



Задания, ответы и критерии оценивания

Выпускник университета решил организовать собственное малое инновационное предприятие. Взяв кредит в банке, он купил киберфизическую производственную систему для изготовления координатно-измерительных машин (КИМ) для точных измерений и контроля машиностроительных изделий (см. рисунок 1). Такая КИМ содержит несущую систему, приводы, узлы координатных перемещений, измерительную головку, линейные измерительные преобразователи (энкодеры). В цехе предприятия было установлено следующее оборудование: токарный и фрезерный обрабатывающие центры с компьютерным управлением, сварочный робот и робот-манипулятор. В процессе изготовления различных деталей молодой инженер столкнулся с рядом производственных задач, представленных ниже.



Рис. 1

Задача № 1

Для обработки детали привода КИМ на фрезерном обрабатывающем центре ее заготовка (1) крепится в специальном зажимном устройстве с пневматическим приводом (рис. 2). Зажим заготовки осуществляется путем ее прижима с помощью рычага (2) к опоре (3). Рычаг приводится в движение с помощью пневматического цилиндра круглого сечения, имеющего шток (4) и поршень (5). Сжатый воздух подается только в штоковую полость. Длины плеч рычага $A=112$ мм и $B=42$ мм показаны на рис. 2. Требуется определить, какая сила F будет приложена к заготовке, если известен диаметр поршня пневмоцилиндра $D=50$ мм, диаметр штока $d=20$ мм, а давление воздуха в пневмоцилиндре составляет $p=0,6$ МПа. КПД рычажного механизма $\eta=0,95$.

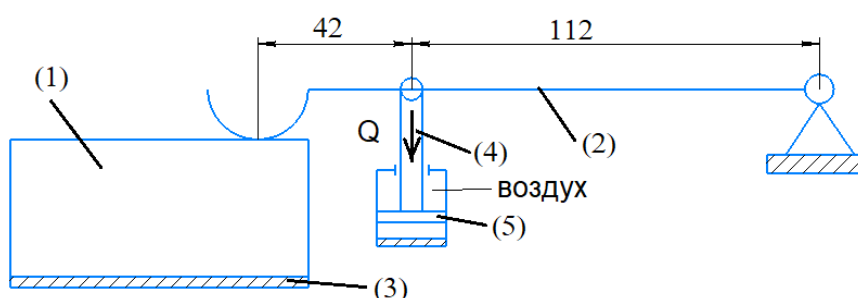


Рис. 2.

Решение: Сила на штоке $Q = pS = p \cdot \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = 600000 \cdot \frac{3,14 \cdot (0,05^2 - 0,02^2)}{4} = 659,4$ Н. Сила прижима заготовки $W = Q \cdot \frac{112}{112 + 42} \eta = 659,4 \cdot 0,73 \cdot 0,95 \approx 457,3$ Н.

Ответ 457,3 Н.

Задача № 2

Методом лазерного осаждения металла (LMD) изготавливается винтовая поверхность (рис. 3), представляющая собой выступы трапецеидального сечения, с основаниями 1 и 4 мм (рис. 4) на цилиндре диаметром $d=30$ мм, длиной 100 мм и шагом $P=10$ мм. Металлический порошок наплавляется на поверхность цилиндра с помощью лазерного луча. Определить массу наплавленного металла винтового выступа, **в граммах**, (плотность наплавленного металла $\rho=7,85$ г/см³).

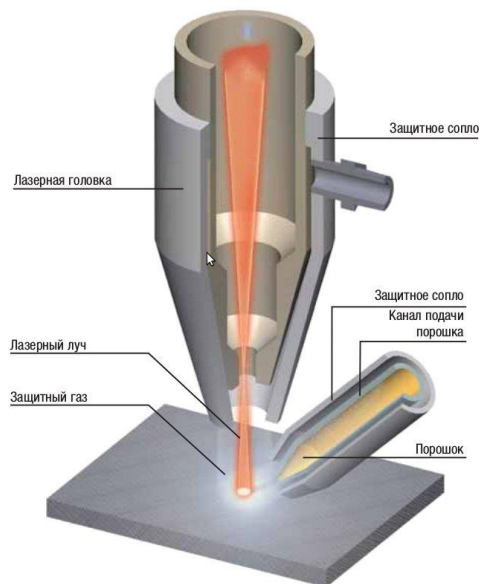


Рис. 3

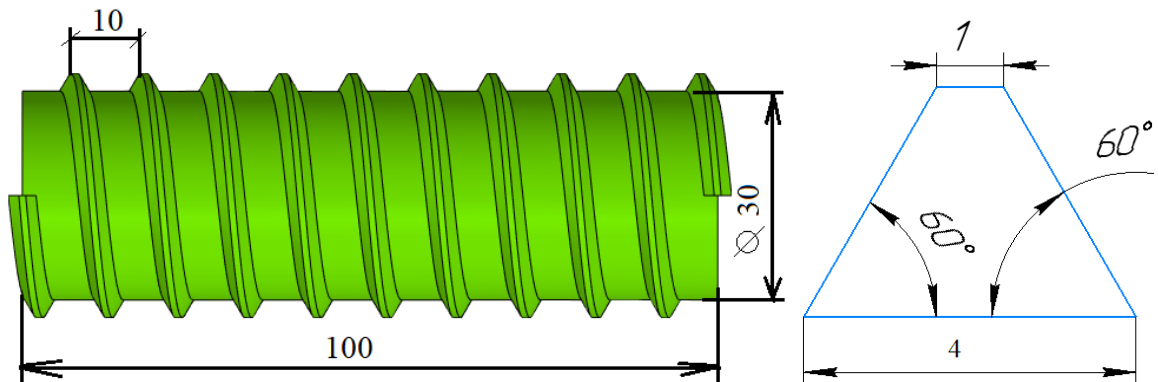


Рис. 4

Решение.

$M = \rho V$. Объем винтового выступа равен длине развертки винтовой линии, умноженной на площадь сечения выступа.

Длина винтовой равна $L = 10\sqrt{P^2 + (\pi d)^2} = 10\sqrt{1^2 + (3,14 \cdot 3)^2} \approx 95$ см.

Площадь сечения выступа $S = 0,5h(0,1 + 0,4) = 0,25h$. Высота трапеции равна $h = 0,15 \cdot \tan(60^\circ) = 0,15 \cdot 1,73 = 0,2595$ см.

$S = 0,25 \cdot 0,2595 \approx 0,065$ см².

$V = L \cdot S = 95 \cdot 0,065 = 6,175$ см³.

$M = 7,85 \cdot 6,175 \approx 48,5$ г.

Ответ: 48,5 г.

Задача № 3

На вертикальном обрабатывающем центре с числовым программным управлением концевой фрезой (1) диаметром 40 мм фрезеруется композитная деталь (2) для крышки привода КИМ, представляющая собой в плане прямоугольник с правильной шестиугольной выемкой со скругленными углами, радиус скругления 20 мм (рис. 5). Параметры скругления: длина хорды 20 мм, высота стрелы сегмента 2,68 мм. Фреза последовательно проходит по траекториям (1), (2), (3), (4). На траектории (1) скруглений нет. Траектория (1) представляет из себя правильный шестиугольник с диаметром вписанной окружности $d_1=52$ мм. Траектория (2) – правильный шестиугольник с диаметром вписанной окружности $d_2=120$ мм. Траектория (3) – правильный шестиугольник с диаметром вписанной окружности $d_3=190$ мм. Траектория (4) – правильный шестиугольник с диаметром вписанной окружности $d_4=262$ мм. Определить, сколько времени (сек.) займет у фрезы проход по всем трем траекториям, если известно, что фреза движется с постоянной скоростью $V=0,01$ м/с, время перехода между траекториями не учитывать.

Решение: Длина дуги скругления (по стрелке 2,68 мм и хорде 20 мм сегмента)

равна $L = \sqrt{20^2 + \frac{16}{3} \cdot 2,68^2} = 20,935$ мм.

Периметр траектории (1) (правильного шестиугольника без скруглений) равен

$$P_1 = 6 \frac{d_1}{\sqrt{3}} = 180,35 \text{ мм.}$$

Периметр второго шестиугольника (с учетом скруглений) равен $P_2 = 6 \frac{d_2}{\sqrt{3}} - 6 \cdot (2 \cdot 10 / \sin(60^\circ)) + 6 \cdot L = 416,185 - 137,928 + 125,61 = 403,867$ мм.

Периметр третьего шестиугольника (с учетом скруглений) равен $P_3 = 6 \frac{d_3}{\sqrt{3}} - 6 \cdot (2 \cdot 10 / \sin(60^\circ)) + 6 \cdot L = 658,98 - 137,928 + 125,61 = 646,662$ мм.

Периметр четвертого шестиугольника (с учетом скруглений) равен $P_4 = 6 \frac{d_4}{\sqrt{3}} - 6 \cdot (2 \cdot 10 / \sin(60^\circ)) + 6 \cdot L = 908,67 - 137,928 + 125,61 = 896,352$ мм.

Суммарная длина всех траекторий равна $S = 180,35 + 403,867 + 646,662 + 896,352 = 2127,231$ мм.

Искомое время равно $t = S/V = 2127,231/0,01 = 212,7231 \approx 212,72$ с.

Ответ: 212,72 с.

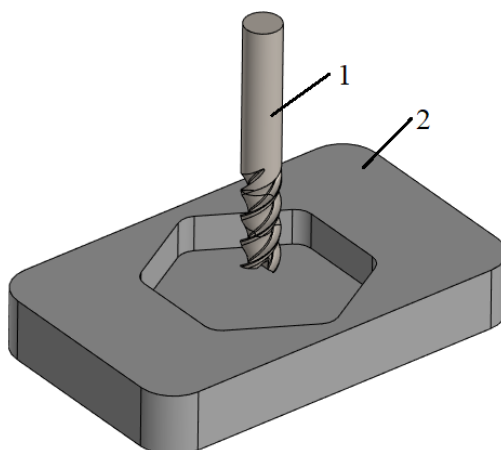
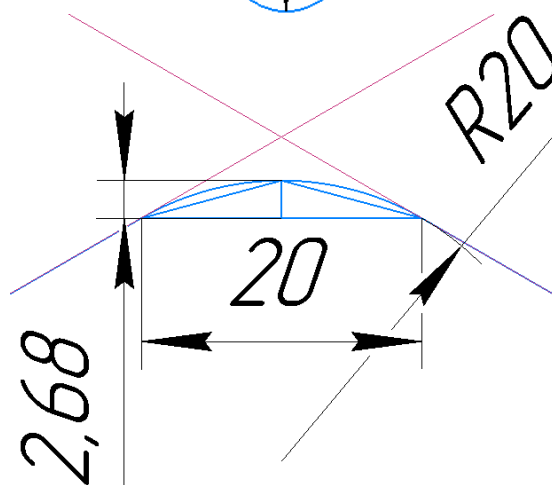
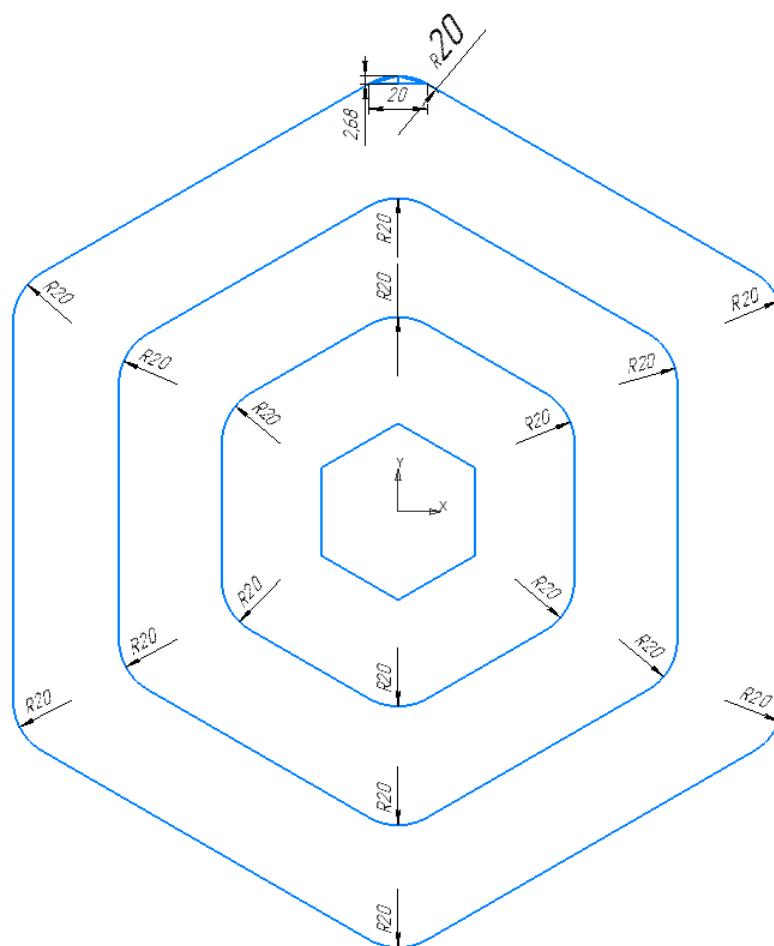


Рис. 5

Задача № 4

Для обработки детали привода КИМ на фрезерном обрабатывающем центре возникла задача закрепления призматической заготовки. Для закрепления используется механизм, показанный на рис. 6. Заготовка (1) прижимается к опоре (2) с помощью плунжера (3), который находится в контакте с клином (4). Угол клина $\alpha=15^\circ$. Плунжер и клин опираются в корпус (5). Коэффициент трения между клином и корпусом равен $f_1=0,1$; коэффициент трения между плунжером и корпусом равен $f_2=0,2$; коэффициент трения между клином и плунжером равен $f_3=0,15$. Определить силу зажима F , действующую со стороны плунжера на заготовку, если известно, что сила привода $Q=100$ Н. КПД механизма $\eta=0,54$.

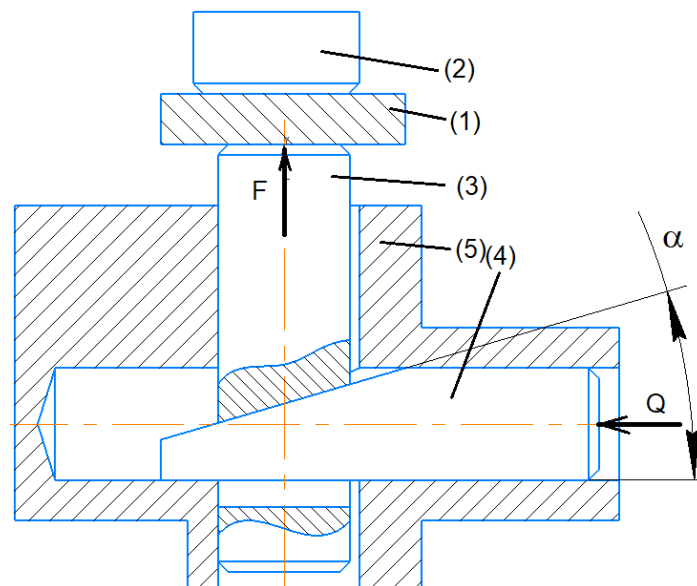


Рис. 6

Решение.

Расчетная схема показана на рис. 7.

Углы трения равны:

$$\varphi_1 = \arctg(f_1) = \arctg(0,1) = 5,71^\circ;$$

$$\varphi_2 = \arctg(f_2) = \arctg(0,2) = 11,3^\circ;$$

$$\varphi_3 = \arctg(f_3) = \arctg(0,15) = 8,53^\circ;$$

Из рассмотрения равновесия клина в проекции на ось X следует

$$F_1 = \frac{Q}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_3) + \operatorname{tg} \varphi_1}.$$

Из равновесия плунжера следует: $F = F_1 - F_2$.

$$F_2 = N \cdot \operatorname{tg} \varphi_2; N = F_1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) = \frac{Q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1)}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_3) + \operatorname{tg} \varphi_1}.$$

$$F = \frac{Q(1 - \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_2)}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_3) + \operatorname{tg} \varphi_1} \cdot \eta = \frac{100(1 - \operatorname{tg}(15^\circ + 5,71^\circ) \operatorname{tg}(11,3^\circ))}{\operatorname{tg}(15^\circ + 8,53^\circ) + \operatorname{tg}(5,71^\circ)} \cdot 0,54 = 271,8 \cdot 0,54 \approx 146,8 \text{ Н.}$$

Ответ: 146,8 Н.

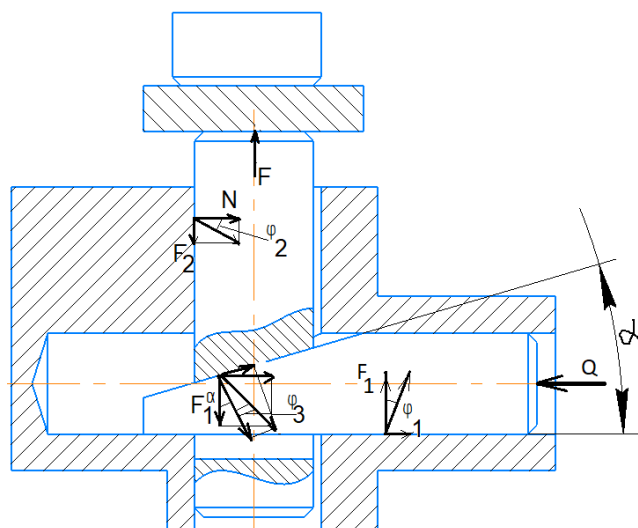


Рис. 7

Задача № 5

Для участка сборки инженер получил чертеж одной из деталей контрольно-измерительной машины, которая без размеров изображена тремя проекциями, приведенными на рисунке 7. Три проекции – это изображение трех видов конструкции: спереди (взгляд по оси Z), слева (по оси X) и сверху (по оси Y). Нарисуйте **разрез** этой конструкции плоскостью, параллельной виду слева (плоскость, параллельная Yoz) и проходящей ровно посередине толщины конструкции. Для пояснения приведенных выше понятий на рисунке 8 («Пример для пояснения») даны все виды и разрезы применительно к другой детали. На разрезе рисуются все кромки детали, которые попали в секущую плоскость и которые видны за ней.

Оценка за верный ответ 35 баллов.

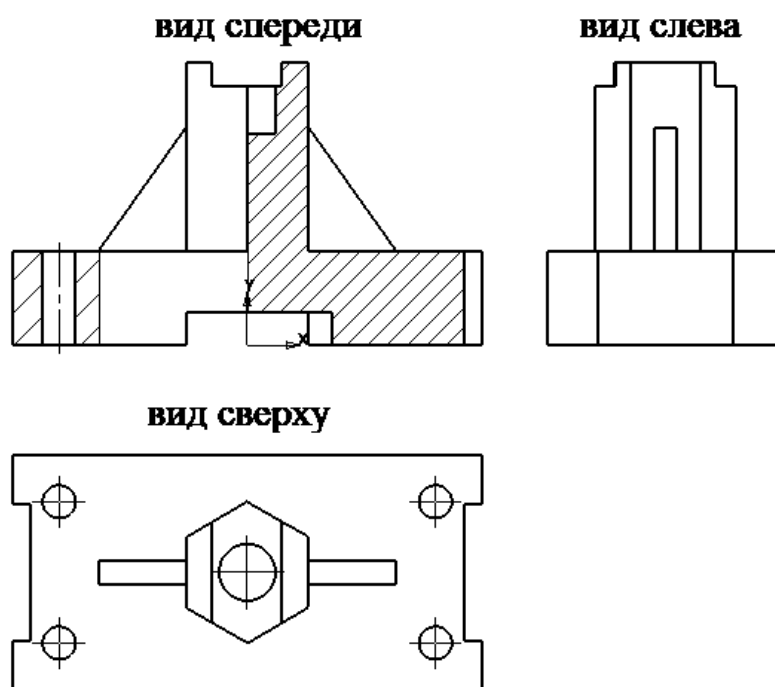


Рис. 8

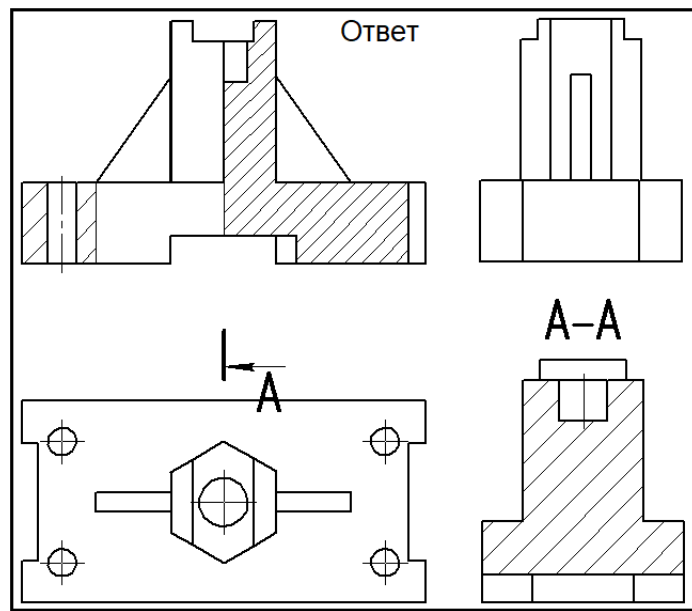


Рис. 9



Задания, ответы и критерии оценивания

Выпускник университета решил организовать собственное малое инновационное предприятие. Взяв кредит в банке, он купил киберфизическую производственную систему для изготовления координатно-измерительных машин (КИМ) для точных измерений и контроля машиностроительных изделий (рис. 1). Такая КИМ содержит несущую систему, приводы, узлы координатных перемещений, измерительную головку, линейные измерительные преобразователи (энкодеры). В цехе предприятия было установлено следующее оборудование: токарный и фрезерный обрабатывающие центры с компьютерным управлением, сварочный робот и робот-манипулятор. В процессе изготовления различных деталей молодой инженер столкнулся с рядом производственных задач, представленных ниже.



Рис. 1

Задача №1

Для обработки детали привода КИМ на фрезерном обрабатывающем центре ее заготовка (1) крепится в специальном зажимном устройстве с пневматическим приводом. Зажим заготовки осуществляется путем ее прижима с помощью рычага (3) к опоре (2). Рычаг приводится в движение с помощью пневматического цилиндра круглого сечения, имеющего шток (4) и поршень (5). Сжатый воздух подается только в штоковую полость. Длины плеч рычага $A=66$ мм и $B=42$ мм показаны на рис. 4. Требуется определить, какая сила F будет приложена к заготовке, если известен диаметр поршня пневмоцилиндра $D=40$ мм, диаметр штока $d=14$ мм, а давление воздуха в пневмоцилиндре составляет $p=0,4$ МПа. КПД рычажного механизма $\eta=0,95$.

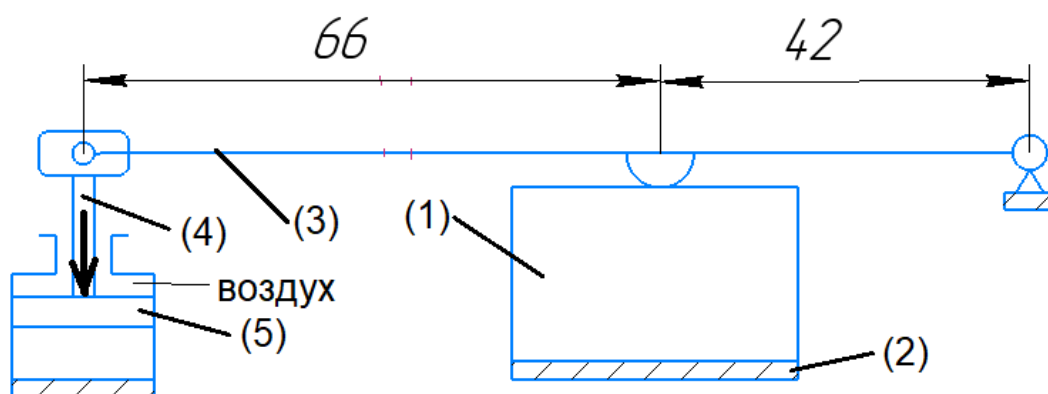


Рис. 2.

Решение.

Сила на штоке $Q=pS=p \cdot \frac{\pi(D^2-d^2)}{4}=400000 \cdot \frac{3,14 \cdot (0,04^2-0,014^2)}{4}=440$ Н. Сила прижима заготовки $W=Q \cdot \frac{66+42}{42} \eta=440 \cdot 2,57 \cdot 0,95 \approx 1074,26$ Н.

Ответ 1074,26 Н.

Задача № 2

Методом лазерного осаждения металла (LMD) наплавляется винтовая поверхность (рис. 2), представляющая собой выступы трапецеидального сечения (рис. 3) на цилиндре диаметром 30 мм, длиной 100 мм и шагом $P=10$ мм. Металлический порошок наплавляется на поверхность цилиндра с помощью лазерного луча. Определить массу наплавленного металла винтового выступа в граммах, плотность наплавленного металла $7,85$ г/см³.

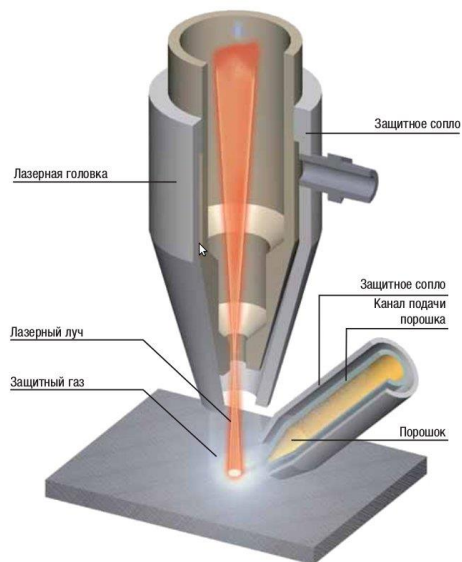


Рис. 3

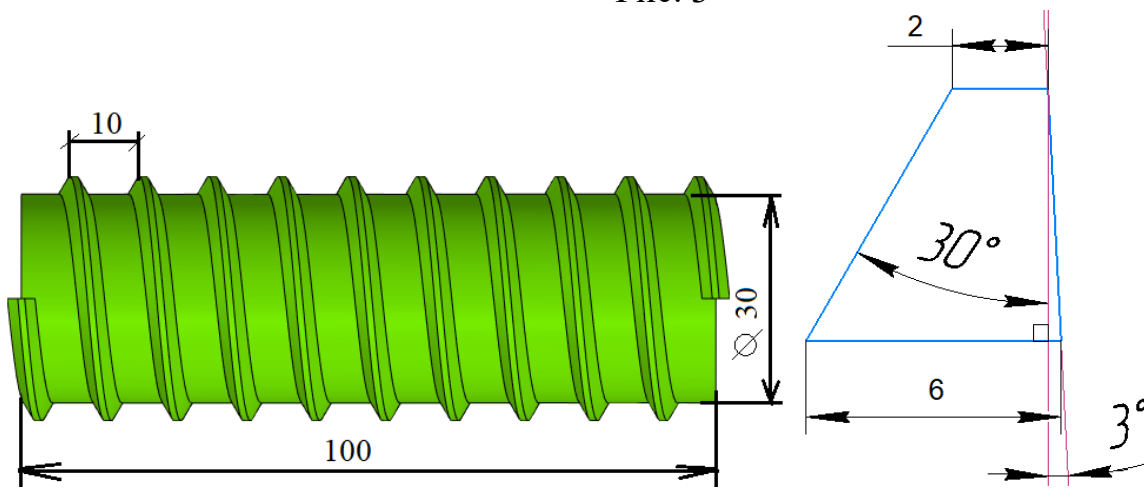


Рис. 4

Решение.

$M = \rho V$. Объем винтового выступа равен длине развертки винтовой линии, умноженной на площадь сечения выступа.

Длина винтовой равна $L = 10\sqrt{P^2 + (\pi d)^2} = 10\sqrt{1^2 + (3,14 \cdot 3)^2} \approx 95$ см.

Площадь сечения выступа $S = 0,5h(0,2 + 0,6) = 0,4h$. Высота трапеции равна

$$h = \frac{0,4 \cdot \operatorname{tg} 87^\circ}{(\operatorname{tg} 60^\circ + \operatorname{tg} 87^\circ) \cdot \operatorname{tg} 60^\circ} = 0,212 \text{ см.}$$

$$S = 0,4 \cdot 0,212 \approx 0,085 \text{ см}^2.$$

$$V = L \cdot S = 95 \cdot 0,085 = 8,075 \text{ см}^3.$$

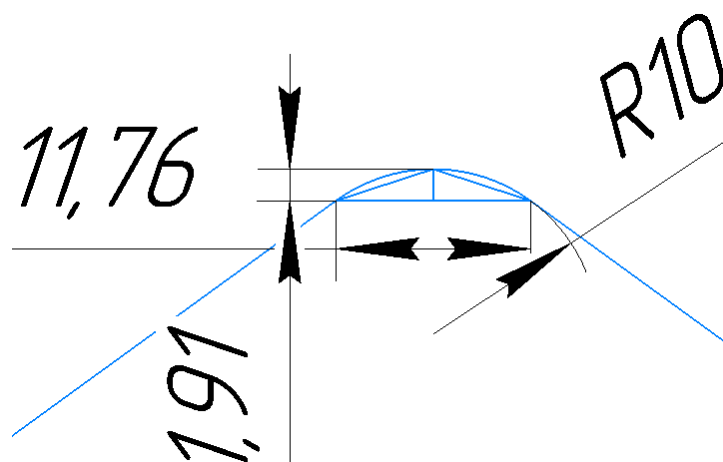
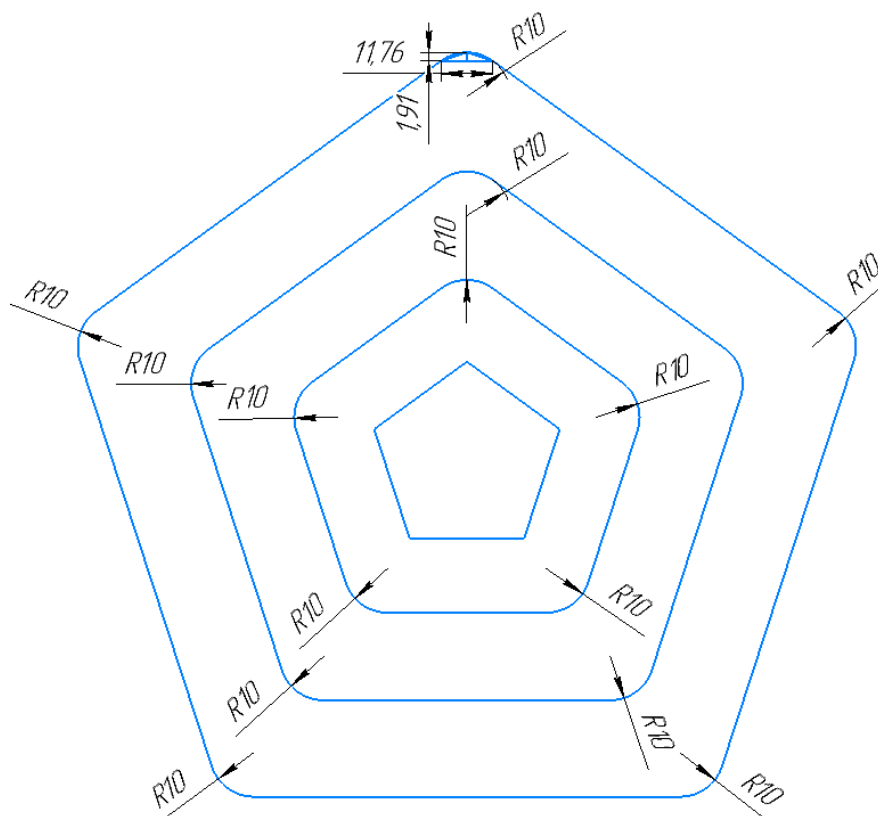
$$M = 7,85 \cdot 8,075 \approx 63,4 \text{ г.}$$

Ответ: 63,4 г.

Задача № 3

На вертикальном обрабатывающем центре с числовым программным управлением концевой фрезой (1) диаметром 20 мм фрезеруется композитная деталь (2) для крышки привода КИМ, представляющая собой в плане прямоугольник с правильной пятиугольной выемкой со скругленными углами (рис 3) с радиусом $R=10$ мм.

Фреза последовательно проходит по траекториям (1), (2), (3), (4). Траектория (1) скруглений не имеет. Траектория (1) представляет собой правильный пятиугольник с диаметром вписанной окружности $d_1=36$ мм; траектория (2) представляет собой правильный пятиугольник с диаметром вписанной окружности $d_2=70$ мм; траектория (3) представляет собой правильный пятиугольник с диаметром вписанной окружности $d_3=110$ мм; траектория (4) представляет собой правильный пятиугольник с диаметром вписанной окружности $d_4=154$ мм. Определить, сколько времени (сек.) займет у фрезы проход по всем трем траекториям, если известно, что фреза движется с постоянной скоростью $V=0,01$ м/с, время перехода между траекториями не учитывать.



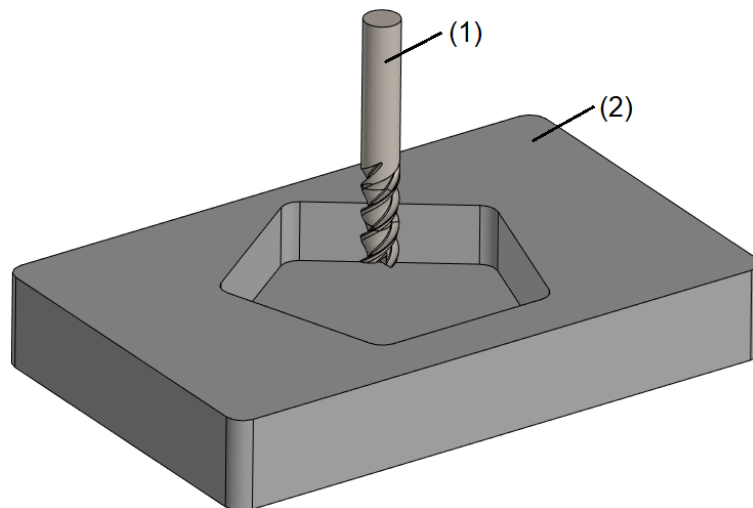


Рис. 5

Решение.

Длина дуги скругления (по стрелке 1,91 мм и хорде 11,76 мм сегмента) равна

$$L = \sqrt{20^2 + \frac{16}{3} \cdot 2,68^2} = 12,56 \text{ мм.}$$

Периметр траектории (1) (правильного пятиугольника без скруглений) равен $P_1 = 5 \cdot (0,5d_1/0,69) = \mathbf{130,435 \text{ мм.}}$

Периметр второго пятиугольника (с учетом скруглений) равен $P_2 = 5 \cdot (0,5d_2/0,69) - 5 \cdot (2 \cdot 5,88/\sin(54^\circ)) + 5 \cdot L = 253,6 - 72,6 + 62,8 = \mathbf{243,8 \text{ мм.}}$

Периметр третьего пятиугольника (с учетом скруглений) равен $P_3 = 5 \cdot (0,5d_3/0,69) - 5 \cdot (2 \cdot 5,88/\sin(54^\circ)) + 5 \cdot L = 398,55 - 72,6 + 62,8 = \mathbf{388,75 \text{ мм.}}$

Периметр четвертого пятиугольника (с учетом скруглений) равен $P_4 = 5 \cdot (0,5d_4/0,69) - 5 \cdot (2 \cdot 5,88/\sin(54^\circ)) + 5 \cdot L = 557,95 - 72,6 + 62,8 = \mathbf{548,15 \text{ мм.}}$

Суммарная длина всех траекторий равна $S = 130,435 + 243,8 + 388,75 + 548,15 = 1311,135 \text{ мм.}$

Искомое время равно $t = S/V = 1311,135/10 \approx 131,11 \text{ с.}$

Ответ: 131,11 с.

Задача № 4

Для обработки детали привода КИМ на фрезерном обрабатывающем центре возникла задача закрепления призматической заготовки. Для закрепления используется механизм, показанный на рис. 6. Заготовка (1) прижимается к опоре (2) с помощью плунжера (3), который находится в контакте с клином (4). Угол клина $\alpha=15^\circ$. Плунжер и клин опираются о корпус (5). Коэффициент трения между клином и корпусом равен $f_1=0,1$; коэффициент трения между плунжером и корпусом равен $f_2=0,15$; коэффициент трения между клином и плунжером равен $f_3=0,2$. Определить силу привода Q , действующую на клин, если известно, что сила зажима равна $F=200$ Н. КПД $\eta=0,54$.

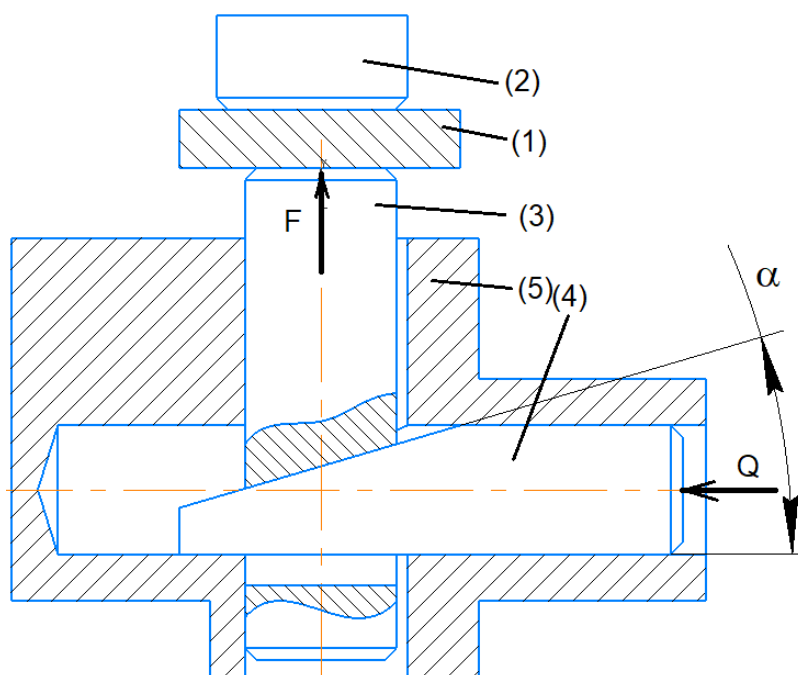


Рис. 6

Решение. См. расчетную схему рис 7.

Углы трения равны:

$$\varphi_1 = \arctg(f_1) = \arctg(0,1) = 5,71^\circ;$$

$$\varphi_2 = \arctg(f_2) = \arctg(0,2) = 11,3^\circ;$$

$$\varphi_3 = \arctg(f_3) = \arctg(0,15) = 8,53^\circ;$$

Из рассмотрения равновесия клина в проекции на ось X следует $F_1 = \frac{Q}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_3) + \operatorname{tg} \varphi_1}$.

Из равновесия плунжера следует: $F = F_1 - F_2$.

$$F_2 = N \cdot \operatorname{tg} \varphi_2; \quad N = F_1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) = \frac{Q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1)}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_3) + \operatorname{tg} \varphi_1}.$$

$$F = \frac{Q(1 - \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_2)}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_3) + \operatorname{tg} \varphi_1} \cdot \eta.$$

Отсюда искомая сила привода Q равна:

$$Q = \frac{F(\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_3) + \operatorname{tg} \varphi_1)}{1 - \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_2} = \frac{200(\operatorname{tg}(15 + 8,53) + \operatorname{tg} 5,71)}{(1 - \operatorname{tg}(15 + 5,71) \operatorname{tg} 11,3) \cdot \eta} = 216 \text{ Н.}$$

Ответ: 216 Н.

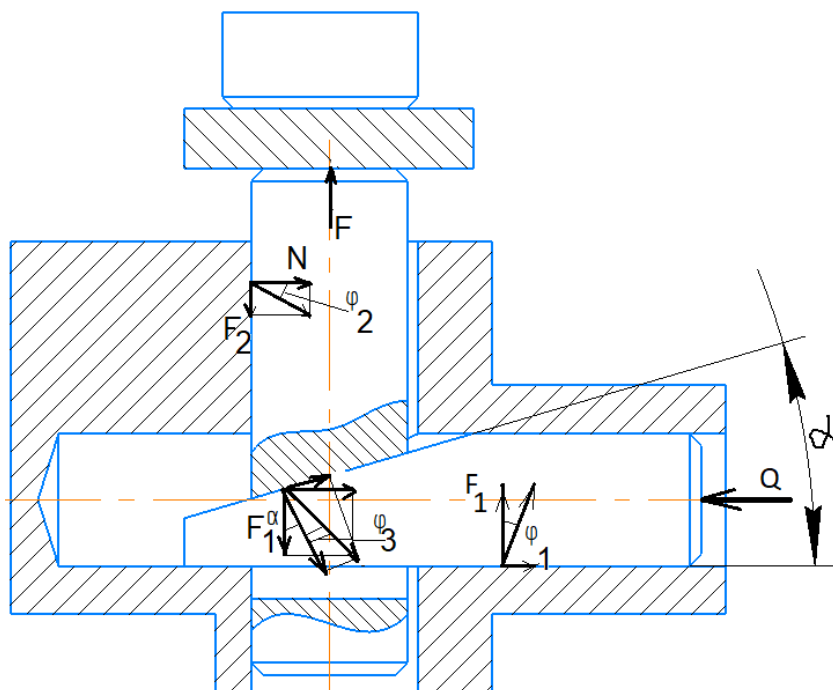


Рис. 7

Задача № 5

Для участка сборки инженер получил чертеж одной из деталей контрольно-измерительной машины, которая без размеров изображена тремя проекциями, приведенными на рисунке 8. Три проекции – это изображение трех видов конструкции: спереди (взгляд по оси Z), слева (по оси X) и сверху (по оси Y). Нарисуйте **сечение** этой конструкции плоскостью, параллельной виду слева (плоскость, параллельная Y_0Z) и проходящей ровно посередине толщины конструкции. Для пояснения приведенных выше понятий на рисунке 8 («Пример для пояснения») даны все виды и разрезы применительно к другой детали. На **сечении** рисуются только те кромки детали, которые попали в секущую плоскость.

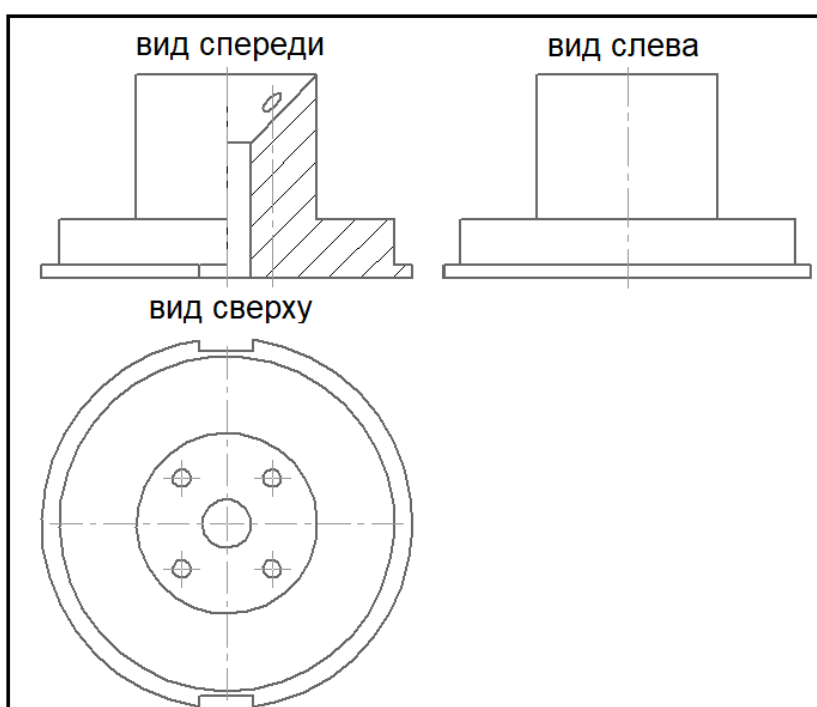


Рис. 8

Решение.

Ответ представлен на рис. 9. В сечении находятся только те кромки детали, которые попали в секущую плоскость.

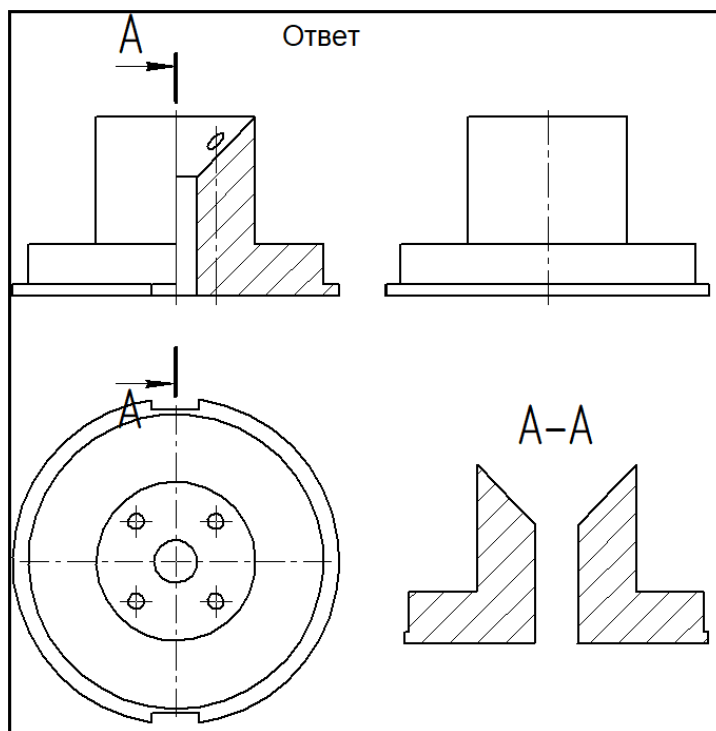


Рис. 9

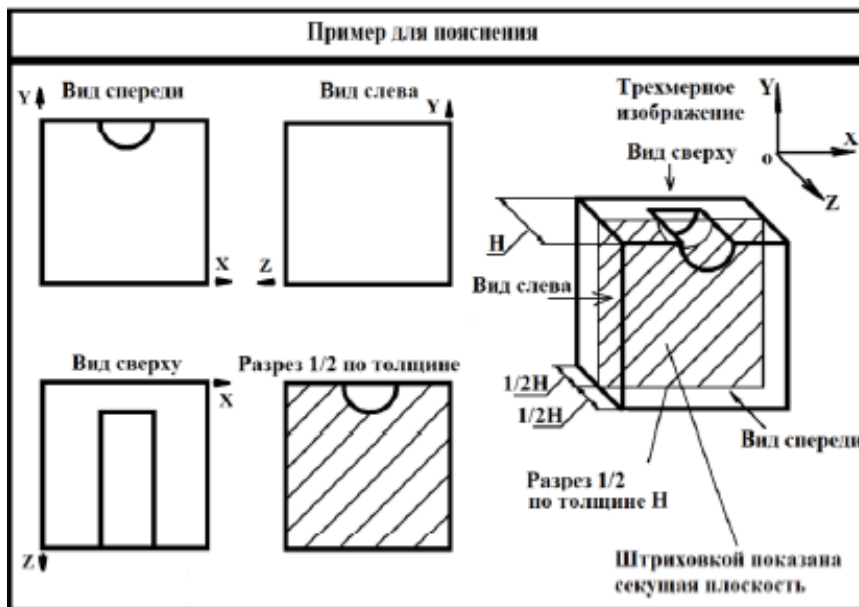


Рис. 10



Задания, ответы и критерии оценивания

Выпускник университета решил организовать собственное малое инновационное предприятие. Взяв кредит в банке, он купил киберфизическую производственную систему для изготовления координатно-измерительных машин (КИМ) для точных измерений и контроля машиностроительных изделий (рис. 1). Такая КИМ содержит несущую систему, приводы, узлы координатных перемещений, измерительную головку, линейные измерительные преобразователи (энкодеры). В цехе предприятия было установлено следующее оборудование: токарный и фрезерный обрабатывающие центры с компьютерным управлением, сварочный робот и робот-манипулятор. В процессе изготовления различных деталей молодой инженер столкнулся с рядом производственных задач, представленных ниже.

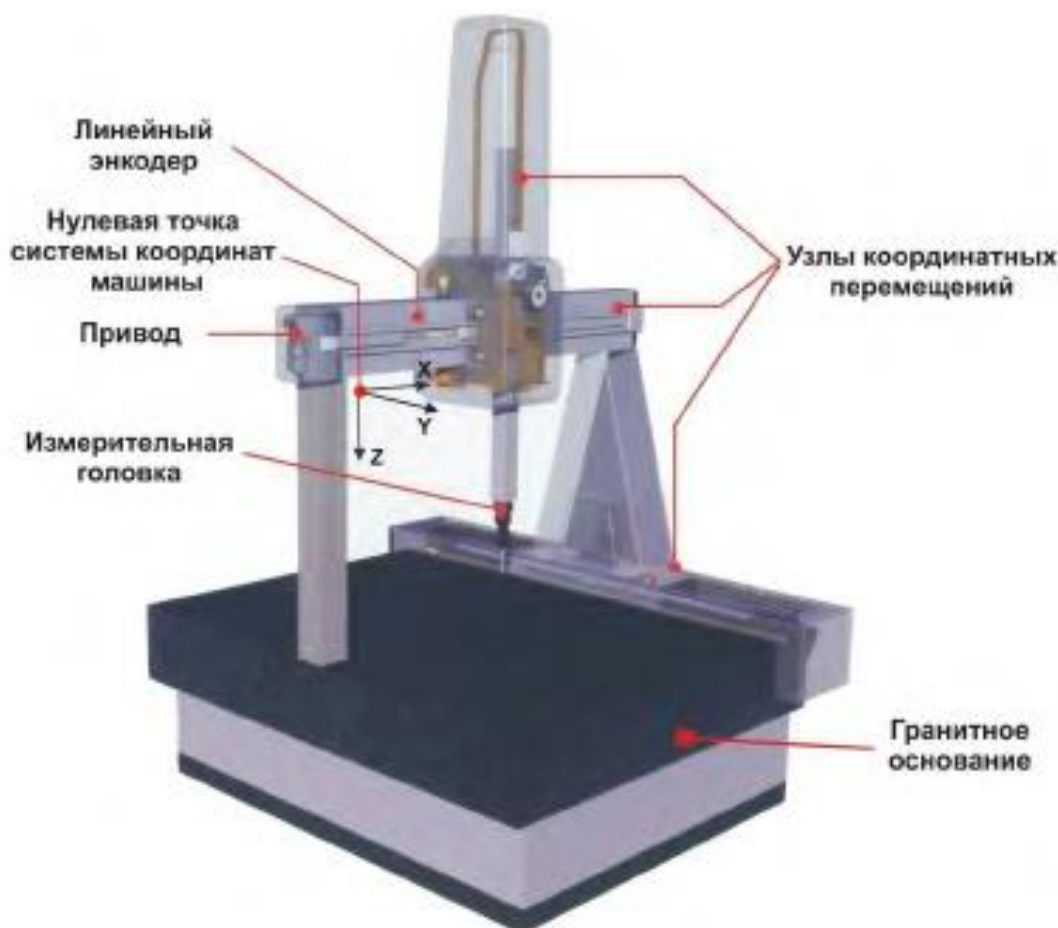


Рис. 1

Задача № 1

Электродвигатель привода контрольно-измерительной машины закреплен на подставке так, что его ось вращения и общий центр масс находятся посередине между опорами, расстояние между которыми равно $L=0,2$ м (рис. 2). Найдите силу действия правой и левой опор двигателя на опорную поверхность в момент запуска двигателя, если после включения ротор двигателя раскручивается с угловым ускорением $\omega=10$ рад/с², а его момент инерции равен $J=5$ кг*м², масса двигателя с подставкой равна $m=10$ кг. Ускорение свободного падения принять равным $g=10$ м/с². Ротор двигателя вращается по часовой стрелке.

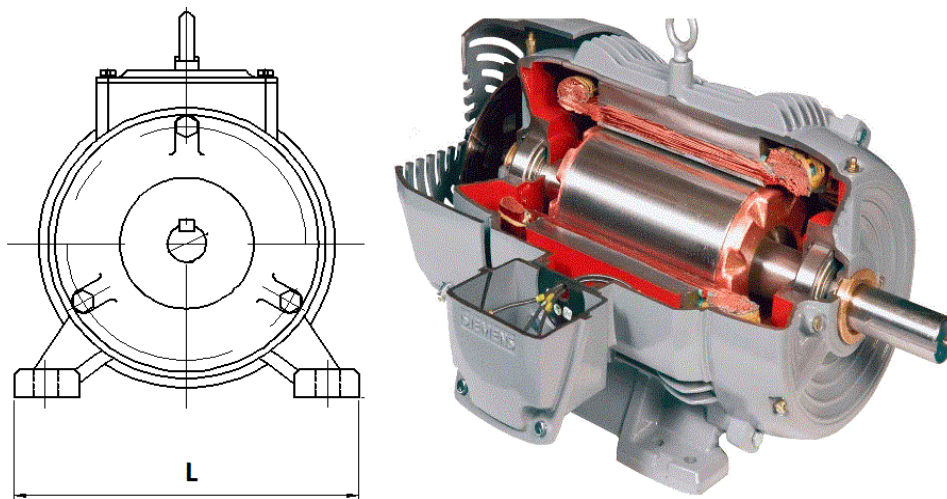


Рис. 2

Решение.

Решение: На правую опору действует вес $(m \cdot g)/2$ **плюс** дополнительный момент вызванный вращением ротора равный $M=J \cdot \omega$. Сила, вызванная этим моментом равна $M/(0,5 \cdot L)$. Таким образом, сила под правой опорой равна $P_1 = (m \cdot g)/2 + J \cdot \omega / (0,5 \cdot L) = 10 \cdot 10 / 2 + 10 \cdot 5 / (0,5 \cdot 0,2) = 550$ Н. Аналогично, на левую опору действует сила тяжести $(m \cdot g)/2$ **минус** дополнительный момент вызванный вращением ротора равный $M=J \cdot \omega$. Сила, вызванная этим моментом равна $M/(0,5 \cdot L)$. Таким образом, сила под левой опорой равна $P_2 = (m \cdot g)/2 - J \cdot \omega / (0,5 \cdot L) = 10 \cdot 10 / 2 - 10 \cdot 5 / (0,5 \cdot 0,2) = 450$ Н.

Ответ: 550 Н; 450 Н.

Задача № 2

При измерении изделий машиностроения с помощью контрольно-измерительной машины (КИМ) контролируемая деталь устанавливается на столе такой машины, при этом часто бывает необходимость зафиксировать ее положение. Для этого может применяться электромагнитное приспособление, которое может зафиксировать деталь из ферромагнитного материала (рис. 3). Приспособление состоит из корпуса (3) с электромагнитами (6) и крышки (4) в которой установлены полюса (2) с изоляцией из изолятора (5). Каждый электромагнит состоит из обмотки и сердечника. Деталь (1) устанавливается на рабочую поверхность крышки, являясь проводником она замыкает магнитный поток (7) между полюсами

(2), что создает силу притяжения детали к крышке. Определить диаметр сердечника одного электромагнита в мм, если известно, что 20 таких электромагнитов создают суммарную прижимную силу $F=50$ Н. Магнитная индукция катушки электромагнита $B=0,5$ Тл. Сила тока в катушке $A=2$ А, магнитная постоянная $\mu_0=1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м. Относительная магнитная проницаемость сердечника $\mu=10$.

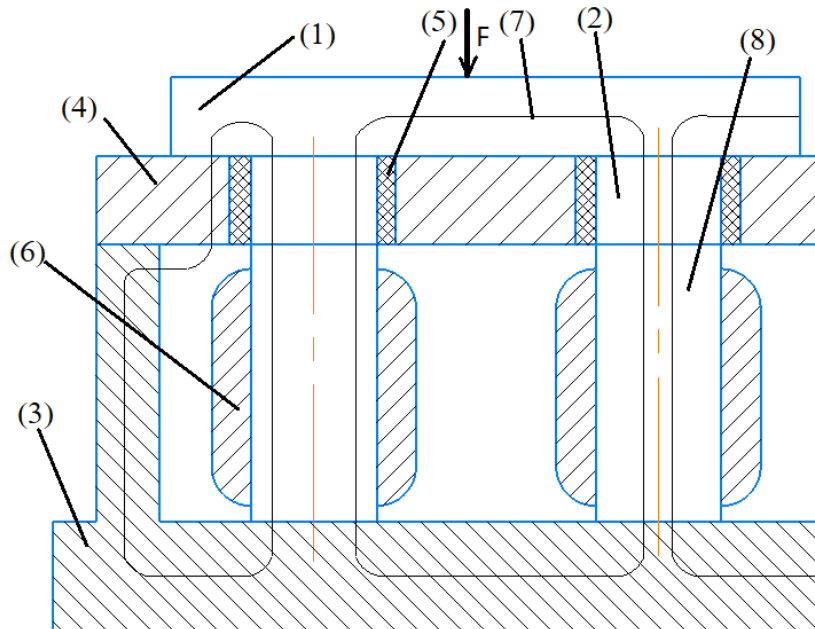


Рис. 3

Решение.

Всего используется 10 пар полюсов (двухполюсников). Сила, приходящаяся на 1 пару полюсов равна $P=F/10=50/10=5$ Н. Электромагнитная сила одного электромагнита равна $P_{эм}=B^2S/\mu_0\mu$. Отсюда $S=P\mu\mu_0/B^2=(5 \cdot 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 10)/0,5^2=0,000252$ м². Диаметр сердечника равен $d=\sqrt{\frac{4S}{\pi}}=\sqrt{\frac{4 \cdot 0,000252}{3,14}} \approx 0,018$ м.

Ответ 18 мм.

Задача № 3

Для сварки рамы КИМ применяется робот-манипулятор. Данный робот работает в сферической системе координат, это значит, что координаты конца К сварочного электрода задаются тройкой чисел (r, θ, φ) (рис. 6), углы измеряются в градусах, расстояние в метрах. В начальный момент электрод находился в точке 1 с координатами $(\sqrt{2}, 45^\circ, 90^\circ)$. В следующий момент времени рабочий орган робота переместился по прямой в точку 2 с координатами $(\sqrt{5}, 63.44^\circ, 90^\circ)$. Далее робот последовательно по прямой перемещался в точки 3, 4, 5, 6, 7, 8 с координатами соответственно:

$3(\sqrt{8}, 45^\circ, 90^\circ)$; $4(\sqrt{5}, 26.62^\circ, 90^\circ)$; $5(\sqrt{14}, 57.72^\circ, 18.42^\circ)$; $6(\sqrt{17}, 60.99^\circ, 33.66^\circ)$; $7(\sqrt{14}, 74.51^\circ, 33.66^\circ)$; $8(\sqrt{11}, 72.45^\circ, 18.42^\circ)$.

Определить объем фигуры (м³), образованной точками 1,2,3,4,5,6,7,8.

Решение.

Объем удобнее определять в декартовых координатах. Декартовы координаты точек 1–8 соответственно равны:

$$x_1 = r \sin \theta \cos \varphi = \sqrt{2} \sin(45^\circ) \cos(90^\circ) = 0;$$

$$y_1 = r \sin \theta \sin \varphi = \sqrt{2} \sin(45^\circ) \sin(90^\circ) = 1;$$

$$z_1 = r \cos \theta = \sqrt{2} \cos(45^\circ) = 1;$$

$$x_2 = r \sin \theta \cos \varphi = \sqrt{5} \sin(63,44^\circ) \cos(90^\circ) \approx 0;$$

$$y_2 = r \sin \theta \sin \varphi = \sqrt{5} \sin(63,44^\circ) \sin(90^\circ) \approx 2;$$

$$z_2 = r \cos \theta = \sqrt{5} \cos(63,44^\circ) \approx 1;$$

$$x_3 = r \sin \theta \cos \varphi = \sqrt{8} \sin(45^\circ) \cos(90^\circ) \approx 0;$$

$$y_3 = r \sin \theta \sin \varphi = \sqrt{8} \sin(45^\circ) \sin(90^\circ) \approx 2;$$

$$z_3 = r \cos \theta = \sqrt{8} \cos(45^\circ) \approx 2;$$

$$x_4 = r \sin \theta \cos \varphi = \sqrt{5} \sin(26,62^\circ) \cos(90^\circ) \approx 0;$$

$$y_4 = r \sin \theta \sin \varphi = \sqrt{5} \sin(26,62^\circ) \sin(90^\circ) \approx 1;$$

$$z_4 = r \cos \theta = \sqrt{5} \cos(26,62^\circ) \approx 2;$$

$$x_5 = r \sin \theta \cos \varphi = \sqrt{14} \sin(57,72^\circ) \cos(18,42^\circ) \approx 3;$$

$$y_5 = r \sin \theta \sin \varphi = \sqrt{14} \sin(57,72^\circ) \sin(18,42^\circ) \approx 1;$$

$$z_5 = r \cos \theta = \sqrt{14} \cos(57,72^\circ) \approx 2;$$

$$x_6 = r \sin \theta \cos \varphi = \sqrt{17} \sin(60,99^\circ) \cos(33,66^\circ) \approx 3;$$

$$y_6 = r \sin \theta \sin \varphi = \sqrt{17} \sin(60,99^\circ) \sin(33,66^\circ) \approx 2;$$

$$z_6 = r \cos \theta = \sqrt{17} \cos(60,99^\circ) \approx 2;$$

$$x_7 = r \sin \theta \cos \varphi = \sqrt{14} \sin(74,51^\circ) \cos(33,66^\circ) \approx 3;$$

$$y_7 = r \sin \theta \sin \varphi = \sqrt{14} \sin(74,51^\circ) \sin(33,66^\circ) \approx 2;$$

$$z_7 = r \cos \theta = \sqrt{14} \cos(74,51^\circ) \approx 1;$$

$$x_8 = r \sin \theta \cos \varphi = \sqrt{11} \sin(74,51^\circ) \cos(33,66^\circ) \approx 3;$$

$$y_8 = r \sin \theta \sin \varphi = \sqrt{11} \sin(74,51^\circ) \sin(33,66^\circ) \approx 2;$$

$$z_8 = r \cos \theta = \sqrt{11} \cos(74,51^\circ) \approx 1;$$

Из анализа декартовых координат видно, что точки 1–8 являются вершинами параллелепипеда с длиной сторонам соответственно 3, 1, 1 м. Объем фигуры равен 3 м^3 .

Ответ: 3 м^3 .

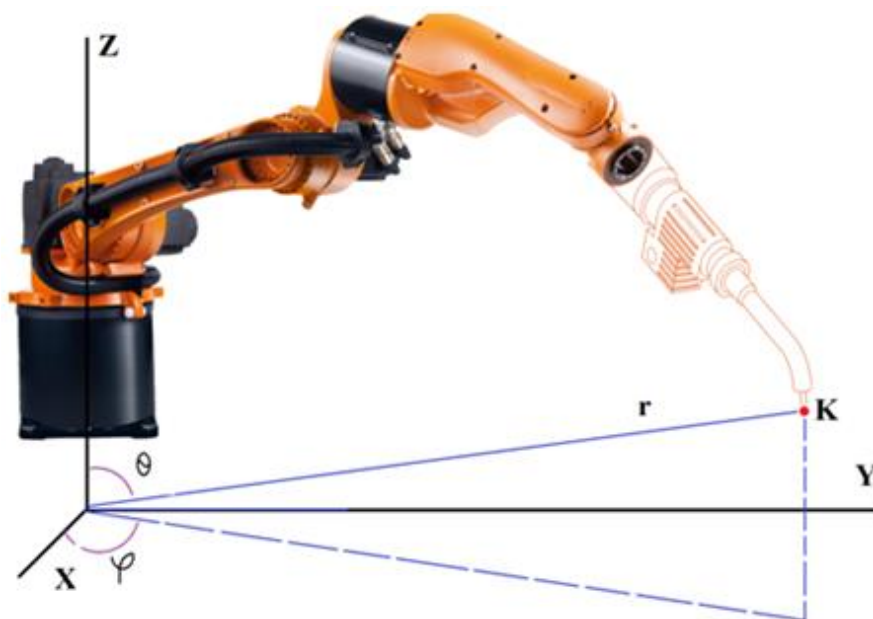


Рис. 4

Задача № 4

Для обработки детали привода КИМ на фрезерном обрабатывающем центре возникла задача закрепления призматической заготовки. Для закрепления используется устройство, состоящее из рычага и механизма, показанного на рис. 3. Заготовка (1) прижимается к опоре (2) с помощью рычага (3), который шарнирно связан с плунжером (4). Плунжер подпирается клином (6). Угол клина $\alpha = 15^\circ$. Плунжер и клин опираются о корпус (5). Длины плеч рычага $L_1 = 100$ мм и $L_2 = 300$ мм. Коэффициент трения между клином и корпусом равен $f_1 = 0,1$; коэффициент трения между плунжером и корпусом равен $f_2 = 0,15$; коэффициент трения между клином и плунжером равен $f_3 = 0,2$. Определить силу зажима действующую на заготовку W , если известно, что сила привода равна $Q = 200$ Н. КПД (коэффициент полезного действия) рычага $\eta_1 = 0,95$; КПД механизма $\eta_2 = 0,54$.

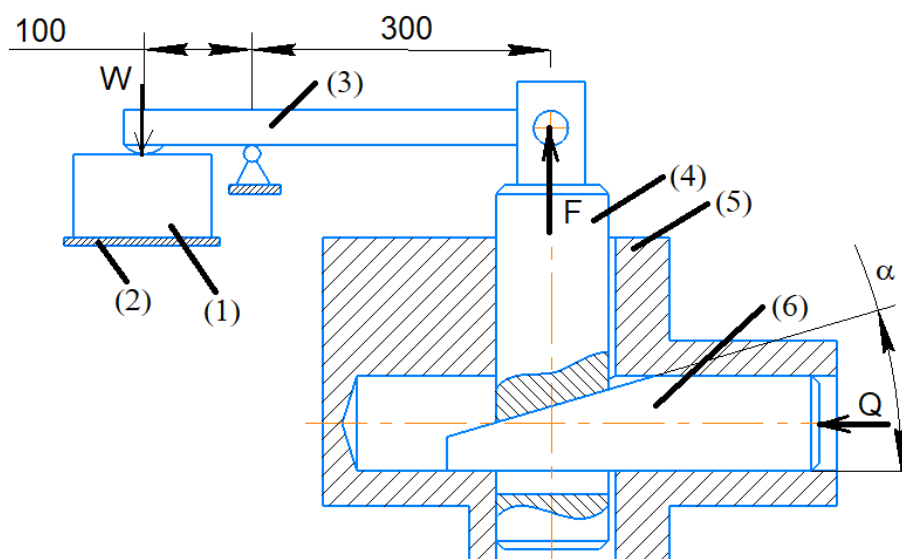


Рис. 5

Решение.

Расчетная схема на рис. 6.

Углы трения равны:

$$\varphi_1 = \arctg(f_1) = \arctg(0,1) = 5,71^\circ;$$

$$\varphi_2 = \arctg(f_2) = \arctg(0,2) = 11,3^\circ;$$

$$\varphi_3 = \arctg(f_3) = \arctg(0,15) = 8,53^\circ;$$

Из рассмотрения равновесия клина в проекции на ось X следует $F_1 = \frac{Q}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_3) + \operatorname{tg} \varphi_1}$.

Из равновесия плунжера следует: $F = F_1 - F_2$.

$$F_2 = N \cdot \operatorname{tg} \varphi_2; N = F_1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) = \frac{Q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1)}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_3) + \operatorname{tg} \varphi_1}.$$

$$F = \frac{Q(1 - \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_2)}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_3) + \operatorname{tg} \varphi_1} \cdot \eta_2 = \frac{200(1 - \operatorname{tg}(15^\circ + 5,71^\circ) \operatorname{tg}(11,3^\circ))}{\operatorname{tg}(15^\circ + 8,53^\circ) + \operatorname{tg}(5,71^\circ)} \cdot 0,54 = 543,5 \cdot 0,54 = 293,5 \text{ Н.}$$

$$W = F \cdot \frac{L_2}{L_1} \eta_1 = 293,5 \cdot 3 \cdot 0,95 \approx 836,5 \text{ Н.}$$

Ответ: 836,5 Н.

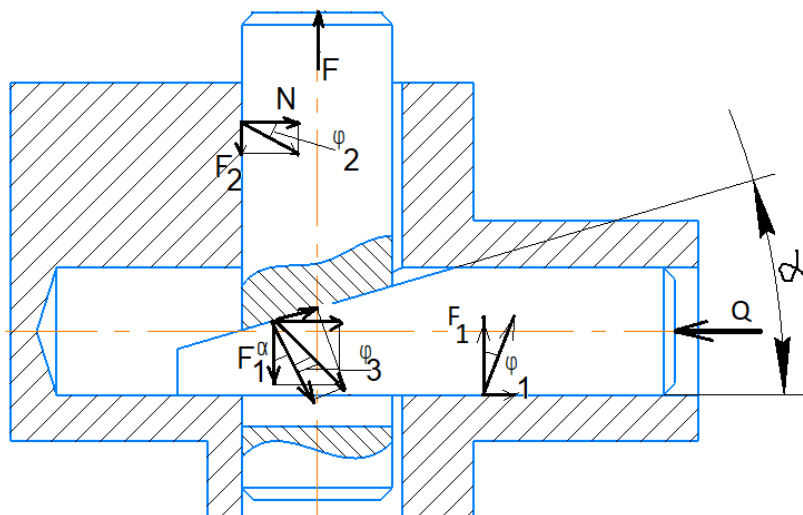


Рис. 6

Задача № 5

На участке обработки деталей для КИМ, где работает выпускник, возникла проблема отказа конструктивных элементов режущего инструмента (рис 7). Высокие механические напряжения служили причиной разрушения режущей пластины токарного проходного резца, так как момент затяжки винта был чрезмерным. Сменная многогранная пластина токарного проходного резца (1) крепится в державке резца с помощью прижима (3), который затягивается винтом (4). Упрощенная расчетная схема представлена на рис. 8. На пластину действует сила резания P_1 . Требуется определить минимальную силу закрепления P_2 , действующую со стороны прижима на пластину, если известна сила резания $P_1 = 500$ Н, а размеры плеч приложенных сил относительно точек А и В равны:

$$1 \quad a = 1,9 \text{ мм};$$

- 2 $b = 3,8$ мм;
- 3 $c = 2,7$ мм;
- 4 $d = 3,8$ мм;
- 5 $e = 10,3$ мм.

Коэффициент трения между пластиной и державкой равен $f = 0,16$. Трение между прижимом и пластиной не учитывать.



Рис. 7

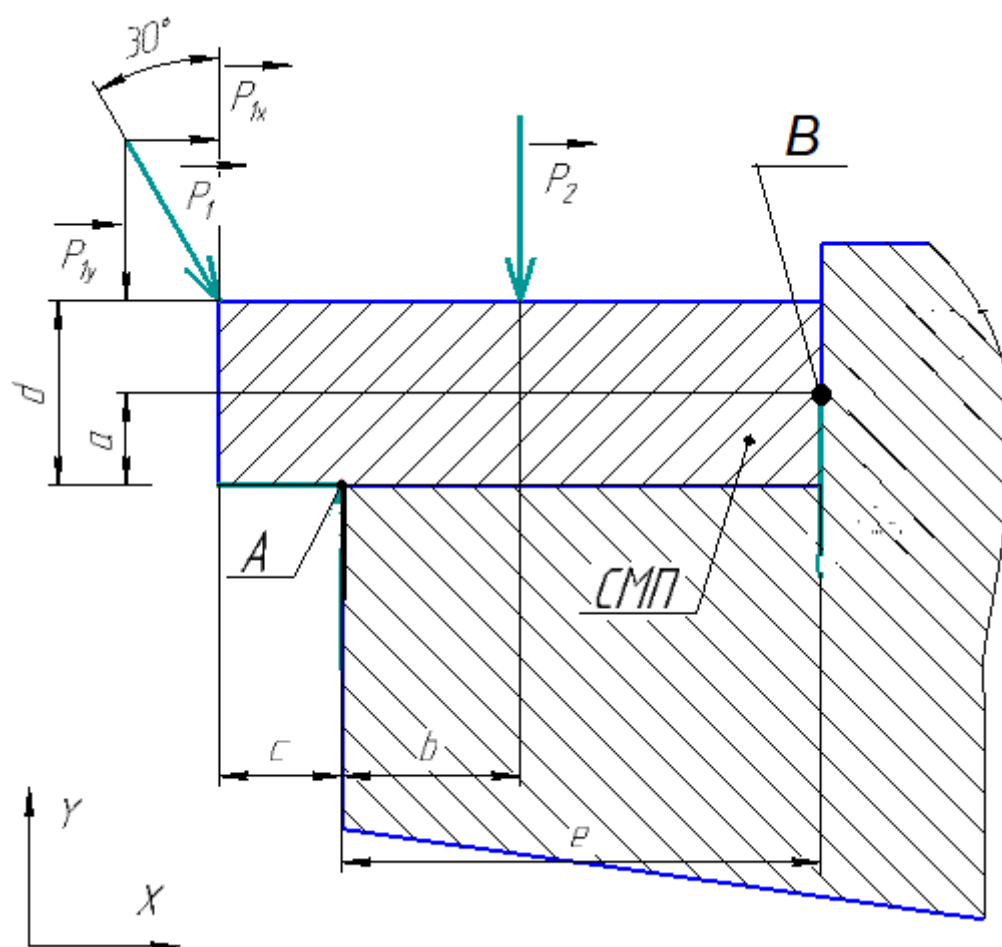
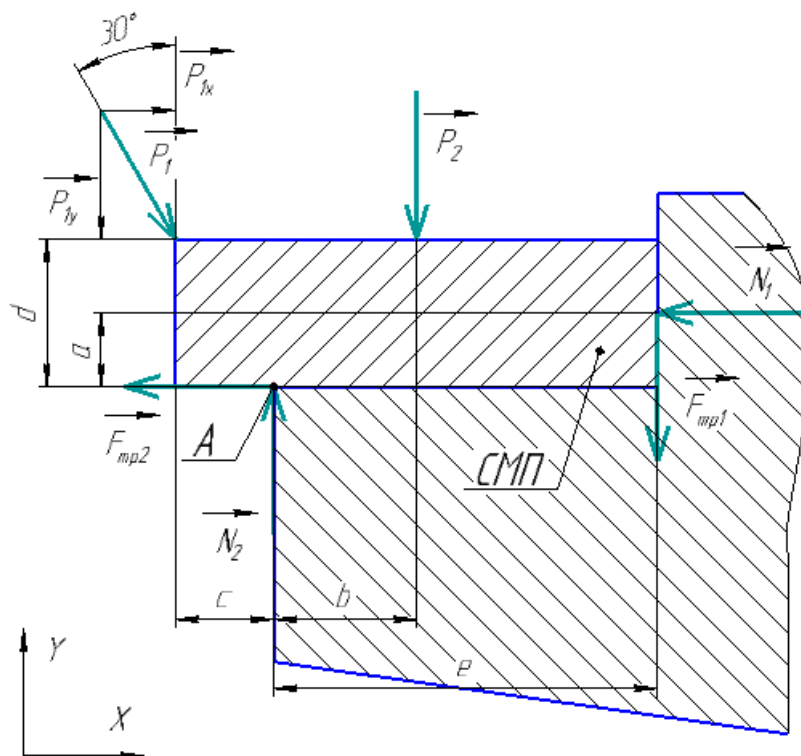


Рис. 8

Решение.

Минимальной силой закрепления будет та сила, при которой конструкция будет находиться в статическом равновесии (без коэффициента запаса). Плечи действия сил известны из конструктивных параметров узла установки СМП, величина и направление сил резания определяется исходя из параметров обработки.



P_1 – сила резания; P_2 – сила закрепления;
 N_1, N_2 – сила реакции опоры в месте контакта СМП с гнездом державки;
 a, b, c, d, e – размеры плеч приложенных сил;
 $F_{тр1}, F_{тр2}$ – сила трения

Рис. 9

Из условия статического равновесия (сумма проекций всех сил на ось X и Y , а также сумма моментов всех сил равны нулю) составим уравнения (рис. 9):

$$\begin{cases} \sum F_x = P_1 \sin(30^\circ) - N_1 - F_{тр2} = 0 \\ \sum F_y = -P_1 \cos(30^\circ) - P_2 + N_2 - F_{тр1} = 0 \\ \sum M_A = P_1 \cos(30^\circ) c - P_1 \sin(30^\circ) d - P_2 b + N_1 a - F_{тр1} e = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Необходимо найти три переменные:

- 1 P_2 – сила закрепления СМП;
- 2 N_1, N_2 – силы реакции опоры в месте контакта СМП с гнездом державки.

Сила трения определяется по формуле:

$$F_{\text{тр}} = fN, \quad (2)$$

где f – коэффициент трения покоя.

Преобразуем формулу (1) и выразим переменные P_2 , N_1 , N_2 :

$$N_1 = P_1 \sin(30^\circ) - fN_2 \quad (3)$$

$$N_2 = P_1 \cos(30^\circ) + P_2 + fN_1 \quad (4)$$

$$P_2 = \frac{(P_1 \cos(30^\circ) c - P_1 \sin(30^\circ) d + N_1 a - f N_1 e)}{b} \quad (5)$$

Подставим (3) и (5) в уравнение (4):

$$N_2 = P_1 \cos(30^\circ) + \frac{(P_1 \cos(30^\circ) c - P_1 \sin(30^\circ) d + P_1 \sin(30^\circ) a - f N_2 a - f e P_1 \sin(30^\circ) + f^2 N_2 e)}{b} +$$

$$f P_1 \sin(30^\circ) - f^2 N_2 \quad (6)$$

Преобразуем уравнение (6):

$$N_2 = \frac{P_1 (b \cos(30^\circ) + \cos(30^\circ) c - \sin(30^\circ) d + \sin(30^\circ) a - f e \sin(30^\circ) + b f \sin(30^\circ))}{(1 + f a - f^2 e + b f^2)} \quad (7)$$

Таким образом, система уравнений статического равновесия принимает вид:

$$\begin{cases} N_1 = P_1 \sin(30^\circ) - f N_2 \\ N_2 = \frac{P_1 (b \cos(30^\circ) + \cos(30^\circ) c - \sin(30^\circ) d + \sin(30^\circ) a - f e \sin(30^\circ) + b f \sin(30^\circ))}{(1 + f a - f^2 e + b f^2)} \\ P_2 = \frac{(P_1 \cos(30^\circ) c - P_1 \sin(30^\circ) d + N_1 a - f N_1 e)}{b} \end{cases} \quad (8)$$

Размеры плеч приложенных сил равны:

$$1 \quad a = 1,9 \text{ мм} = 0,0019 \text{ м};$$

$$2 \quad b = 3,8 \text{ мм} = 0,0038 \text{ м};$$

$$3 \quad c = 2,7 \text{ мм} = 0,0027 \text{ м};$$

$$4 \quad d = 3,8 \text{ мм} = 0,0038 \text{ м};$$

$$5 \quad e = 10,3 \text{ мм} = 0,0103 \text{ м}.$$

Коэффициент трения покоя f равен 0,16.

Зададим силу резания $P_1 = 500$ Н и рассчитаем N_2 , N_1 и P_2 , по формуле (8).

$$N_2 = \frac{P_1(b \cos(30^\circ) + \cos(30^\circ)c - \sin(30^\circ)d + \sin(30^\circ)a - fe \sin(30^\circ) + bf \sin(30^\circ))}{(1 + fa - f^2e + bf^2)}$$

$$= \frac{500 \cdot (0,0038 \cdot 0,87 + 0,87 \cdot 0,0027 - 0,5 \cdot 0,0038 + 0,5 \cdot 0,0019 - 0,16 \cdot 0,0103 \cdot 0,5 + 0,0038 \cdot 0,16 \cdot 0,5)}{(1 + 0,16 \cdot 0,0019 - 0,16^2 \cdot 0,0103 + 0,0038 \cdot 0,16^2)}$$

$$= 2,1 \text{ Н}$$

$$N_1 = P_1 \sin(30^\circ) - fN_2 = 500 \cdot 0,5 - 0,16 \cdot 2,1 = 249,664 \text{ Н.}$$

$$P_2 = \frac{(P_1 \cos(30^\circ)c - P_1 \sin(30^\circ)d + N_1 a - fN_1 e)}{b} =$$

$$\frac{(500 \cdot 0,87 \cdot 0,0027 - 500 \cdot 0,5 \cdot 0,0038 + 249,664 \cdot 0,0019 - 0,16 \cdot 249,664 \cdot 0,0103)}{0,0038} = 75,73 \text{ Н.}$$

Ответ: 75,73 Н.