать в них усилия вдоль канатов.
- 1.3. Тормоз убрать, в точке контакта тормоза с барабаном показать две силы N и $F_{тр}$.

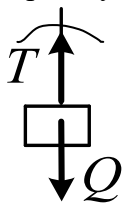


Рис. 2. Груз на канате

На рис. 2 показать груз весом, канат рассечь, показать силу T вдоль каната.

Равновесие груза Q в виде проекции на ось Y :
 $\sum Y_i = T - Q = 0$. Сила в канате равна $T = Q = 15$ кН.

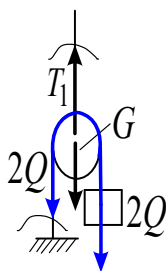


Рис. 3 Двухкратный полиспаст

На канате подвешен двухкратный полиспаст (рис. 3) Показываем вес блока G , вес груза $2Q$. Блок висит на канате, показываем силу T_1 . Рассекаем канат, показываем силу $2Q$.

Проекция на ось Y (равновесие вертикальных сил):

$$\sum Y_i = T_1 - 4Q - G = 0.$$

Из этого уравнения получим $T_1 = 4Q + G$.

Сила в вертикальном канате равно $T_1 = 4 \cdot 15 + 1,2 = 61,2$ кН.

РАВНОВЕСИЕ БАРАБАНОВ

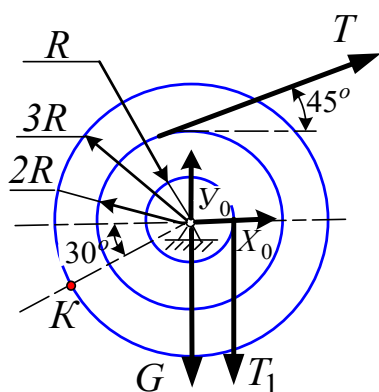
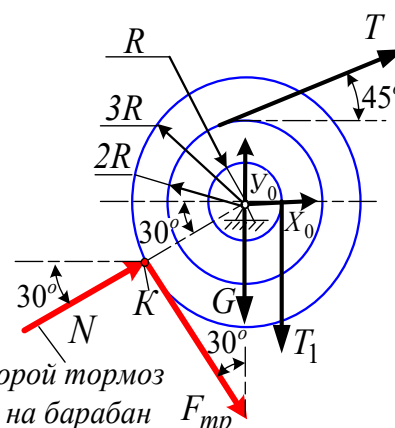


Рис. 4. Равновесия нет, силы T и T_1 стремятся вращать барабан



Сила, с которой тормоз действует на барабан F_{mp}

Рис. 5. Равновесие барабанов

На рис. 4 нет равновесия, т.к. убрали тормоз, барабаны под действием сил T и T_1 вращаются по часовой стрелке.

На рис. 5 в точке контакта K показаны две силы: нормальная сила тормоза N , которая направлена вдоль радиуса и касательная сила трения F_{mp} , которая перпендикулярна N и вращает барабан в противоположном направлении, то есть F_{mp} создает тормозной момент.

Рассмотрим систему сил, приложенных к барабану, в которой четыре неизвестные: X_0 , Y_0 , N и F_{mp} , для определения которых необходимо составить четыре уравнения.

1) Составим уравнение моментов сил относительно точки O :

$\sum M_O = 0$; $-T \cdot 2R - T_1 R + F_{mp} 3R = 0$. Силы F_{mp} , T и T_1 перпендикулярны радиусам, из этого уравнения найдем силу трения $F_{mp} = \frac{T \cdot 2R + T_1 R}{3R} = 30,4$ кН.

2) Закон Шарля Кулона $F_{mp} = fN$, откуда $N = \frac{F_{mp}}{f} = \frac{30,4}{0,25} = 121,6$ кН.

3) Составим уравнение проекций сил на ось X :

$\sum X_i = 0$; $X_0 + T \cos 45 + N \cos 30 + F_{mp} \sin 30 = 0$, выразим X_0
 $X_0 = -T \cos 45 - N \cos 30 - F_{mp} \sin 30$; $X_0 = -15 \cdot 0,707 - 121,6 \cdot 0,866 - 30,4 \cdot 0,5 = -131,11$ кН.

4) Составим уравнение проекций сил на ось Y :

$\sum Y_i = 0$; $Y_0 - G - T_1 + T \sin 45 + N \sin 30 - F_{mp} \cos 30 = 0$, выразим Y_0
 $Y_0 = G + T_1 - T \sin 45 - N \sin 30 + F_{mp} \cos 30$;
 $Y_0 = 1,2 + 61,2 - 15 \cdot 0,707 - 121,6 \cdot 0,5 + 30,4 \cdot 0,866 = 17,215$ кН.

РАВНОВЕСИЕ ТОРМОЗА

Нарисовать тормоз, в подшипниках A и B (рис. 6) показать реакции R_A и R_B . В точке K на тормозной колодке показываем силы N и F_{mp} , которые **противоположны направлениям на рисунке 5**.

Рассмотрим систему сил, приложенных к тормозу. Три неизвестные величины: R_A , R_B и сила P . Нормальную реакцию N и силу трения F_{mp} определили по формулам (1) и (2). Ось X провести вдоль тормоза, ось Y перпендикулярно.

5) Уравнение моментов относительно точки A :

$\sum M_A = 0$; $F_{mp} a - R_B b = 0$; определим R_B

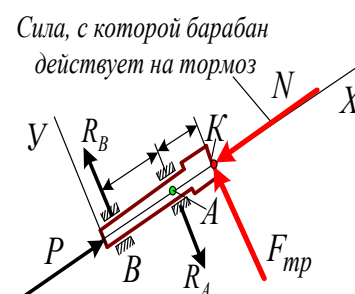


Рисунок 6. Равновесие тормоза

$$R_B = \frac{F_{mp}a}{b}; R_B = \frac{30,4 \cdot 0,2}{0,45} = 13,51 \text{ кН.}$$

6) Составим уравнение проекций на ось X :

$$\sum X_i = 0; P - N = 0, \text{ выразим } P$$

$$P = N; P = 121,6 \text{ кН.}$$

7) Составим уравнение проекций на ось Y :

$$\sum Y_i = 0; R_B - R_A + F_{mp} = 0, \text{ выразим } R_A$$

$$R_A = R_B + F_{mp} = 43,91 \text{ кН.}$$

ОТВЕТ: $X_0 = -131,11 \text{ кН}$; $Y_0 = 17,215 \text{ кН}$; $R_A = 43,91 \text{ кН}$; $R_B = 13,51 \text{ кН}$; $P_{min} = 121,6 \text{ кН}$

Равновесие системы тел с учётом трения скольжения

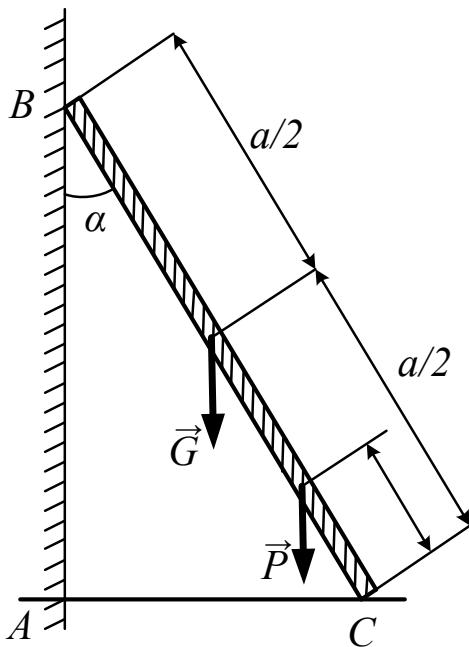


Рис. 1

Механическая система, состоящая из двух тел: консольной балки AC и лестницы BC (рис. 1), находится в покое. В опорных точках B и C действуют силы сцепления, при этом $G = 2 \text{ кН}$; $a = 2 \text{ м}$; $b = 0,3 \text{ м}$; $\alpha = 30^\circ$; коэффициент трения скольжения $f = 0,2$.

Определить.

Минимальное значение силы P , при котором система находится в покое, и реакции опор в точках A , B и C .

Решение.

Рассмотрим сначала систему уравновешенных сил, приложенных к телу BC (рис. 2). Составим уравнения равновесия

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; \quad N_B - F_C = 0; \quad (\text{а})$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; \quad F_B - G - P + N_C = 0; \quad (\text{б})$$

$$\sum_{i=1}^n M_{iC} = 0; \quad Pbs \sin \alpha + G \frac{a}{2} \sin \alpha - F_B a \sin \alpha - N_B a \cos \alpha = 0. \quad (\text{в})$$

В состоянии предельного равновесия ($P = P_{min}$)

$$F_B = f N_B; \quad (\text{г})$$

$$F_C = f N_C. \quad (\text{д})$$

Из уравнений (а) и (г) $N_B = f N_C$,

откуда
$$N_C = \frac{N_B}{f}. \quad (\text{е})$$

Из уравнений (б) и (д) $f N_B - G - P + N_C = 0$, откуда

$$P = f N_B - G + \frac{N_B}{f} = N_B \left(f + \frac{1}{f} \right) - G. \quad (\text{ж})$$

Из уравнения (в)

$$N_B b \left(f + \frac{1}{f}\right) \sin \alpha - G b \sin \alpha + G \frac{a}{2} \sin \alpha - f N_B a \sin \alpha - N_B a \cos \alpha = 0.$$

Из этого уравнения найдем

$$N_B = \frac{G \sin \alpha (b - 0,5a)}{b \left(f + \frac{1}{f}\right) \sin \alpha - f a \sin \alpha - a \cos \alpha},$$

откуда $N_B = 0,608$ кН.

Из (г) $F_B = f N_B = 0,2 \cdot 0,608 = 0,122$ кН;

$$R_B = \sqrt{N_B^2 + F_B^2} = \sqrt{0,608^2 + 0,122^2} = 0,62 \text{ кН.}$$

Из (е) $N_C = \frac{N_B}{f} = \frac{0,608}{0,2} = 3,04$ кН.

Из (а) $F_C = N_B = 0,608$ кН;

$$R_C = \sqrt{N_C^2 + F_C^2} = \sqrt{3,04^2 + 0,608^2} = 3,1 \text{ кН.}$$

Из (ж)

$$P = N_B \left(f + \frac{1}{f}\right) - G = 0,608 \left(0,2 + \frac{1}{0,2}\right) - 2 = 1,162 \text{ кН.}$$

Для определения реакций в жёсткой заделке A рассмотрим систему уравнивающих сил, приложенных к горизонтальной консольной балке AC

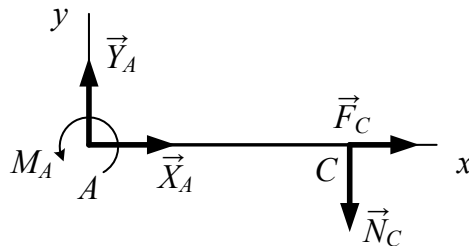


Рис. 4

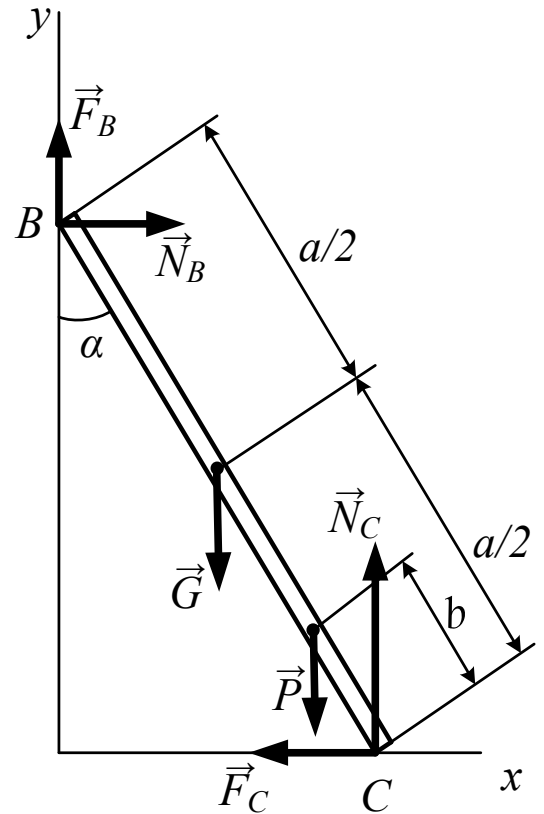


Рис. 3

(рис. 4)

Составим уравнения равновесия:

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; \quad X_A + F_C = 0; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; \quad Y_A - N_C = 0. \quad (и)$$

$$\sum_{i=1}^n M_{iA} = 0; \quad M_A - N_C \cdot a \cdot \sin \alpha = 0. \quad (к)$$

Из (з) $X_A = -F_C = -0,608$ кН.

Из (и) $Y_A = N_C = 3,04$ кН.

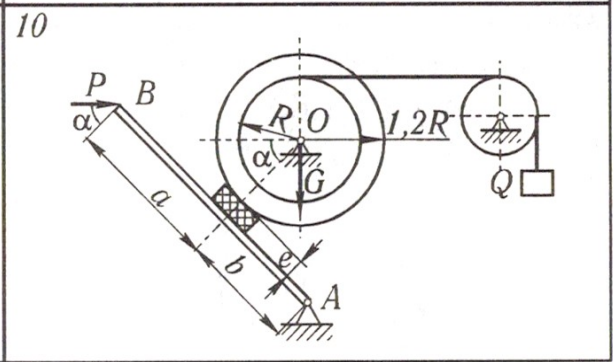
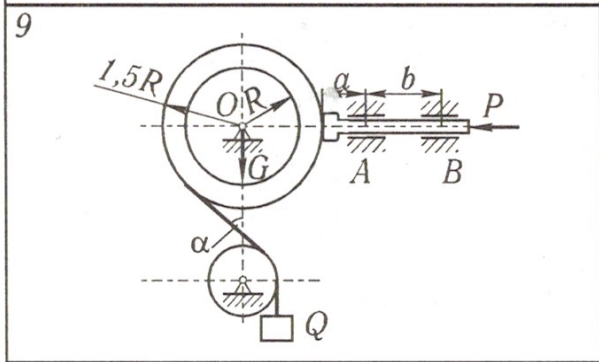
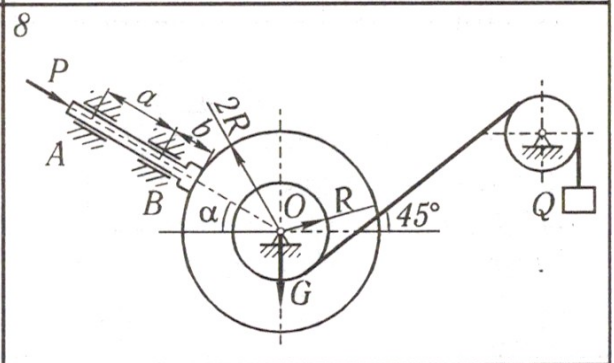
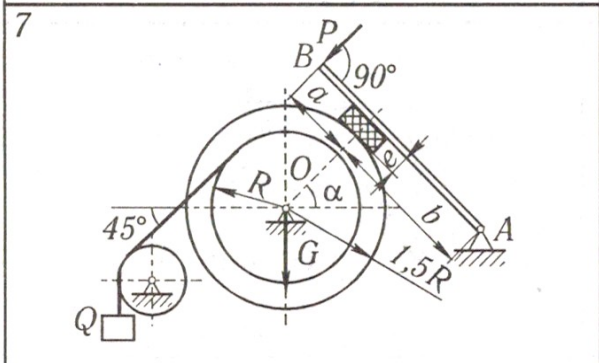
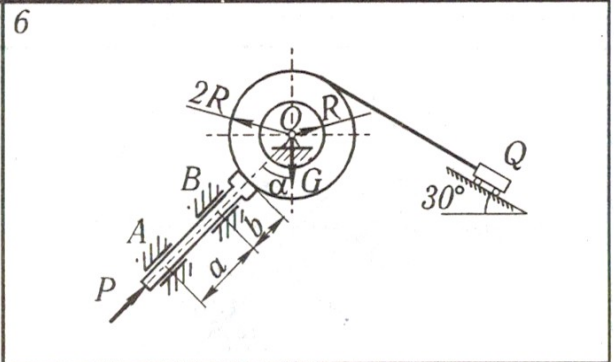
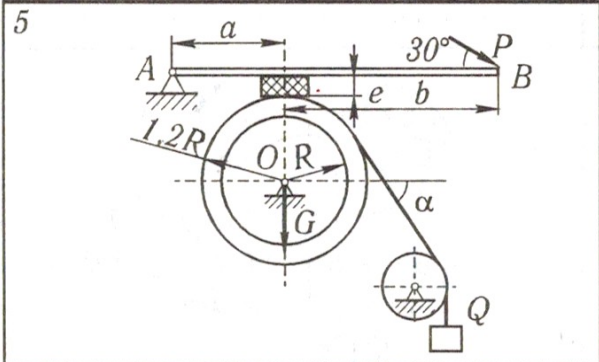
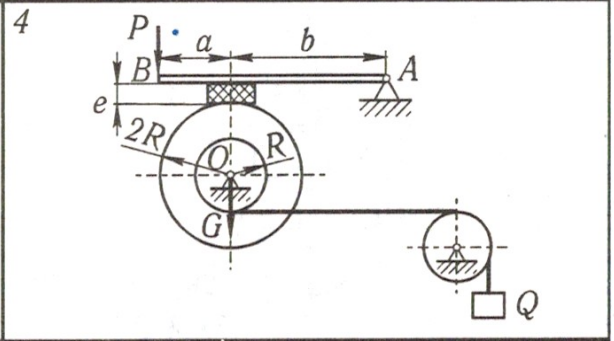
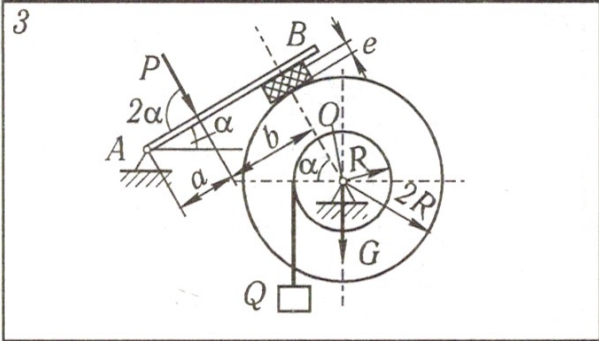
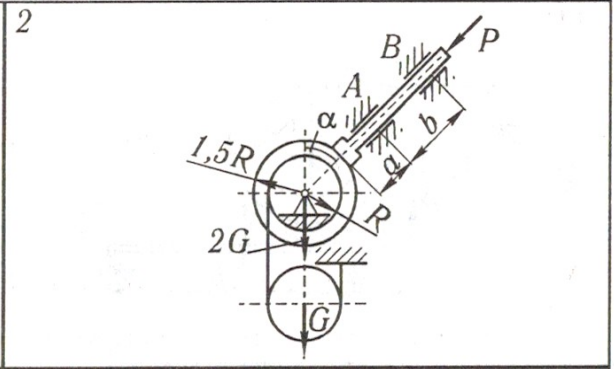
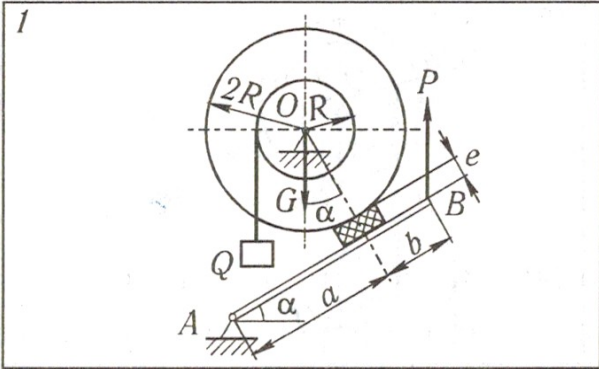
Из (к) $M_A = N_C \cdot a \cdot \sin 30^\circ = 3,04 \cdot 2 \cdot 0,5 = 3,04$ кН.

В табл. приведены результаты расчетов.

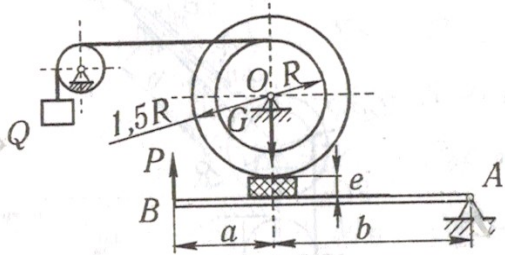
Таблица

Таблица результатов расчета

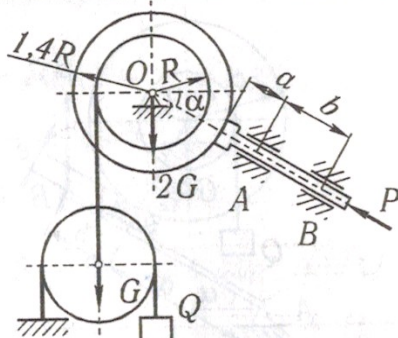
| Реакции, кН | | | | | Момент, кНм |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| X_A | Y_A | R_B | R_C | P | M_A |
| - 0,608 | 3,04 | 0,62 | 3,1 | 1,162 | 3,04 |



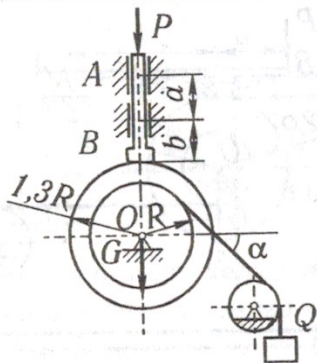
11



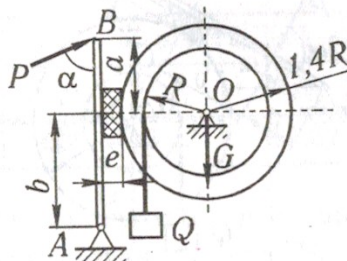
12



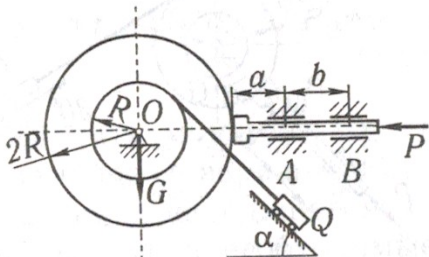
13



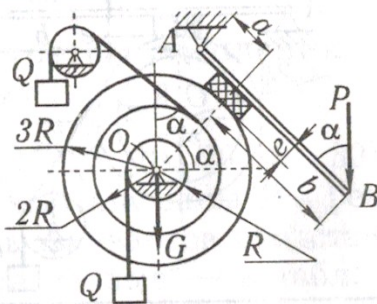
14



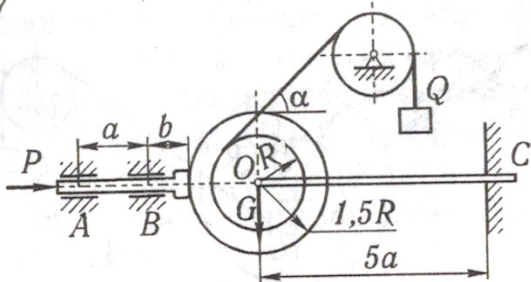
15



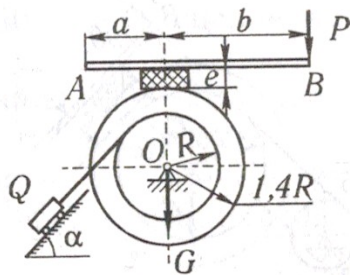
16



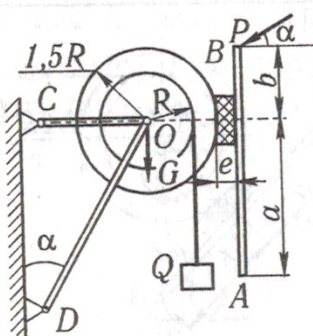
17



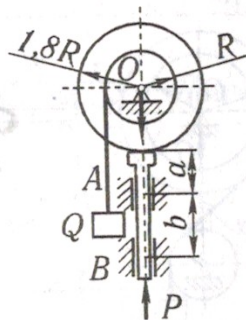
18



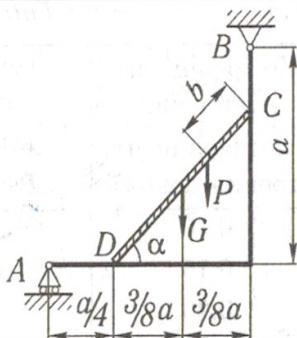
19



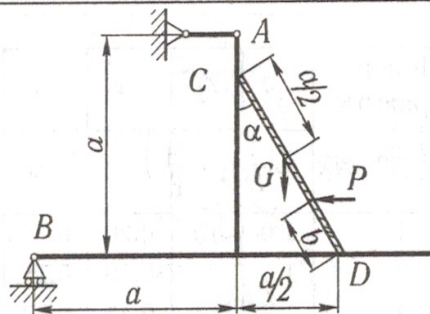
20



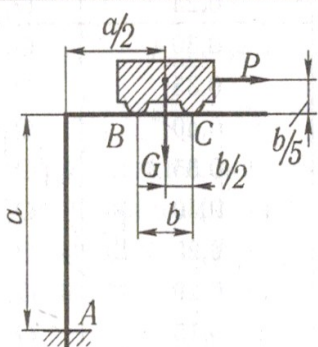
21



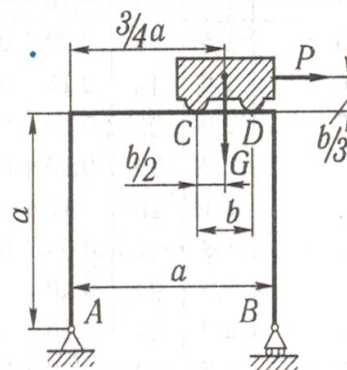
22



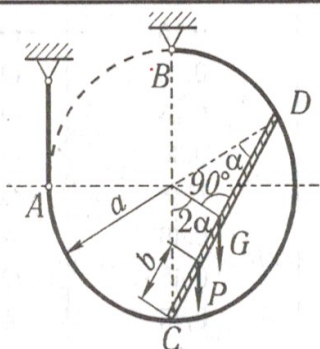
23



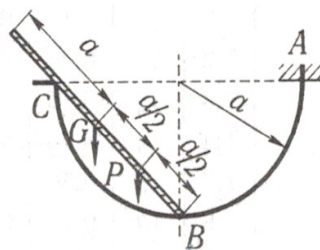
24



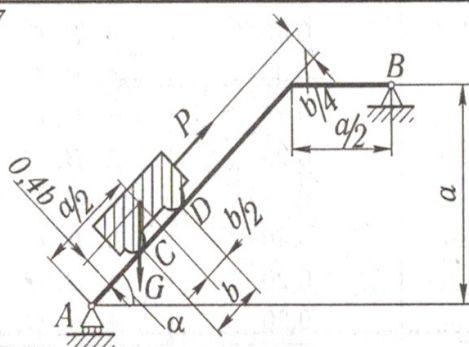
25



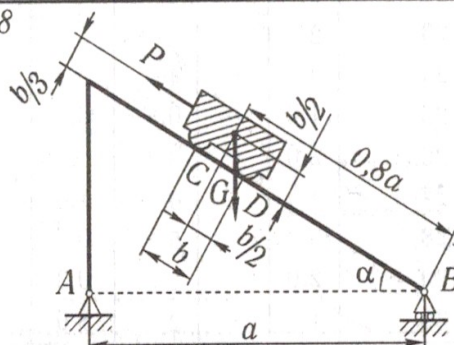
26



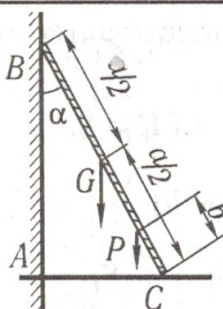
27



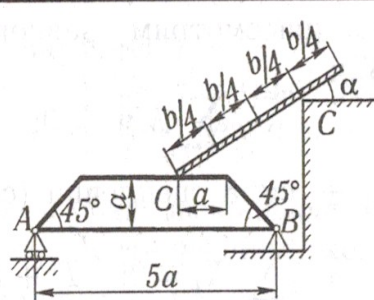
28



29



30



| Номер варианта (рис. 32-34) | <i>G</i> | <i>Q</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | α , град | Коэффициент сцепления (коэффициент трения покоя) | Точки, в которых определяются реакции |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------|---|--|
| | кН | | м | | | | | |
| 1 | 1,0 | 10 | 0,20 | 0,10 | 0,04 | 30 | 0,10 | O, A |
| 2 | 1,1 | - | 0,10 | 0,15 | - | 30 | 0,15 | O, A, B |
| 3 | 1,3 | 14 | 0,45 | 0,40 | 0,05 | 45 | 0,20 | O, A |
| 4 | 1,8 | 15 | 0,10 | 0,40 | 0,06 | - | 0,25 | O, A |
| 5 | 1,5 | 16 | 0,20 | 0,30 | 0,04 | 45 | 0,30 | O, A |
| 6 | 1,6 | 18 | 0,15 | 0,10 | - | 45 | 0,35 | O, A, B |
| 7 | 2,0 | 20 | 0,20 | 0,50 | 0,05 | 30 | 0,40 | O, A |
| 8 | 2,2 | 18 | 0,20 | 0,10 | - | 30 | 0,35 | O, A, B |
| 9 | 2,1 | 20 | 0,10 | 0,20 | - | 30 | 0,30 | O, A, B |
| 10 | 1,8 | 22 | 0,30 | 0,30 | 0,04 | 45 | 0,25 | O, A |
| 11 | 1,9 | 24 | 0,40 | 0,50 | 0,06 | - | 0,20 | O, A |
| 12 | 2,0 | 25 | 0,10 | 0,25 | - | 30 | 0,15 | O, A, B |
| 13 | 1,6 | 20 | 0,10 | 0,10 | - | 45 | 0,10 | O, A, B |
| 14 | 1,7 | 24 | 0,10 | 0,25 | 0,04 | 60 | 0,15 | O, A |
| 15 | 1,8 | 20 | 0,10 | 0,15 | - | 45 | 0,20 | O, A, B |
| 16 | 1,2 | 15 | 0,20 | 0,45 | 0,04 | 45 | 0,25 | O, A |
| 17 | 1,3 | 12 | 0,15 | 0,15 | - | 45 | 0,30 | O, A, B, C |
| 18 | 1,4 | 14 | 0,20 | 0,30 | 0,05 | 60 | 0,35 | O, A |
| 19 | 1,7 | 16 | 0,50 | 0,20 | 0,06 | 30 | 0,40 | A, C, D |
| 20 | 1,6 | 18 | 0,10 | 0,15 | - | - | 0,45 | O, A, B |
| 21 | 1,0 | - | 2 | 0,50 | - | 45 | 0,45 | A, B, C, D |
| 22 | 1,5 | - | 3 | 0,80 | - | 30 | 0,35 | A, B, C, D |
| 23 | 2 | - | 5 | 1,4 | - | - | 0,40 | A, B, C |
| 24 | 3 | - | 4 | 0,8 | - | - | 0,30 | A, B, C, D |
| 25 | 1,0 | - | 0,8 | 0,4 | - | 30 | 0,25 | A, B, C, D |
| 26 | 2,0 | - | 0,4 | - | - | - | 0,25 | A, B, C |
| 27 | 4 | - | 4 | 1,0 | - | 45 | 0,35 | A, B, C, D |
| 28 | 5 | - | 5 | 0,8 | - | 30 | 0,40 | A, B, C, D |
| 29 | 2,0 | - | 2 | 0,3 | - | 30 | 0,20 | A, B, C |
| 30 | 1 | - | 2 | 8,0 | - | 30 | 0,20 | A, B, C, D |