



# Многопрофильная инженерная олимпиада «Звезда» «Машиностроение»

10-11 классы

Заключительный этап

2021-2022

## Задания, ответы и критерии оценивания

Выпускник университета решил организовать собственное малое инновационное предприятие. Взяв кредит в банке, он купил киберфизическую производственную систему для изготовления гоночных электромобилей для парков развлечений (см. рисунок). Такой электромобиль, содержит несущую раму (1), приводы в виде электродвигателей (2), дифференциал с электронным управлением (3) и подвеску (4). 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.

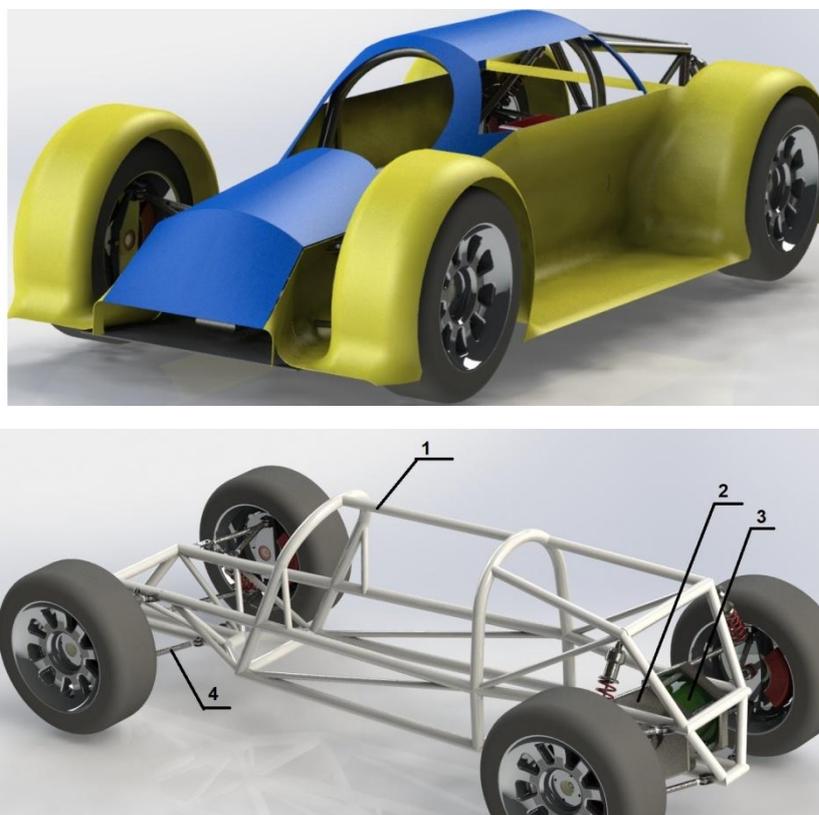


Рис. 1

### Задача № 1 (5 баллов)

Для питания электродвигателей электромобиля в нем имеется аккумуляторная батарея емкостью 2000 Вт·час. Какой *запас хода по трассе (путь)*, в километрах, может обеспечить данная батарея, если известно, что тяговое усилие электромобиля составляет  $F=100$  Н, а электромобиль движется по этой трассе с постоянной скоростью  $V=60$  км/ч? КПД электромобиля  $\eta=50\%$ .

Участнику на листе с ответами нужно нарисовать таблицу, приведенную ниже от рисунка, и во вторую колонку вписать итоговый ответ. Решение или обоснование дать ниже таблицы.

	Решение учащегося	Макс. возможный балл	Оценка проверяющего
Путь, км		5	

**Решение.**

**Ответ: 36 км.**

Емкость батареи согласно размерностям дает мощность 2000 Ватт в течение одного часа. За один час батарея способна совершить полезную работу равную  $A = \eta \cdot 2000 \cdot 3600$  с =  $0,5 \cdot 2000 \cdot 3600 = 3600000$  Дж. Запас хода составит  $s = A/F = 3600000/100 = 36000$  м = 36 км.

**Задача № 2 (10 баллов)**

На одной из технологических операций необходимо изготовить фрезой (1) композитную деталь (2) – крышку зарядного отсека электромобиля, представляющую собой в плане прямоугольник с выемкой со скругленными углами (рис 2). Обработка выполняется на фрезерном вертикальном обрабатывающем центре концевой фрезой (1) диаметром 12 мм. В процессе обработки центр сечения фрезы (ее сечение показано на рис. 3 окружностью 1) должен пройти по траектории, нарисованной пунктирной линией. График зависимости скорости фрезы  $V$  от перемещения  $S$  вдоль длинной и короткой сторон детали показан на рис. 2. Определить, сколько времени (в секундах) займет один проход фрезы, по указанной пунктирной траектории.

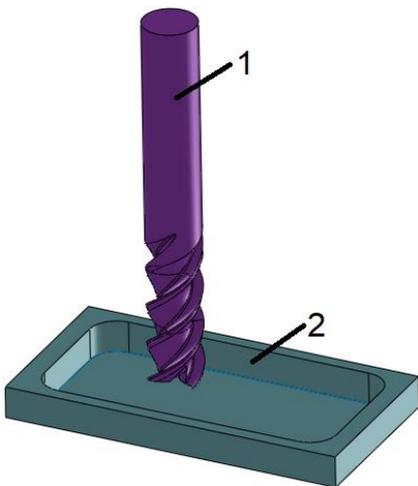


Рис. 2

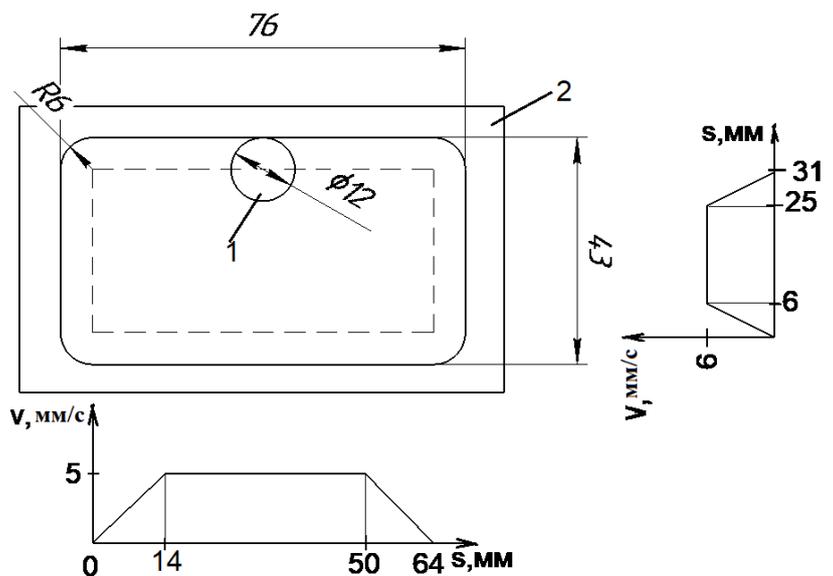


Рис. 3

	Решение учащегося	Макс. возможный бал	Оценка проверяющего
Время, сек.		<b>10</b>	

**Ответ: 51,1 сек.**

**Решение:** Траекторию фрезы можно разделить на несколько участков, где фреза движется с постоянной скоростью и переменной. Согласно графикам, общая длина участка с постоянной скоростью на длинной стороне равна  $S_1 = 2 \cdot 36 = 72$  мм. Время на этом участке  $t_1 = S_1/v_1 = 72/5 = 14,4$  сек. Общая длина участка с постоянной скоростью на короткой стороне равна  $S_2 = 2 \cdot 19 = 38$  мм. Время на этом участке  $t_2 = S_2/v_2 = 38/6 = 6,33$  сек. На длинной стороне траектории на участке [0-14] фреза движется ускоренно с начальной скоростью 0 и ускорением  $a$ . Путь, пройденный фрезой при этом равен  $S = (a \cdot t^2)/2$ .

Ускорение при этом равно  $a=v/t$ . Подставляя это выражение в формулу для пути получим  $t=(2\cdot S)/v$ . Таким образом, на длинной стороне на участке [0-14] время равно  $t_3=2\cdot 14/5=5,6$  сек. На участке [50-64] время  $t_4=5,6$  сек. На короткой стороне, на отрезке [0-6] время равно  $t_5=2\cdot 6/6=2$  сек, на отрезке [25-31],  $t_6=2\cdot 6/6=2$  сек. Таким образом, суммарное время равно:  $t=t_1+t_2+t_3+t_4=14,4+6,3+2\cdot 11,2+2\cdot 4=51,1$  сек.

### Задача № 3 (25 баллов)

Для выполнения сборочных работ на электромобиле используется подъемник, основным элементом которого служит пневмогидравлический преобразователь, показанный на рисунке 4. Электромобиль устанавливается на платформе (1), прикрепленной к штоку (2), соединенного с поршнем (4) гидроцилиндра (3). Давление рабочей жидкости (5) в гидроцилиндре создается с помощью штока (6) от пневмоцилиндра (9), размещенного снизу. В пневмоцилиндре имеется поршень (7). В поршневой полости пневмоцилиндра находится воздух (8), а в штоковой – жидкость (5). Определить максимальную грузоподъемность (в килограммах) такого подъемника если, известно, что давление воздуха (8) в пневмоцилиндре равно  $p_в=0,4$  МПа, диаметр поршня пневмоцилиндра  $D=100$  мм, диаметр штока пневмоцилиндра  $d=25$  мм, диаметр поршня (4) гидроцилиндра  $d_1=50$  мм. КПД всего подъемника  $\eta=0,85$ .

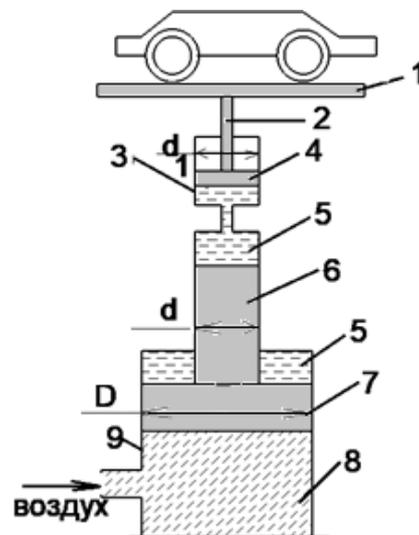


Рис. 4

	Решение учащегося	Макс. возможный балл	Оценка проверяющего
Грузоподъемность, кг		25	

**Ответ: 1156 кг.**

**Решение:** Из условия равновесия штока и поршня в пневмоцилиндре имеем  $\pi D^2/4 \cdot p_в = \pi d^2/4 \cdot p_ж$ . Отсюда давление в гидроцилиндре  $p_ж = p_в (D/d)^2 = 0,4 \cdot 16 = 6,4$  МПа. Тогда усилие на штоке гидроцилиндра  $F = p_ж \cdot (\pi \cdot d_1^2/4) \cdot \eta = 0,85 \cdot 6,4 \cdot 10^6 \cdot (3,14 \cdot 0,05^2)/4 = 11560$  Н. Искомая грузоподъемность составит 1156 кг.

### Задача № 4 (30 баллов)

Для соединения по плоским торцам стержневых цилиндрических деталей подвески электромобиля используется электрическая контактная стыковая сварка (рис 5). Этот способ применяется для получения неразъемных соединений по всей поверхности таких торцов заготовок с помощью местного нагрева. Расплавление торцов достигается за счет пропускания через заготовки в течение определенного интервала времени электрического тока и выделения при этом джоулевой теплоты. Сварка происходит следующим образом. Левая заготовка (1) зажимается в неподвижном зажиме (2) на неподвижной опоре (6). Правая заготовка (7) зажимается в подвижном зажиме (4) и своим торцом соприкасается с торцом левой заготовки. Далее на заготовки подается ток от трансформатора (3), в процессе нагрева каждая из них оплавляется в зоне  $h$  (5), при этом производится их сближение подвижным зажимом (4) подвижной опорой на

эту величину  $2h$ . Определите величину *омического сопротивления* в зоне контакта торцов заготовок при таком способе сварки. Величина осадки каждой заготовки  $h=5$  мм, диаметр цилиндрических заготовок  $d=20$  мм, сила тока  $I=700$  А, время нагрева  $t=1$  с. КПД процесса сварки  $\eta=0,24$ , начальная температура заготовок  $25^\circ\text{C}$ , температура плавления стали  $1400^\circ\text{C}$ , удельная теплоемкость стали  $c=500$  Дж/кг, удельная теплота плавления стали  $\lambda=78$  кДж/кг, плотность стали  $\rho=7850$  кг/м<sup>3</sup>.

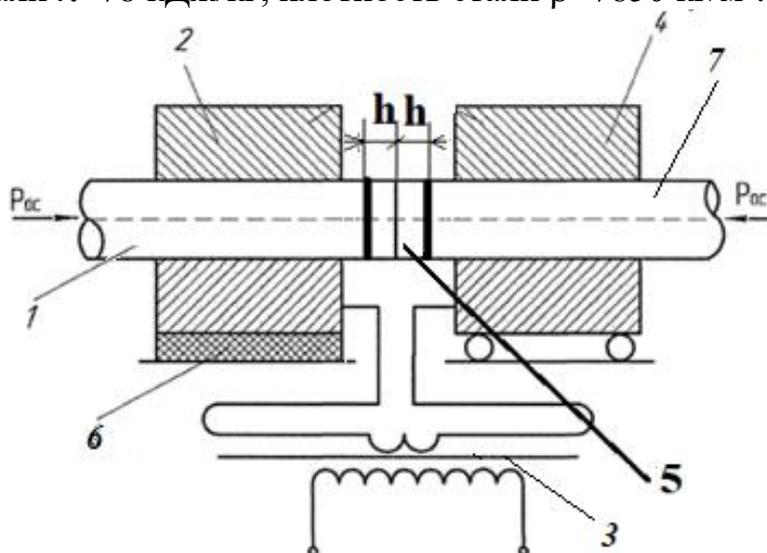


Рис. 5

	Решение учащегося	Макс. возможный балл	Оценка проверяющего
Сопротивление, Ом		30	

**Ответ: 0,16 Ом.**

**Решение.** Количество теплоты, выделяющееся при пропускании электрического тока через заготовки и идущее на нагрев места стыка равно  $Q=\eta I^2 \cdot Rt$ . Это теплота идет на нагрев зоны осадки до температуры плавления, и плавление торцов заготовок. Уравнение теплового баланса выглядит следующим образом:  $Q=Q_{\text{н}}+Q_{\text{пл}}$ , где  $Q_{\text{н}}$  – теплота нагрева зоны осадки стальных заготовок до температуры плавления,  $Q_{\text{пл}}$  – теплота плавления стали.

$$Q_{\text{н}}=c \cdot m \cdot \Delta T=c \cdot \rho \cdot 2 \cdot h \cdot (\pi \cdot d^2)/4 \cdot \Delta T=500 \cdot 7850 \cdot 2 \cdot 0,005 \cdot (3,14 \cdot 0,02^2)/4 \cdot (1400-25)=16946,19 \text{ Дж.}$$

$$Q_{\text{пл}}=\lambda \cdot m=\lambda \cdot \rho \cdot 2 \cdot h \cdot (\pi \cdot d^2)/4=78000 \cdot 7850 \cdot 2 \cdot 0,005 \cdot (3,14 \cdot 0,02^2)/4=1922,62 \text{ Дж.}$$

$$Q=Q_{\text{н}}+Q_{\text{пл}}=16946,19+1922,62=18868,81 \text{ Дж.}$$

Джоулева теплота, выделяемая в контакте с учетом КПД равна  $Q=0,24 I^2 Rt$ .

$$\text{Отсюда } R=Q/(0,24 \cdot I^2 \cdot t)=18868,81/0,24 \cdot 700^2 \cdot 1=0,16 \text{ Ом.}$$

Искомое сопротивление равно 0,16 Ом.

### Задача № 5 (30 баллов)

Для перемещения деталей электромобиля на производственном участке применяется робот-манипулятор (рис. 6, слева). Для захвата и удержания деталей робот оснащен симметричным схватом (рис. 6, справа; схема на рис. 7). Схват состоит из пневмопривода (1), рычагов (2) и (3), а также губок (4), которые удерживают деталь (5). Определить *диаметр поршня* пневмоцилиндра  $D$  (м), требуемого для удержания детали массой 10 кг в схвате, если давление воздуха в пневмосистеме  $p=0,4$  МПа,  $L_1=0,25$  м,  $L_2=0,5$  м, угол между вертикалью и вектором силы  $F_1$  (совпадает с линией

звена 2) в шарнире А равен  $\alpha=45^\circ$ . Коэффициент запаса  $k=2,5$  (коэффициент запаса показывает, во сколько раз усилие на схвате должно быть больше необходимого для удержания детали). Принять ускорение свободного падения  $g=10 \text{ м/с}^2$ .

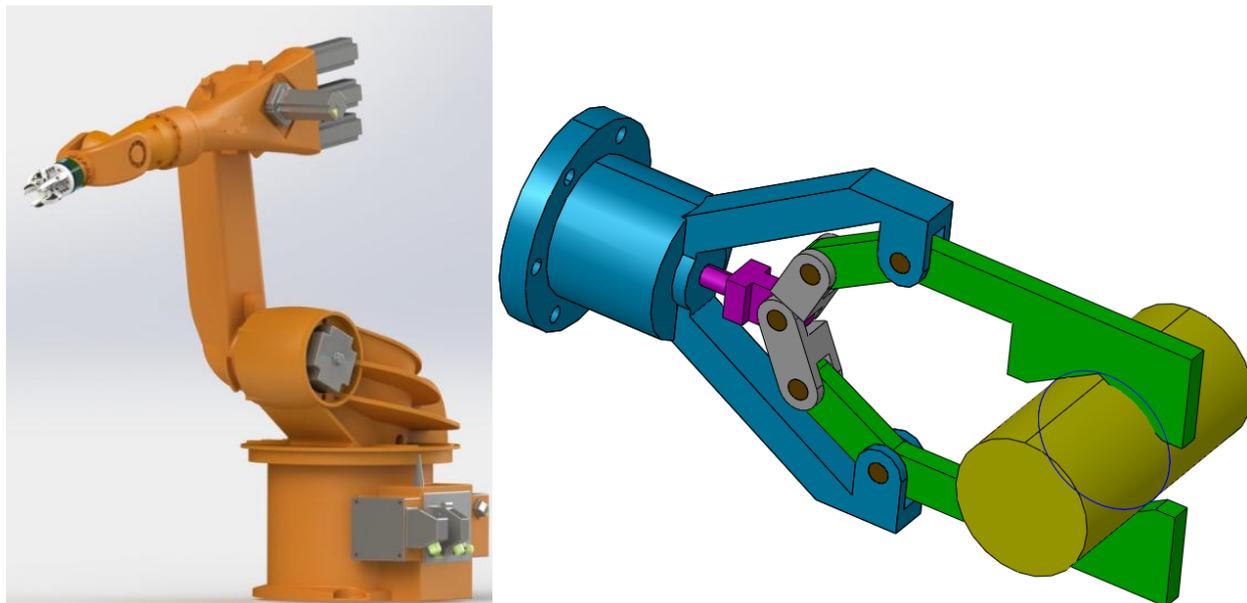


Рис. 6 Робот-манипулятор и его схват

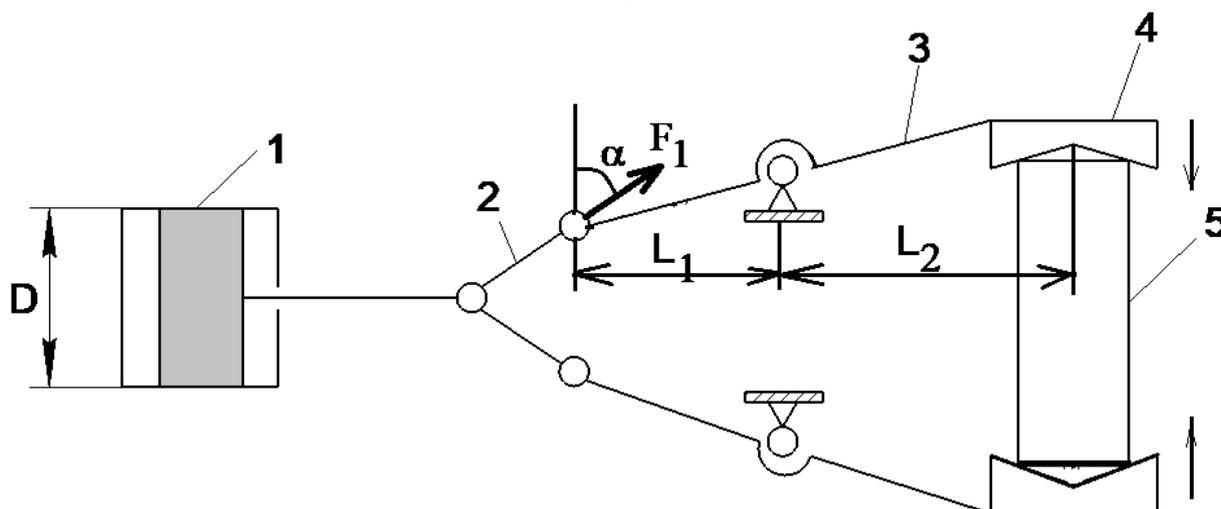


Рис. 7. Вид на схват сбоку

	Решение учащегося	Макс. возможный балл	Оценка проверяющего
Диаметр поршня, м		<b>30</b>	

**Ответ: 0,056 м.**

**Решение.**

1. Рассмотрим расчетную схему (рис. 7). На губки действует сила тяжести  $F=m \cdot g=10 \cdot 10=100 \text{ Н}$ . Равновесие звена 3 определяется из равенства моментов:  $F \cdot L_2 = F_1 \cdot L_1 \cdot \cos \alpha$ . Отсюда, усилие действующее на звено 2 направлено по его оси и равно  $F_1 = F \cdot L_2 / (L_1 \cdot \cos \alpha) = 100 \cdot 0,5 / (0,25 \cdot 0,71) = 281,69 \text{ Н}$ . Усилие на поршне равно  $F_n = k \cdot 2 \cdot F_1 \cdot \sin \alpha = 2,5 \cdot 2 \cdot 281,69 \cdot 0,71 \approx 1000 \text{ Н}$ . Диаметр поршня пневмоцилиндра равен  $D = \sqrt{(4F_n) / p\pi} = \sqrt{(4 \cdot 1000) / 400000 \cdot 3,14} = 0,056 \text{ м}$ .