



Задания, ответы и критерии оценивания

Выпускник университета решил организовать собственное малое инновационное предприятие. Взяв кредит в банке, он купил киберфизическую производственную систему для изготовления домашнего гоночного авто- и авиасимулятора с кабиной пилота на динамической платформе, представленной на рисунке 1. Такая платформа, содержит неподвижную раму (1), приводы (2) и подвижную раму (3), шарнирно соединенную с неподвижной рамой посредством шести динамически управляемых опор в виде цилиндров (4). На подвижной раме закреплена кабина симулятора (5). В цехе предприятия было установлено следующее оборудование: токарный и фрезерный обрабатывающие центры с компьютерным управлением и робот-манипулятор. В процессе изготовления различных деталей молодой инженер столкнулся с рядом производственных задач, представленных ниже.

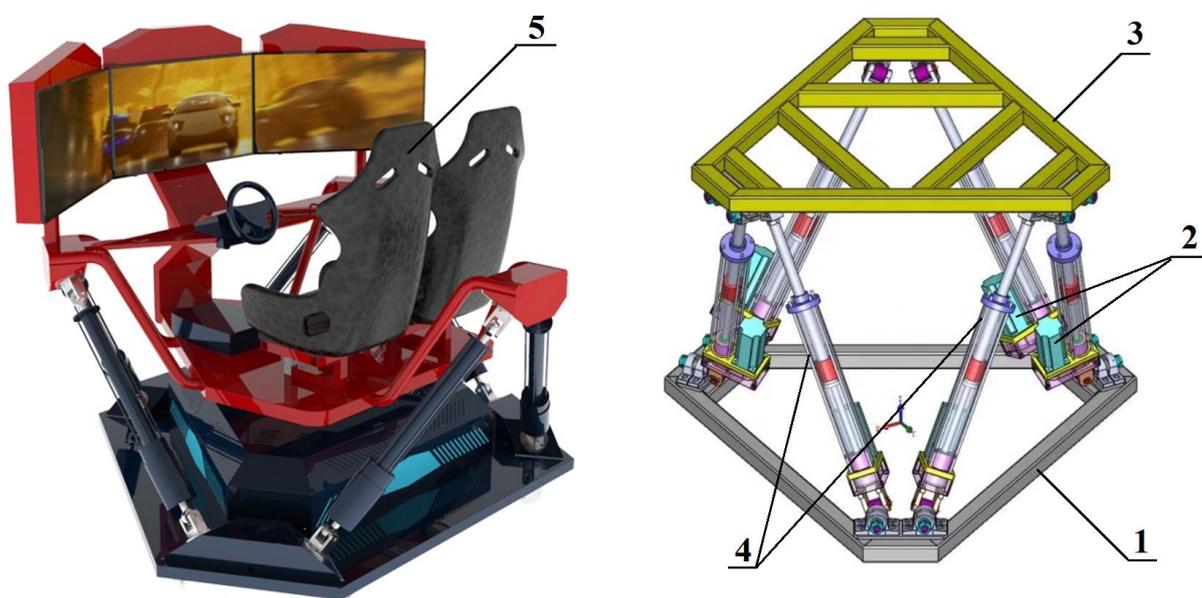


Рис. 1

Задача № 1 (5 баллов)

На токарном обрабатывающем центре возникла задача надежного закрепления в его патроне обрабатываемой цилиндрической детали от управляемой опоры симулятора (рис. 2). Патрон – это вращаемое станком приспособление цилиндрической формы (1) для закрепления обрабатываемой заготовки (3) тремя кулачками (2). Чтобы кулачки не деформировали больше заданной величины трубчатую заготовку к ней от каждого такого кулачка должно быть приложено радиальное усилие $F=2$ кН. Однако при высокой частоте вращения патрона на кулачки действует центробежная сила. Определить, какое должно быть радиальное воздействие от механического привода патрона на кулачок $F_{п}$, если известно, что масса такого кулачка равна $M=1$ кг, центр его массы при зажиме данной заготовки расположен на расстоянии $R=0,1$ м от оси вращения патрона, который при этом вращается с частотой $n=1000$ об/мин.

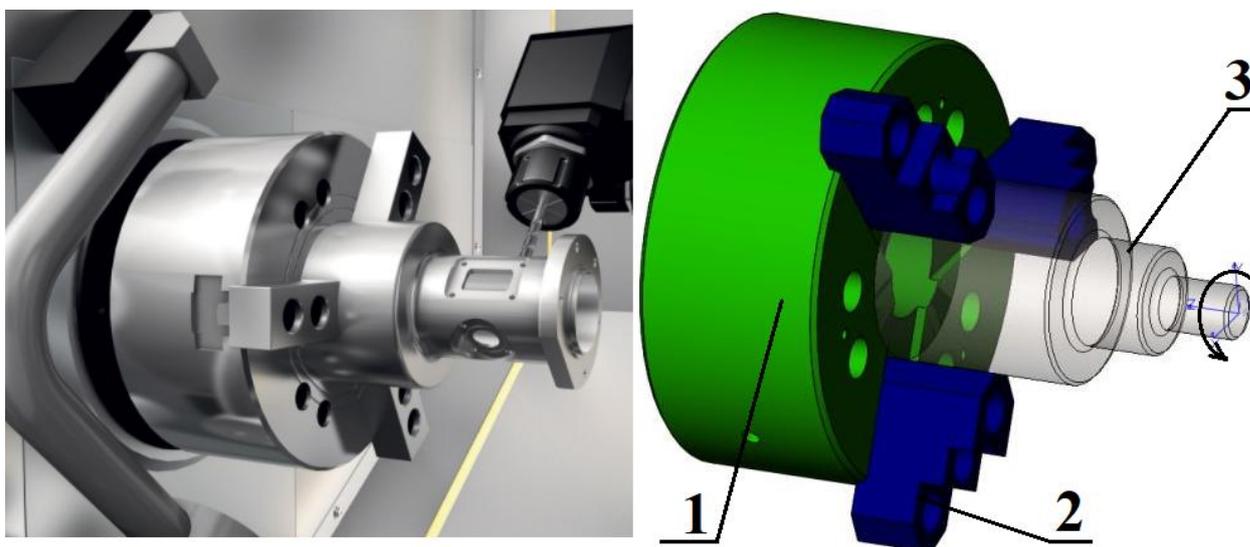


Рис. 2

Решение. Кулачки совершают круговое вращение с постоянной угловой скоростью. Данное движение является ускоренным, поэтому на кулачки действует центробежная сила, равная по модулю и противоположная по направлению центростремительной силе: $F=mR\omega^2$, где R -радиус, м; m -масса кулачков, кг; ω -угловая скорость, рад/с. Центробежная сила равна $F=1*0,1*(2*\pi*10^3/60)^2=1096,2 \approx 1100$ Н. Чтобы на кулачке оставалось усилие 2 кН, от привода патрона на данный кулачок должно быть радиальное усилие $F_{п}=2000+1100=3100$ Н.

Ответ: 3100 Н.

Задача № 2 (10 баллов)

Для обработки на токарном станке тонкостенной цилиндрической детали от управляемой опоры используется жесткая цилиндрическая оправка (3). Заготовка (1) опоры насаживается на эту оправку с зазором и вращается вместе с ней в патроне токарного станка. Заготовка прижимается к торцу оправки с помощью прижимной гайки (2) (рис. 3). На заготовку диаметром $D=52$ мм во время обработки от резца (4) действует тангенциальная сила $P_z=1000$ Н. Необходимо определить минимально достаточную силу прижима F гайки (без учета коэффициента запаса) при следующих исходных данных: наружный радиус левого опорного торца оправки и гайки $R=25$ мм, внутренний радиус заготовки $r=15$ мм, коэффициент трения между заготовкой и торцом оправки $f_1=0,5$, коэффициент трения между торцом заготовки и гайкой $f_2=0,3$. Трением на цилиндрических поверхностях пренебречь.

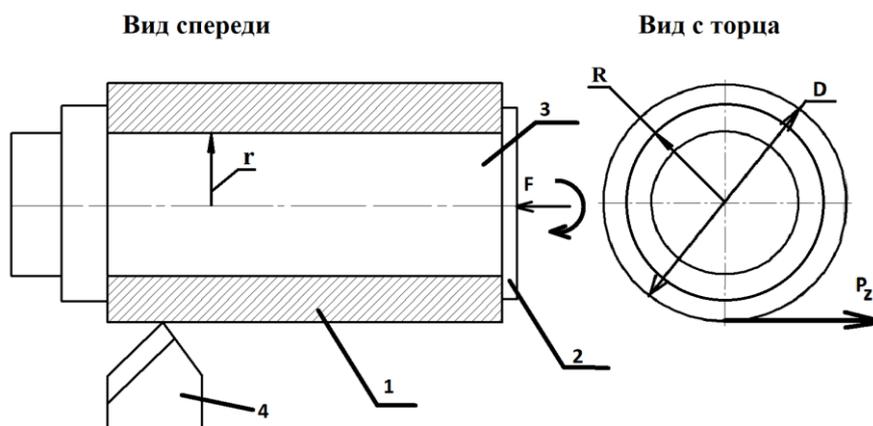


Рис. 3

Решение: для определения силы прижима F достаточно воспользоваться уравнением моментов – момент силы P_z должен быть уравновешен моментами сил трения заготовки о торец оправки и гайку: $M_1=M_2$. Поскольку в условии задачи ничего не сказано про характер контакта и распределения сил от гайки и торца оправки на заготовку, то с учетом, что контакт происходит по узкой полосе $R-r=25-15=10$ мм, то обоснованно будет предположение, что итоговую силу трения можно приложить на окружности радиусом $r+(R-r)/2=(r+R)/2=20$ мм.

Тогда: $P_z \cdot D/2 = F \cdot f_1 \cdot (R+r)/2 + F \cdot f_2 \cdot (R+r)/2$, отсюда находим F

$$F = \frac{0,5 P_z D}{(f_1 + f_2) \left[\frac{R+r}{2} \right]} = \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 0,052}{(0,5 + 0,3) \left[\frac{0,025 + 0,015}{2} \right]} = 1625 \text{ Н.}$$

Ответ: 1625 Н.

Задача № 3 (25 баллов)

Для обработки цилиндрической детали опоры симулятора на фрезерном обрабатывающем центре ее заготовка (1) крепится в специальном зажимном устройстве с пневматическим приводом (3). Известно, что для надежного удержания заготовки при обработке требуется усилие зажима $F=25$ кН. Зажим заготовки осуществляется путем ее прижима с помощью рычага (2) к призматической опоре (4). Рычаг приводится в движение с помощью пневматического цилиндра круглого сечения, имеющего шток (5) и поршень (6). Сжатый воздух подается только в бесштоковую полость (7). Длины плеч рычага $A=150$ мм и $B=300$ мм показаны на рис. 4. Требуется определить диаметр поршня пневмоцилиндра D , необходимый для развития усилия на штоке Q , если известно, что давление воздуха в пневмоцилиндре составляет $p=6$ МПа.

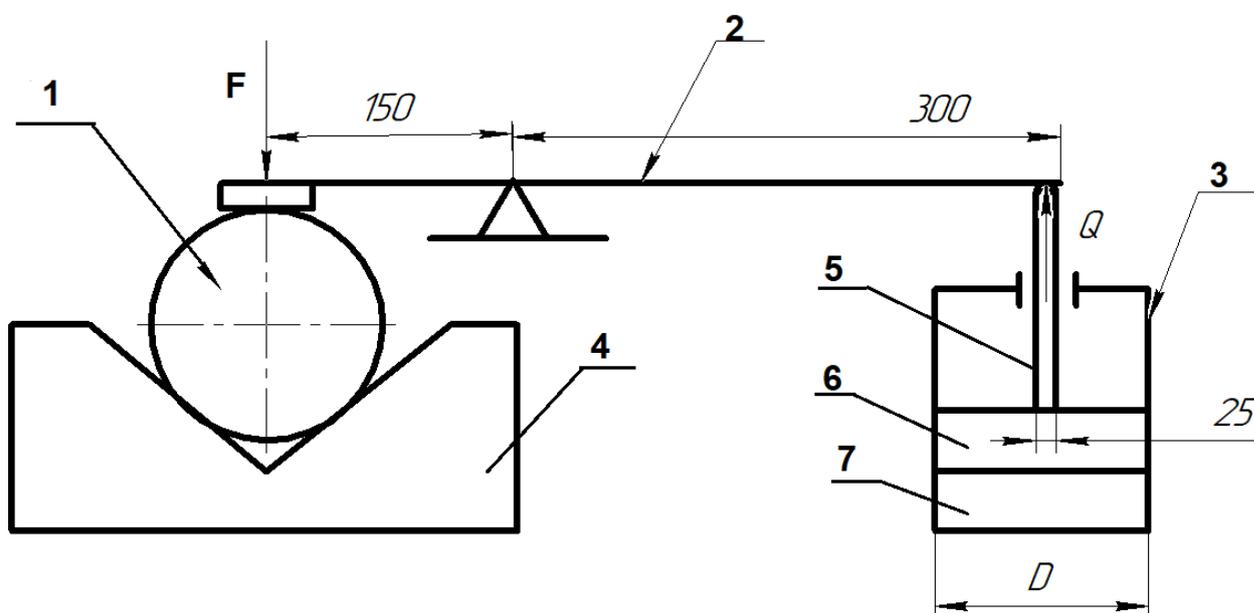


Рис. 4.

Решение: 1) сначала необходимо определить усилие на штоке, воспользуемся для этого правилом рычага: $F \cdot A = Q \cdot B$ или $25000 \cdot 0,15 = Q \cdot 0,3$. Отсюда находим Q : $Q = (W \cdot L_1) / L_2 = (25000 \cdot 0,15) / 0,3 = 12500$ Н. Далее определим диаметр цилиндра. Для этого воспользуемся определением давления (сила на штоке Q деленная на площадь поршня в цилиндре): $p = Q / S = Q / ((\pi \cdot D^2) / 4)$. Выразим искомый диаметр цилиндра:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{p\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 12500}{6 \cdot 1000000 \cdot 3,14}} = 0,052 \text{ м.}$$

Ответ: 0,052 м.

Задача № 4 (30 баллов)

Для сваривания неподвижной и подвижной рам симулятора применяется робот-манипулятор. Данный робот работает в сферической системе координат, это значит, что координаты конца К сварочного электрода задаются тройкой чисел (r, φ, θ) (рис. 5), углы измеряются в градусах, расстояние в метрах. В начальный момент электрод находился в точке 1 с координатами $(1, 45^\circ, 45^\circ)$. В следующий момент времени рабочий орган робота переместился прямой в точку 2 с координатами $(1, 30^\circ, 60^\circ)$. Определить расстояние, на которое переместился конец К электрода при его движении из точки 1 в точку 2.

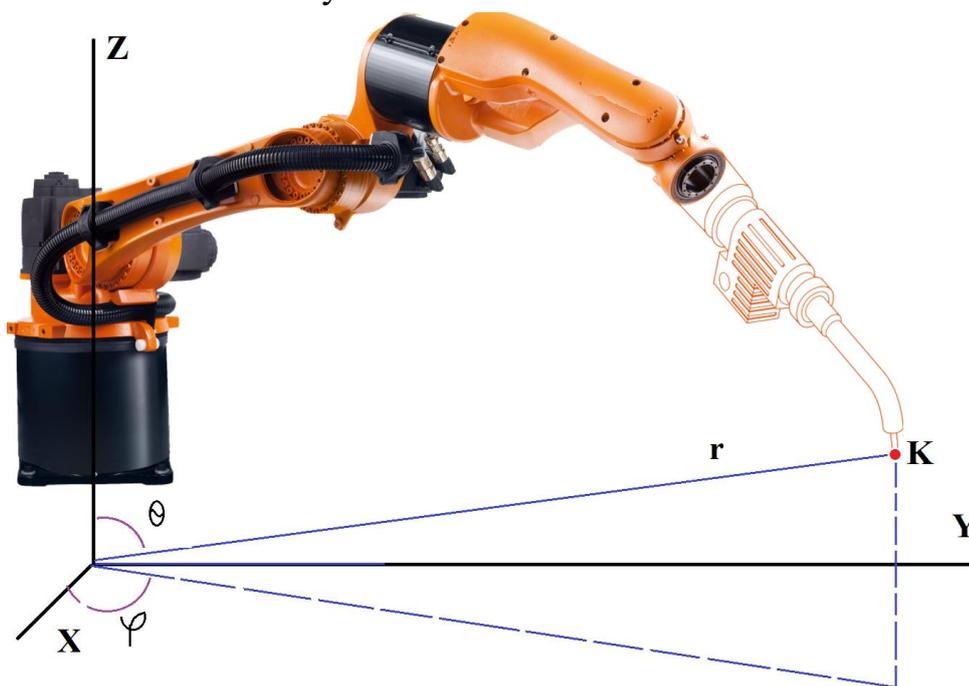


Рис. 5

Решение: Перейдем в декартову систему координат и определим декартовы координаты точки 1:

$$x_1 = r \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\varphi) = 1 \cdot \sin(45^\circ) \cdot \cos(45^\circ) = 1 \cdot 0,7 \cdot 0,7 = 0,49 \text{ м};$$

$$y_1 = r \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) = 1 \cdot 0,7 \cdot 0,7 = 0,49 \text{ м};$$

$$z_1 = r \cdot \cos(\theta) = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}.$$

Аналогично находим координаты точки 2:

$$x_2 = r \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\varphi) = 1 \cdot \sin(60^\circ) \cdot \cos(30^\circ) = 1 \cdot 0,87 \cdot 0,87 = 0,76 \text{ м};$$

$$y_2 = r \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) = 1 \cdot \sin(60^\circ) \cdot \sin(30^\circ) = 1 \cdot 0,87 \cdot 0,5 = 0,43 \text{ м};$$

$$z_2 = r \cdot \cos(\theta) = 1 \cdot \cos(60^\circ) = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ м}.$$

Найдем расстояние между двумя точками в декартовой системе координат по формуле:

$$s = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}.$$

$$s = \sqrt{(0,76 - 0,49)^2 + (0,43 - 0,49)^2 + (0,5 - 0,7)^2} = 0,34 \text{ м}.$$

Ответ: 0,34 м.

Задача № 5 (30 баллов)

Для обработки на фрезерном обрабатывающем центре опоры привода симулятора ее заготовка устанавливается на столе приспособления (рис. 6). Заготовка в виде прямоугольного параллелепипеда опирается на три точечные базирующие опоры стола в горизонтальной плоскости А (точки 1, 2, 3) и одну боковую базирующую опору (4). На заготовку от фрезы действует сила резания $P=1000$ Н, стремящаяся повернуть эту заготовку вокруг опоры (4). Угол между вектором силы P и вертикальной плоскостью заготовки равен $\alpha=20^\circ$. Для исключения перемещения заготовки ее сверху вниз прижимает опора от дополнительного рычага приспособления. Определить место приложения (расстояния X и Y в системе координат XOY , показанной на виде сверху) и величину силы F прижимной опоры. Известно, что коэффициент трения прижимной опоры о поверхность заготовки равен $f_1=0,1$. Коэффициент трения базирующих опор 1, 2, 3 о поверхность детали равен $f_2=0,2$.

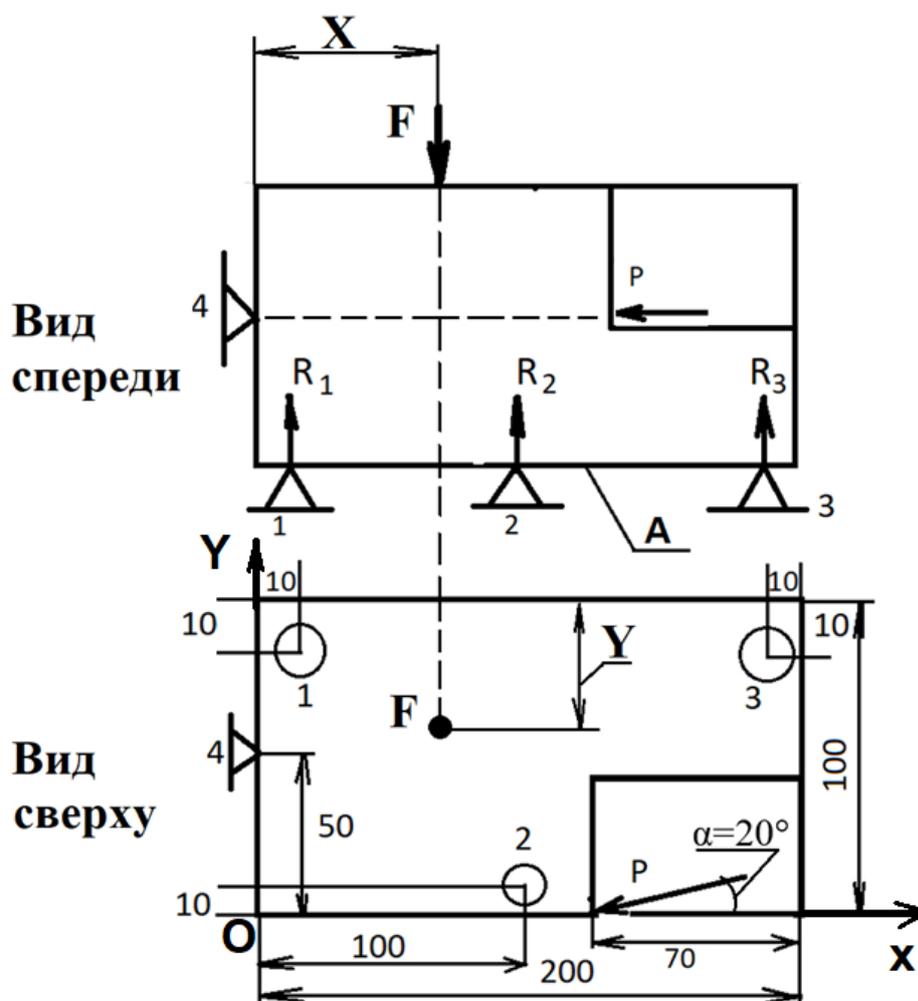


Рис. 6

Решение. При действии момента M силы P заготовка может проворачиваться на базовой плоскости A . Для решения задачи необходимо записать уравнение моментов. Для определения плеч сил необходимо составить расчетную схему (рис. 7). Сила прижима F действует на плече L_0 . Сила трения F_1 в опоре 1 действует на плече L_1 , сила трения в опоре 2 действует на плече L_2 , сила трения в опоре 3 действует на плече L_3 , сила P действует на плече L . Определим величины плеч исходя из размеров заготовки и координат опор. Определим длину плеча L действия силы P . Длина плеча $AC=AB+BC$. Треугольники BCE и ABD – прямоугольные. Угол $ABD=70^\circ$. Отсюда $AB=AD/\sin(70^\circ)=50/0,94=53,2$. $BC=BE*\sin(20^\circ)=130*0,34=44,2$. Отсюда $L=53,2+44,2=97,4$ мм.

Далее определим длину плеча силы F_1 . Из расчетной схемы получаем $L_1 = \sqrt{40^2 + 10^2} = 41,2$ мм. Определим L_2 , $L_2 = \sqrt{40^2 + 100^2}=107,7$ мм. Определим L_3 , $L_3 = \sqrt{40^2 + 190^2} = 194,2$ мм.

Запишем уравнение моментов (без коэффициента запаса):

$$P*L=F*f_1*L_0+F*f_2*(a*L_1+b*L_2+c*L_3),$$

где a,b,c – коэффициенты показывающие доли силы F , соответствующие реакциям R_1, R_2, R_3 опор 1, 2, 3.

Сумма коэффициентов a,b,c равна 1. При расположении точки приложения силы F в центре тяжести треугольника опор O , $a=b=c=1/3$, а реакции опор $R_1=R_2=R_3=F/3$. Центр тяжести треугольника опор лежит на пересечении его медиан. Треугольник опор равнобедренный, его высота равна $h=80$ мм. Высота совпадает с медианой основания. Рассмотрим прямоугольный треугольник AOM . Центр тяжести лежит на высоте, на расстоянии $1/3$ от основания. Рассмотрим прямоугольный треугольник AOM , в нем $OM=MF-OF=40-1/3*h=13,3$ мм, отсюда $AO=L_0 = \sqrt{100^2 + 13,3^2} = 100,9$ мм. (рис. 7). Координаты точки приложения силы зажима равны: $X=100$ мм, $Y=50+OM=50+13,3=63,3$ мм.

Сила прижима заготовки равна:

$$F = \frac{PL}{f_1 L_0 + f_2 \cdot \frac{1}{3} (L_1 + L_2 + L_3)} = \frac{1000 \cdot 97,4}{0,1 \cdot 100,9 + 0,2 \cdot \frac{1}{3} \cdot (41,2 + 107,7 + 194,2)} = 2955,1 \text{ Н.}$$

Ответ: сила должна быть приложена в центре тяжести треугольника опор (123) $X=100$ мм $Y=63,3$ мм и равняться 2955,1 Н.

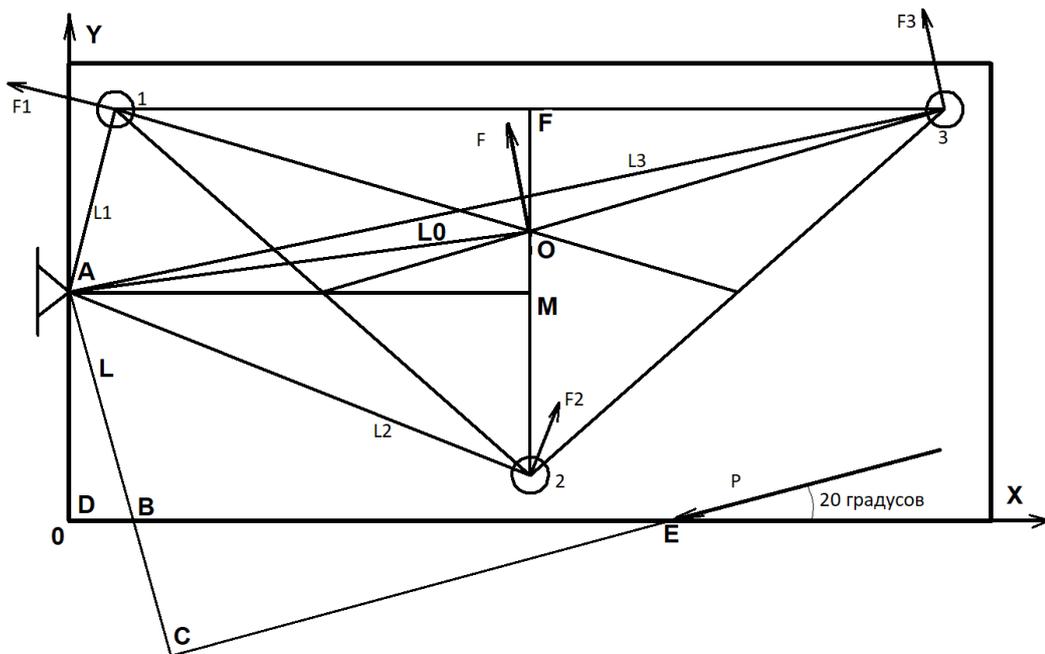


Рис. 7.

**Методика определения баллов за решение задач олимпиады «Звезда»
(технический профиль)**

<i>Номер критерия (жюри указывает рядом с оценкой)</i>	<i>Проценты (коэффициент) на максимальные баллы по задачам</i>	<i>Краткое формулирование правильности или ошибочности решений</i>	<i>Подробное пояснение критериев (комментарии, объяснения)</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	100% (1.0)	Полное верное решение	<p>Приведено полное решение задачи, включающее следующие элементы:</p> <p>а) кратко описано и прокомментировано условие задачи, записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом, в случае необходимости приведены расчетные схемы со всеми необходимыми обозначениями и пояснения к схемам;</p> <p>б) описаны все вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений, используемых в условии задачи и основных констант; описание физических величин, встречающихся в задачах, может производиться с помощью математических соотношений, текстуально или с помощью рисунков);</p> <p>в) проведены все необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу;</p> <p>г) представлен правильный ответ в общем виде и в численном значении с указанием единиц измерения искомой величины.</p>
2	90% (0.9)	Верное решение. Имеются небольшие недочеты, в целом не влияющие на решение.	<p>Все решения удовлетворяет критерию 1, но имеются незначительные неточности, помарки, плохо читаемые символы и отдельные слова, которые могут трактоваться в пользу участника олимпиады. НЕ все вводимые в решении буквенные обозначения физических величин даются с пояснениями. НЕ все необходимые для решения задачи обозначения приведены на расчетной схеме.</p>
3	60...80% (0.6...0.8)	Решение в целом верное, однако содержит существенные ошибки (не физические, а математические)	<p>Все решения удовлетворяет критерию 1, но в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.</p>

4	30...50% (0.3...0.5)	Есть понимание физики явления, но не найдено одно из необходимых для решения уравнений, в результате полученная система уравнений неполна и невозможно найти решение.	<p>а) Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием и без пояснений преобразований, направленных на решение задачи, и ответа.</p> <p>Или</p> <p>б) В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимых для решения задачи (или отсутствует необходимое утверждение, лежащее в основе решения задачи), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p>Или</p> <p>в) В решении отсутствует необходимая со всеми необходимыми обозначениями расчетная схема и пояснения к ней, без которой решение принципиально невозможно.</p> <p>Или</p> <p>г) В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>
5	10-20% (0.1...0.2)	Есть отдельные уравнения, относящиеся к сути задачи, при отсутствии решения (или при ошибочном решении)	Доказаны вспомогательные утверждения, помогающие в решении задачи. Рассмотрены отдельные важные случаи при отсутствии решения (или при ошибочном решении). Сделана необходимая расчетная схема. Приведен правильный ответ без описания, как он получен.
6	0 (0)	Решение неверное и отсутствуют <u>какие-либо относящиеся к решению</u> рассуждения.	Нет ответа и нет ни одного из рассуждений, относящихся к сути задачи. Рассуждения есть, но они, очевидно, даны «для заполнения страницы», они не относятся к сути задачи.

Примечания.

1. Максимальный балл за задачу нужно умножить на коэффициент второй колонки.

2. Если задача не относится к классу физических задач (например, чертежная, математическая или химическая и т.д.), то разработчики задачи должны дать соответствующие критерии (3-6 шт) как ее оценивать при частичном решении. Критерии дать на листе решений задач. Форма представления критериев должна быть аналогична вышеприведенной, чтобы на апелляции можно было четко объяснить, почему был применен тот или другой номер критерия.