

Олимпиада «Физтех.инженер» 22 марта 2025 г.

Решения заданий заключительного тура. 11 класс.

Вариант 1

Задача 1

1)	$\Omega = \frac{v}{L_1} \frac{H}{L_1} = \frac{vH}{L_1^2} = 0,02 \text{ рад/с.}$	1 + 1 (ф-ла + число)
2)	Определим расстояние L_1, при котором отношение сигнал/шум на антенне с приемной площадью S (при любом ракурсе) станет пороговым: $a = 20\lg \frac{SI_2}{SI_1} = 20\lg \frac{P_2}{P_1} \frac{S_1}{S_2} = 20\lg \frac{P_2}{P_1} \frac{2\pi L_1^2 \left(1 - \cos \frac{\beta}{2}\right)}{2\pi L_2^2} =$ $= 40\lg \sqrt{\frac{2P_2}{P_1}} \frac{L_1}{L_2} \sin \frac{\beta}{4} \Rightarrow L_2 = L_1 \sqrt{\frac{2P_2}{P_1}} \sin \frac{\beta}{4} \cdot 10^{-a/40} = 30 \text{ м.}$ Так как заданное в задаче значение L_2 больше, чем вычисленное, то оператор не сможет управлять дроном.	3 + 2 + 1 (ф-ла + число + вывод)
А)	Может оказаться, что чувствительность приемной антенны по направлению на наземную станцию окажется больше, чем по направлению на стрелка. Если нет, то восстановления не произойдет.	1
Б)	Антидроновое ружье может заблокировать работу системы навигации самоката, однако это не должно приводить к его остановке (иначе нельзя было бы ездить под мостами и в тоннелях, где сигнал спутников навигации исчезает из-за экранирования).	1

Задача 2

1)	Основное уравнение момента сил при раскрутке относительно x: $M = J\varepsilon$, причем для тонкого тора как для обруча $J = M_0 R^2$. Допустимо уравнение моментов записывать не через момент инерции, а через сумму изменений импульсов малых элементов кольца за единицу времени, умноженную на плечо, равное радиусу: $M = M_0 (dV/dt) R$. Внешняя сила, создающая момент $M = 2FR$, — это реактивная сила газа, истекающего из сопла, $F = 0,5s\rho v^2$, где $s = \mu/\rho v$ — площадь поперечного сечения газового потока, истекающего из сопла (наличие коэффициента 0,5 в формуле силы не снижает балл, соответственно и далее ответы могут отличаться вдвое). Чтобы полностью погасить вращение, требуется обеспечить время разгона t равным времени торможения с одинаковыми по модулю угловыми ускорениями $\varepsilon = \mu v/M_0 R$. Тогда полный	3 + 3 (ф-ла + число)
----	---	-------------------------

	разворот совершается за время $T = 2t$, где $\varepsilon t^2/2 = \pi/2$, или $T = 2(\pi M_0 R / \mu v)^{1/2} = 1940$ с.	
2)	Масса рабочего тела находится как $2\mu t = 40$ г.	1 + 1 (ф-ла + число)
А)	Недостаток: малое время разворота приводит к большой неточности позиционирования (ошибка угла разворота), поскольку газ нельзя мгновенно перекрыть в сопле. Достоинства: быстрый разворот может потребоваться для выдачи разгонного или тормозного импульса при совершении маневра уклонения от космического мусора (когда полезно уменьшить площадь поперечного сечения аппарата в направлении движения мусора), для уменьшения перегрева одного бока КА солнечным излучением и т. д. Чем быстрее выполнен маневр, тем меньше время реакции, тем больше шансов на уклонение от космического мусора или на купирование проблемы перегрева.	2

Задача 3

1)	Минимальная полезная мощность не учитывает тепловых потерь: $P_{\min} = (c\Delta T + \lambda) S v \approx 0,33$ Вт, где $S = \pi D h$. Переменный ток катушки создает внутри нее переменное магнитное поле $B_m = \mu_0 I_m N / L$, которое наводит ЭДС электромагнитной индукции $\varepsilon_m = \omega B_m \pi D^2 / 4$ ($\omega = 2\pi f$) в кольцевом сечении и создает токи Фуко вокруг оси симметрии заготовки (но не вдоль образующей цилиндра) в тонкой кольцевой зоне расплава $I_{fm} = L h \varepsilon_m / \pi D \rho_e$. Мощность тока Фуко идет на плавление германия: $P_{\min} = I_{fm} \varepsilon_m / 2 = \pi D^3 (\omega \mu_0 I_m N)^2 / 8 \rho_e L \Rightarrow I_m = (1 / \omega \mu_0 N) \sqrt{8 \rho_e L N_{\min} / \pi D^3} = 0,0016$ А.	4 + 2 (ф-ла + число)
2)	Мощность токов Фуко (полная мощность) пропорциональна квадрату силы тока (см. п. 1), поэтому она возрастет в девять раз. Вычтем из нее полезную мощность и получим мощность потерь $8 \cdot 0,33 = 2,64$ Вт.	2
А)	При увеличении мощности и скорости примесь не будет успевать перемещаться вместе с расплавом (перемещение атомов примеси — медленный диффузионный процесс), степень очистки снизится, потребуется больше проходов.	1
Б)	Длина зоны расплава ограничена двумя твердыми концами заготовки, расстояние между которыми фиксировано, но плотность жидкого германия больше, чем твердого, поэтому объем расплава незначительно уменьшается, как и площадь поперечного сечения.	1

Задача 4

1)	По закону Пуассона для адиабаты давление $p_2 = p_1 (L_1 / L_2)^\gamma = 1,49$ атм, $\gamma = 1,4$ для двухатомного газа.	1 + 1 (ф-ла + число)
----	---	----------------------------

2)	$\eta = \frac{Mv^2/2}{A} = 1 - \frac{Mg}{A}(L_2 - L_1)\sin\alpha - p_{\text{атм}} \frac{\pi D^2}{4A}(L_2 - L_1) = 0,58,$ где $A = \frac{5}{2}(p_1 L_1 - p_2 L_2) \frac{\pi D^2}{4} = 1,36 \text{ Дж.}$	2 + 1 (ф-ла + число)
3)	$a_{\min} = -g \sin\alpha - p_{\text{атм}} \frac{\pi D^2}{4M} + p_2 \frac{\pi D^2}{4M} = -3 \frac{M}{c^2}.$	2 + 1 (ф-ла + число)
А)	Влажный воздух имел бы показатель адиабаты несколько ниже, так как водяной пар — трехатомный газ, в отличие от двухатомного сухого воздуха. Конечное давление возросло бы, а работа сжатого газа уменьшилась. Следовательно, начальная скорость полета уменьшилась бы.	1
	Кроме того, могла бы произойти конденсация паров при снижении давления, что, наоборот, способствовало бы увеличению работы газа под поршнем и увеличило бы скорость.	1
	Каждый аргументированный ответ засчитывается, но ответов не более двух.	

Задача 5

1)	Уравнение теплового баланса для темной стороны: $4I^2 \rho_R L / \pi d^2 = \pi d L \varepsilon \sigma T^4$, откуда $I = 0,5 \pi d T^2 \sqrt{\varepsilon \sigma d / \rho_R} = 3,2 \text{ А.}$ Здесь L — длина проволоки, $T = t + 273 = 403 \text{ К.}$	3 + 1 (ф-ла + число)
2)	Баланс мощности для солнечной стороны: $4(I - \Delta I)^2 \rho_R L / \pi d^2 + d L \varepsilon J_s = \pi d L \varepsilon \sigma T^4$, где учтено, что из-за падения солнечного излучения на боковую поверхность нити под разными углами нужно брать видимую площадь, то есть площадь поперечного сечения нити. Таким образом, уменьшение тока составит $\Delta I = I \left(1 - \sqrt{1 - \frac{J_s}{\pi \sigma T^4}} \right) = 0,16 I = 0,513 \text{ А.}$	3 + 1 (ф-ла + число)
А)	Преимущества: 1) Малая масса такого привода. 2) Привод обеспечивает управляемое безударное плавное раскрытие хрупкой конструкции без дополнительных демпфирующих механизмов. В таком приводе нечему ломаться, так как нет движущихся частей, то есть он более надежный. Достаточно одного признака из двух.	1
Б)	Температурная деформация, или тепловое расширение/сжатие при изменении температуры; упругая деформация, которая исчезает после снятия нагрузки. Достаточно одного признака из двух.	1

Олимпиада «Физтех.инженер» 22 марта 2025 г.
Решения заданий заключительного тура. 11 класс.
Вариант 2

Задача 1

1)	$\omega = \frac{v}{L_1} = 0,025 \text{ рад/с.}$	1 + 1 (ф-ла + число)
2)	$a = 20 \lg \frac{SI_2}{SI_1} \left(\frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1} \right)^2 = 20 \lg \frac{P_2}{P_1} \frac{S_1}{S_2} \left(\frac{L_1}{L_2} \right)^2 = 20 \lg \frac{P_2}{P_1} \frac{2\pi L_1^2 \left(1 - \cos \frac{\beta}{2} \right)}{2\pi L_2^2} \left(\frac{L_1}{L_2} \right)^2 =$ $= 40 \lg \sqrt{\frac{2P_2}{P_1}} \left(\frac{L_1}{L_2} \right)^2 \sin \frac{\beta}{4} = -104 \text{ дБ.}$	3 + 3 (ф-ла + число)
А)	Чем больше длина волны излучения (меньше частота), тем больше проявляется дифракционное огибание. Чем шире конус излучения, тем меньше мощности попадает на беспилотник. Кроме того, эффективность излучения растет с увеличением частоты.	1
Б)	Сети, аэростаты заграждения, решетки, дробовики (ружья, стреляющие дробью).	1

Задача 2

1)	Основное уравнение момента сил при раскрутке относительно x: $M = J\varepsilon$, причем для тонкого тора как для обруча $J = M_0 R^2$. Допустимо уравнение моментов записывать не через момент инерции, а через сумму изменений импульсов малых элементов кольца за единицу времени, умноженную на плечо, равное радиусу: $M = M_0 (dV/dt) R$. Внешняя сила, создающая момент $M = 2FR$, — это реактивная сила газа, истекающего из сопла, $F = 0,5s\rho v^2$, где $s = \mu/\rho v$ — площадь поперечного сечения газового потока, истекающего из сопла (наличие коэффициента 0,5 в формуле силы не снижает балл, соответственно и далее ответы могут отличаться вдвое). Чтобы полностью погасить вращение, требуется обеспечить время разгона t равным времени торможения с одинаковыми по модулю угловыми ускорениями $\varepsilon = \mu v/M_0 R$. Тогда полный разворот совершается за время $T = 2t$, где $\varepsilon t^2/2 = \pi/2$, или $T = 2(\pi M_0 R/\mu v)^{1/2} = 1940 \text{ с}$. Видим, что отпущенного запаса рабочего тела на такой разворот не хватит, так как $2t = m/\mu = 100 \text{ с}$. Схему разворота придется изменить: угловое ускорение будет действовать лишь на протяжении малых начальной и конечной частей времени, $t = 50 \text{ с}$ (за эти промежутки времени углы поворотов составят по 0,0075 рад), а в промежутке между равными по модулю, но противоположными импульсами, разворот почти на 3,14 рад будет продолжаться с постоянной угловой скоростью $\varepsilon t = 160 \text{ мкрад/с}$ в течение примерно $T = 20000 \text{ с}$.	3 + 3 (ф-ла + число)
----	---	----------------------------

2)	Давление можно найти по формуле скоростного напора (без учета потерь на гидравлическое сопротивление в сопле и подводящей арматуре) $p = 0,5\rho v^2 = 0,5\mu v/s = 6,5$ атм (без коэффициента 0,5 в формуле ответ также засчитывается).	1 + 1 (ф-ла + число)
А)	При выносе блоков ориентации на штангах момент вращения увеличится из-за возрастания плеча, что приведет к уменьшению времени разворота. Недостаток: малое время разворота приводит к большой неточности позиционирования (ошибка угла разворота), поскольку газ нельзя мгновенно перекрыть в сопле; кроме того, штанги будут сильно изгибаться и раскачиваться, еще больше увеличивая ошибку. Достоинства: разворот может потребоваться для выдачи разгонного или тормозного импульса при совершении маневра уклонения от космического мусора, для уменьшения перегрева одного бока КА солнечным излучением и т. д. Чем быстрее выполнен маневр, тем меньше время реакции, тем больше шансов на уклонение от космического мусора или на купирование проблемы перегрева.	2

Задача 3

1)	Минимальная (она же полезная) мощность не учитывает тепловых потерь: $P_{\min} = (c\Delta T + \lambda) S v \approx 0,33$ Вт, где $S = \pi D h$. Мощность токов Фуко (полная мощность) $P = P_{\min} / \eta = 3,3$ Вт. Переменный ток катушки создает внутри нее переменное магнитное поле $B_m = \mu_0 I_m N / L$, которое наводит ЭДС электромагнитной индукции $\varepsilon_m = \omega B_m \pi D^2 / 4$ ($\omega = 2\pi f$) в кольцевом сечении и создает токи Фуко вокруг оси симметрии образца (но не вдоль образующей цилиндра!) в тонкой кольцевой зоне расплава $I_{fm} = L h \varepsilon_m / \pi D \rho_e$. Мощность тока Фуко идет на плавление германия: $P = I_m \varepsilon_m / 2 = \pi D^3 (\omega \mu_0 I_m N)^2 / 8 \rho_e L \Rightarrow I_m = (1 / \omega \mu_0 N) \sqrt{8 \rho_e L N / \pi D^3} = 0,005$ А.	4 + 2 (ф-ла + числа)
А)	Химическая инертность (чтобы германий не загрязнялся примесями), тугоплавкость выше, чем у германия.	1
Б)	При слишком короткой катушке зона расплава становится очень узкой, в ней может не накопиться достаточно примесей — потребуется много проходов для эффективной очистки заготовки. Если сделать катушку слишком длинной, то зона расплава будет очень большой, и после очистки, при отрезании конца заготовки с примесями, потеряется много ценного материала. Очевидно, существует оптимум между двумя этими крайностями. Возможны другие аргументированные ответы.	1
В)	В невесомости исчезнет гравитационная конвекция воздуха, и теплопередача уменьшится, значит, тепловые потери уменьшатся, а КПД возрастет.	1
Г)	После первого прохода осталось 70% примесей, значит, после второго прохода останется не менее $0,7 \cdot 0,7 \cdot 100\% = 49\%$, а еще правильнее сказать, что при повторных проходах эффективность очистки будет снижаться, то есть останется более 49% примесей.	1

Задача 4

1)	По закону Пуассона для адиабаты давление $L_2 = L_1(p_1/p_2)^{1/\gamma} = 150$ см, $\gamma = 1,4$ для двухатомного газа.	1 + 1 (ф-ла + число)
2)	$\frac{Mv^2}{2} = A - Mg(L_2 - L_1) \sin \alpha - p_{\text{атм}} \frac{\pi D^2}{4} (L_2 - L_1) \Rightarrow$ $v = \sqrt{\frac{2}{M} \left(\frac{5}{2} (p_1 L_1 - p_2 L_2) \frac{\pi D^2}{4} - Mg(L_2 - L_1) \sin \alpha - p_{\text{атм}} \frac{\pi D^2}{4} (L_2 - L_1) \right)} \approx 5,6 \text{ м/с.}$	2 + 1 (ф-ла + число)
3)	$\frac{0,64Mv^2}{2} = A - Mg(L_2 - L_1) \sin \alpha - p_{\text{атм}} \frac{\pi D^2}{4} (L_2 - L_1) - f(L_2 - L_1) = \frac{Mv^2}{2} - f(L_2 - L_1)$ $\Rightarrow f = \frac{0,18Mv^2}{(L_2 - L_1)} \approx 218 \text{ Н.}$	2 + 1 (ф-ла + число)
А)	Использовать демпфер (например, поршень сделать из сильного постоянного магнитного материала (например, неодимовый магнит), а стенки трубы поршня на участке торможения — из хорошо проводящего материала) или подпружиненный упор вместо жесткого. Возможны другие варианты конструкции демпфера.	1 (один вариант) 2 (2+ варианта)

Задача 5

1)	Уравнение теплового баланса на орбите Земли: $4I^2 \rho_R L / \pi d^2 = \pi d L \varepsilon \sigma T^4$ (без учета потерь на теплопроводность в точках крепления проволоки, так как для d требуется оценка сверху), или $d = \left(\frac{4I^2 \rho_R}{\pi^2 \varepsilon \sigma T^4} \right)^{1/3} = 1,5$ мм. Здесь L — длина проволоки, $T = t + 273 = 403$ К.	3 + 1 (ф-ла + число)
2)	Баланс мощности на орбите вокруг Солнца с учетом видимой площади боковой поверхности нити: $dL\varepsilon J = \pi dL\varepsilon \sigma T^4$,	1
	откуда интенсивность солнечного излучения на орбите ракеты $J = \pi \sigma T^4 = 4700 \text{ Вт/м}^2$.	1
	Интенсивность обратно пропорциональна квадрату расстояния до Солнца, то есть $R = R_e (J_s/J)^{1/2} = 0,546 R_e$.	1 + 1 (ф-ла + число)
А)	Возможный вариант компактной укладки длинной проволоки — ее намотка на блок или круглый стержень, при этом есть недостаток — трение, которое препятствует полноценному восстановлению формы: чем больше витков, тем больше трение, и тем меньше коэффициент восстановления. Поэтому блок желательно делать из скользкого материала с минимальным коэффициентом трения. Возможны другие аргументированные ответы.	2