

Решения заданий Олимпиады (Вариант 1)

Задача 1. Станция «Проектирование»

1. Построение видов (указания для чертежа):

- **Вид слева:** Должен представлять собой прямоугольник основания (высота 4 мм, ширина 35 мм) и прямоугольник цилиндрической бобышки над ним (высота 15 мм, ширина 25 мм). Невидимые контуры (штриховые линии) должны показывать центральное сквозное отверстие (две вертикальные штриховые линии на расстоянии 21 мм друг от друга) и крепежные отверстия в основании (штриховые линии для отверстий диаметром 4 мм).
- **Изометрия:** Эскиз должен отображать прямоугольную пластину со скруглениями (если они есть, но на чертеже острые углы), цилиндрический выступ по центру и 5 отверстий (одно большое сквозное и 4 маленьких по углам основания).

2. Расчет массы детали:

Материал — алюминий. Плотность по справочнику: $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$.

Деталь можно разбить на простые геометрические фигуры. Судя по чертежу:

- Основание: прямоугольный параллелепипед $50 \times 35 \times 4$ мм (высота 4 мм берется из размера слева).
- Бобышка: цилиндр с внешним диаметром 25 мм и высотой 15 мм (размер указан от верхней грани основания).
- Центральное отверстие: цилиндр диаметром 21 мм, проходящий насквозь через всю деталь (глубина $15 + 4 = 19$ мм).
- Крепежные отверстия: 4 цилиндра диаметром 4 мм, проходящие через основание (глубина 4 мм).

Вычисление объемов:

1. Объем основания (без вычетов):

$$V_{\text{осн}} = 50 \cdot 35 \cdot 4 = 7000 \text{ мм}^3$$

2. Объем выступающего цилиндра (бобышки):

$$V_{\text{боб}} = \pi \cdot R^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{25}{2}\right)^2 \cdot 15 = \pi \cdot 156.25 \cdot 15 \approx 7363.1 \text{ мм}^3$$

3. Объем центрального сквозного отверстия:

$$V_{\text{отв1}} = \pi \cdot r_{\text{вн}}^2 \cdot H_{\text{общ}} = \pi \cdot \left(\frac{21}{2}\right)^2 \cdot 19 = \pi \cdot 110.25 \cdot 19 \approx 6580.9 \text{ мм}^3$$

4. Объем четырех крепежных отверстий:

$$V_{\text{отв2}} = 4 \cdot (\pi \cdot r_{\text{кр}}^2 \cdot h_{\text{осн}}) = 4 \cdot (\pi \cdot 2^2 \cdot 4) = 64\pi \approx 201.1 \text{ мм}^3$$

Общий объем детали:

$$V = V_{\text{осн}} + V_{\text{боб}} - V_{\text{отв1}} - V_{\text{отв2}} = 7000 + 7363.1 - 6580.9 - 201.1 = 7581.1 \text{ мм}^3$$

Переведем в кубические метры: $V = 7.58 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$.

Масса детали:

$$m = \rho \cdot V = 2700 \cdot 7.58 \cdot 10^{-6} = 0.02047 \text{ кг} \approx 20.5 \text{ г}$$

Ответ: Масса детали составляет примерно 20.5 грамм.

Задача 2. Станция «Транспортировка»

1. Кинематика (максимальные ускорения):

На деталь вдоль ленты действуют: скатывающая сила тяжести $mg \sin \alpha$ (всегда вниз по склону) и сила трения покоя $F_{\text{тр}}$ (направлена в сторону, препятствующую проскальзыванию). Максимальная сила трения: $F_{\text{тр.max}} = \mu mg \cos \alpha$.

- **Разгон (a_{acc}):** Лента ускоряется вверх. Сила трения тянет деталь вверх. Уравнение по второму закону Ньютона: $F_{\text{тр}} - mg \sin \alpha = ma_{\text{acc}}$. Подставляем максимум трения:

$$a_{\text{acc}} = \frac{\mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha}{m} = g(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)$$

$$a_{\text{acc}} = 10 \cdot (0.4 \cdot 0.985 - 0.174) = 10 \cdot (0.394 - 0.174) = 10 \cdot 0.22 = 2.2 \text{ м/с}^2$$

- **Торможение (a_{dec}):** Лента замедляется (ускорение направлено вниз). Деталь по инерции стремится проскользнуть вверх, поэтому сила трения направлена вниз.

$$mg \sin \alpha + F_{\text{тр}} = ma_{\text{dec}}$$

$$a_{\text{dec}} = \frac{mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha}{m} = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

$$a_{\text{dec}} = 10 \cdot (0.174 + 0.4 \cdot 0.985) = 10 \cdot (0.174 + 0.394) = 10 \cdot 0.568 = 5.68 \text{ м/с}^2$$

2. Энергетика:

Так как рекуперации нет, электродвигатель тратит энергию только на совершение *положительной* механической работы (на участках разгона и равномерного движения). При торможении двигатель работает как тормоз, рассеивая энергию, потребление из сети на полезную работу равно 0. Сила тяги ленты F :

- Разгон:

$$F_1 = m(a_{acc} + g \sin \alpha) = 5 \cdot (2.2 + 10 \cdot 0.174) = 5 \cdot 3.94 = 19.7 \text{ Н}$$

Путь разгона: $S_1 = \frac{v_0^2}{2a_{acc}} = \frac{4}{2 \cdot 2.2} \approx 0.909 \text{ м}$

Работа $A_1 = F_1 \cdot S_1 = 19.7 \cdot 0.909 = 17.91 \text{ Дж}$

- Торможение: Путь $S_3 = \frac{v_0^2}{2a_{dec}} = \frac{4}{2 \cdot 5.68} \approx 0.352 \text{ м}$
- Равномерное движение: Путь

$$S_2 = L - S_1 - S_3 = 8 - 0.909 - 0.352 = 6.739 \text{ м}$$

Сила: $F_2 = mg \sin \alpha = 5 \cdot 1.74 = 8.7 \text{ Н}$

Работа $A_2 = F_2 \cdot S_2 = 8.7 \cdot 6.739 = 58.63 \text{ Дж}$

Суммарная положительная механическая работа:

$$A_{\text{мех}} = A_1 + A_2 = 17.91 + 58.63 = 76.54 \text{ Дж}$$

(Примечание: это совпадает с изменением потенциальной энергии

$$\Delta E_p = mgL \sin \alpha = 69.6 \text{ Дж}$$

плюс работа сил сопротивления при торможении,

которую гасят тормоза). Затраченная электроэнергия с учетом КПД $\eta = 0.8$:

$$W_{\text{эл}} = \frac{A_{\text{мех}}}{\eta} = \frac{76.54}{0.8} = 95.675 \text{ Дж}$$

3. Инженерный анализ (Кейс):

Два способа ускорить темп работы конвейера без проскальзывания и изменения кривой скорости:

1. **Повышение коэффициента сцепления:** Использование ленты с высоким коэффициентом трения (например, прорезиненное покрытие с микрорельефом). Это напрямую увеличит μ , что позволит задать большие значения ускорения.
2. **Механические или вакуумные фиксаторы:** Оснащение ленты поперечными планками-упорами (cleats) для физической блокировки детали, либо использование вакуумного прижима (т.к. деталь из алюминия, магниты не сработают) прямо сквозь отверстия в ленте.

Задача 3. Станция «Сварка»

Расчет длительности лазерного импульса:

Для расплавления алюминия необходимо его сначала нагреть от T_0 до температуры плавления $T_{пл}$, а затем передать теплоту плавления.

(Температура плавления алюминия является общеизвестной физической константой, $T_{пл} = 660^\circ\text{C}$. Плотность $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$, $c = 900 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$, $\lambda = 3.9 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$).

Масса расплавленного металла:

$$m = \rho \cdot V = 2700 \cdot (20 \cdot 10^{-9}) = 5.4 \cdot 10^{-5} \text{ кг}$$

Необходимое количество теплоты:

$$Q = Q_{\text{нагрев}} + Q_{\text{плавл}} = mc(T_{\text{пл}} - T_0) + m\lambda$$

$$Q = m \cdot [c(660 - 20) + \lambda] = 5.4 \cdot 10^{-5} \cdot [900 \cdot 640 + 390000]$$

$$Q = 5.4 \cdot 10^{-5} \cdot [576000 + 390000] = 5.4 \cdot 10^{-5} \cdot 966000 = 52.164 \text{ Дж}$$

Энергия, которую должен выдать лазер с учетом эффективности $\eta = 0.6$:

$$E_{\text{лазер}} = \frac{Q}{\eta} = \frac{52.164}{0.6} = 86.94 \text{ Дж}$$

Длительность импульса:

$$T = \frac{E_{\text{лазер}}}{P} = \frac{86.94}{150} \approx 0.58 \text{ с}$$

Ответ: Требуемая длительность импульса ≈ 0.58 секунд.

Задача 4. Станция «Позиционирование»

Алгоритм контроллера энкодера (Текстовое описание блок-схемы):

Квадратурный энкодер работает по принципу сдвига фаз между каналами А и В.

Алгоритм запускается при любом изменении состояний.

1. **Начало функции-обработчика.**
2. **Проверка на системную ошибку (пропуск шагов):**
ЕСЛИ $Current_A \neq Prev_A$ И $Current_B \neq Prev_B$ (оба канала изменились одновременно, что физически невозможно при малом шаге):
 - $ErrorCount = ErrorCount + 1$
 - Переход к шагу 6.
3. **Определение движения (Сдвиг канала А):**
ЕСЛИ $Current_A \neq Prev_A$ (изменился канал А):
 - ЕСЛИ $Current_A \neq Current_B$: $Position = Position + 1$ (Движение ВПЕРЕД)
 - ИНАЧЕ: $Position = Position - 1$ (Движение НАЗАД)
4. **Определение движения (Сдвиг канала В):**
ЕСЛИ $Current_B \neq Prev_B$ (изменился канал В):
 - ЕСЛИ $Current_B \neq Current_A$: $Position = Position + 1$ (Движение ВПЕРЕД)
 - ИНАЧЕ: $Position = Position - 1$ (Движение НАЗАД)
5. **Сохранение состояний:**
 - $Prev_A = Current_A$
 - $Prev_B = Current_B$
6. **Конец функции-обработчика.**

Задача 5. «Робот в трубе»

1. **Нормальная реакция опоры в горизонтальной трубе:**

Геометрия: Труба радиусом $R = D/2 = 600$ мм. Точки контакта находятся на $\Delta h = 300$ мм ниже центральной горизонтальной оси.

Определим угол θ между горизонтальной осью и радиус-вектором к точке контакта:

$$\sin \theta = \frac{\Delta h}{R} = \frac{300}{600} = 0.5 \implies \theta = 30^\circ$$

Нормальная реакция N каждого из 4-х колес направлена к центру трубы. Вертикальная составляющая каждой силы реакции направлена вверх и равна

$$N_y = N \sin \theta = N \sin 30^\circ = 0.5N$$

В горизонтальном положении труба удерживается только за счет вертикальных составляющих (сила тяжести уравновешивается):

$$4 \cdot N_y = mg \implies 4 \cdot 0.5N = mg \implies 2N = mg$$

$$N = \frac{mg}{2} = \frac{10 \cdot 10}{2} = 50 \text{ Н}$$

(Каждое колесо испытывает нагрузку в 50 Ньютонов).

2. Максимальный угол подъема трубы (α):

При наклоне трубы на угол α сила тяжести mg раскладывается на две компоненты:

- Продольная (скатывающая) вдоль трубы: $F_{\text{ск}} = mg \sin \alpha$
- Поперечная (прижимающая к трубе): $F_{\perp} = mg \cos \alpha$

Новая поперечная нагрузка распределяется на 4 колеса по тому же геометрическому закону:

$$2N = F_{\perp} \implies 2N = mg \cos \alpha \implies N = \frac{mg \cos \alpha}{2}$$

Чтобы робот мог ехать вверх без проскальзывания, суммарная тяговая сила трения всех 4-х ведущих колес должна быть не меньше скатывающей силы. Максимально возможная сила трения:

$$F_{\text{тр.мах}} = 4 \cdot \mu \cdot N = 4 \cdot 0.5 \cdot \frac{mg \cos \alpha}{2} = mg \cos \alpha$$

Граничное условие скольжения: $F_{\text{ск}} = F_{\text{тр.мах}}$

$$mg \sin \alpha = mg \cos \alpha$$

$$\tan \alpha = 1 \implies \alpha = 45^\circ$$

Ответ: 1. Нормальная реакция на каждое колесо в горизонтальной трубе: $N = 50 \text{ Н}$.

2. Максимальный преодолеваемый угол подъема: $\alpha = 45^\circ$.