

Олимпиада «Физтех.инженер» 22 марта 2025 г.
Решения заданий заключительного тура. 9 класс.
Вариант 1

Задача 1

1)	Если каждая лопасть винта обтекается независимо и плотность постоянна, то работает закон сохранения объемного расхода — захват воздуха каждой лопастью винта и формирование под винтом общего вертикального потока площадью S : до обрыва лопасти $4S_{\text{л}}v_{\text{вращ}} = Sv_1$, после обрыва — $3S_{\text{л}}v_{\text{вращ}} = Sv_2$. В итоге после обрыва лопасти скорость потока снизилась на 25%. Сила тяги винта пропорциональна квадрату скорости, поэтому снизилась на 44%.	2 (за проценты)
2)	Амплитуда колебаний находится как $A = X_1 - X_2$, то есть разность смещений центров масс коптера при двух диаметрально противоположных ориентациях оторванной лопасти (самое близкое расположение к геометрическому центру и самое удаленное от него). Оторванная лопасть моделируется отрицательной массой на удалении $L/2$ от центра поврежденного винта, который, в свою очередь, удален от центра масс квадрокоптера на расстояние h (центр масс квадрокоптера поместим в начало координат). $X_1 = [0 \cdot M + m(h + L/2)] / (M - m)$, $X_2 = [0 \cdot M + m(h - L/2)] / (M - m)$, то есть $A = mL / (M - m) = 0,1$ мм.	2 + 1 (ф-ла + число)
3)	Амплитуда ускорения при вибрации $A\omega^2 = 9,8$ м/с ² . Поскольку длительность измерения ускорения датчиком гораздо меньше времени одного колебания, то колебательное ускорение не усредняется по периоду и усиливает неточность в выделенном направлении примерно в 1000 раз.	1 + 1 (ф-ла + число)
А)	Винт 2 (на одной диагонали с поврежденным винтом 1) снизит обороты, чтобы скомпенсировать изменение момента силы аварийного винта, а на другой диагонали винты 3 и 4 должны на столько же повысить обороты, чтобы суммарная сила тяги не изменилась. При этом возникнет вращение в горизонтальной плоскости вокруг центра масс.	2
Б)	Миниатюрный акселерометр может являться разновидностью математического маятника, который меняет свою частоту под действием внешней силы. Но чаще используется искривление упругой микробалки с острым выступом на конце, которая меняет свой потенциал вблизи электрически заряженной подложки (фактически меняется емкость конденсатора). Зачтется любой физически работоспособный механизм.	1

Задача 2

1)	Зная массу, плотность и длину, найдем внешний диаметр оптоволокна $d = 2(m/\pi\rho L)^{1/2} = 0,5$ мм. Радиус загиба r находим из формулы предельного угла полного внутреннего отражения: нужно, чтобы падающий изнутри на боковую поверхность нити (при ее загибе) луч отражался внутрь волокна, но не преломлялся и не выходил через оболочку наружу. Причем из множества лучей, падающих нормально на торец волокна, надо выбрать тот, который заходит в волокно вдоль его внутренней стенки и удален от центра дуги изгиба на минимальный радиус $r - d$. В самом деле, если для данного луча реализовался случай внутреннего отражения, то для других лучей полное отражение тем более реализовалось. Итак, $r \geq d \cdot n_1 / (n_1 - n_2) = 14,6$ мм.	3
2)	Записываем закон преломления на торце волновода $n \sin \varphi = n_1 \sin \beta$ и выражаем угол падения луча изнутри на боковую поверхность волокна через апертурный угол. С другой стороны, в предельном случае, это должен быть угол полного внутреннего отражения, иначе излучение при каждом отражении будет частично выходить наружу и быстро затухнет, то есть $\sin \varphi \leq \frac{n_1}{n} \cos \alpha_0 = \frac{n_1}{n} \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_0} = \frac{1}{n} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 0,26$. Угол апертуры $\varphi < 15^\circ$.	4
А)	Устраняется воздействие средств РЭБ, можно снизить интенсивность сигнала, сигнал можно не шифровать, повысится качество видекартинки у оператора, не демаскируется сам оператор (достаточно любых двух аргументов из перечисленных или двух своих).	1
Б)	Иммерсионная жидкость нужна для уменьшения коэффициента отражения от плоского торца оптоволокна, для этого ее коэффициент преломления должен быть как можно ближе к коэффициенту преломления вещества оптоволокна.	1
В)	1) Можно ослеплять оптику дрона с помощью лазера. Чтобы было легче попасть, лазерный луч надо расфокусировать, но это снижает эффективную дальность. 2) Можно рвать оптоволокно — нужны патроны с дробью. Дробь в патрон закладывается в виде разрезного шарика — по две свинцовые полусферы, слабо скрепленные клеем, соединенные крепкой синтетической (нейлоновой) нитью, свернутой внутри полусфер, чтобы не мешать при выстреле. После выстрела дробина разделяется на полусферы, нить вытягивается силами инерции разделившихся полусфер, и связка летит, вращаясь. Площадь поражения каждой связки многократно увеличивается. Попадая на оптоволокно, нитка обматывается вокруг него, и оно рвется резким динамическим ударом или хотя бы сгибается с недопустимо малым радиусом кривизны. Целиться надо ниже дрона, так как оптоволокно опускается за ним к земле. Аналог — снаряды для поражения такелажа парусных кораблей (книппели). (Достаточно одного из аргументов.)	1

Задача 3

1)	Треугольник разности сил разбить на два прямоугольных и найти сумму их оснований $\Delta F = 2F \sin(\alpha/2) = 31,9 \text{ кН}$ при $\alpha = 15^\circ$.	4
2)	$M = \Delta F \cdot L + 9mgH \cos(\alpha) \sim 11,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$. В действительности угол, под которым действует боковая сила на внутреннюю стенку, не равен 90° , он больше примерно на $\alpha/2 = 7,5^\circ$, но этим можно пренебречь. С другой стороны, $M = 2fh$ (если силы верхних двух гидроцилиндров одинаковы по модулю) или $f = M/2h \sim 29 \text{ кН}$ и $P = f/S = 231 \text{ атм}$.	2 (за момент)
	Если верхний цилиндр работает на растяжение при повышенном давлении в камере, то нижний — на сжатие объема под поршнем. При разрежении он не может обеспечить перепад давления выше 1 атм. Значит нижний цилиндр не работает, а работает только верхний с давлением около 231 атм.	2 (за давление)
A)	ОВТ приводит к: 1) дополнительным потерям тяги за счет работы по отклонению газового потока; 2) усложняет управление самолетом; 3) для изготовления створок нужен особо жаропрочный металл, который дорог и к тому же сильно утяжеляет конструкцию (могут быть другие правильные ответы).	1
B)	Достижению сверхманевренности способствует неустойчивая аэродинамическая компоновка самолета (когда точка аэродинамического фокуса вынесена перед точкой центра масс по направлению полета), при которой требуется значительно меньшее время для разворота самолета на заданный угол. Этому также способствует переднее горизонтальное оперение, сдвигающее фокус вперед, которое к тому же само может отклоняться. Чтобы самолет был управляемым на больших углах атаки, используют 1) затягивание срыва потока за счет развитых корневых наплывов крыла; 2) отсос вихревой пелены сквозь щелевые поверхности на крыле. (Могут быть другие правильные ответы.)	1

Задача 4

1)	Тяга двигателя уменьшается в $\frac{M + m_0}{M}$ раз, частота оборота и скорость потока — в $\sqrt{\frac{M + m_0}{M}}$ раз, так как потребляемая мощность винта падает в $\left(\sqrt{\frac{M + m_0}{M}}\right)^3$ раз. Так как тепловая мощность и мощность двигателя пропорциональны квадрату тока, то они обе падают в $\left(\sqrt{\frac{M + m_0}{M}}\right)^3$ раз. Тогда запишем уравнение теплового потока для начального состояния $P_{\text{то}} = kv_{\text{п}} \Delta T_0$ и для конечного	3 + 1 (ф-ла + число)
----	---	-------------------------

	потока $\left(\sqrt{\frac{M}{M+m_0}}\right)^3 P_{\text{то}} = k \sqrt{\frac{M}{M+m_0}} v_{\text{н}} \Delta T_1$, делим одно выражение на второе, получаем $\Delta T_1 = \frac{M}{M+m_0} \Delta T_0 = 8^\circ$.	
2)	Температура двигателя не успела измениться сразу после уменьшения оборотов двигателя (уменьшилась только скорость обтекания), поэтому скорость теплоотвода равна $\sqrt{\frac{M}{M+m_0}} P_0$, а скорость тепловыделения — $\left(\sqrt{\frac{M}{M+m_0}}\right)^3 P_0$. Тогда запишем уравнение теплобаланса: $C_{\text{дв}} \Delta T = \left(\left(\sqrt{\frac{M}{M+m_0}} \right)^3 P_0 - \sqrt{\frac{M}{M+m_0}} P_0 \right) \Delta t = \frac{m_0}{M+m_0} \sqrt{\frac{M}{M+m_0}} P_0 \Delta t, \text{ откуда}$ находим $\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{m_0}{M+m_0} \sqrt{\frac{M}{M+m_0}} \frac{P_0}{C_{\text{дв}}} = -0,067 \frac{\text{град}}{\text{с}}$. Минус означает убывание температуры.	3 + 1 (ф-ла + число)
А)	Основную роль при защите от нагрева обмоток статора играет принудительное охлаждение при вращении ротора (ротор работает как вентилятор). Пассивное охлаждение, связанное с законом Ньютона — Рихмана, играет значительно меньшую роль. Внешняя вращающаяся часть мотора (внешний ротор) способствует более эффективному охлаждению обмоток статора (нагрев меньше), так как в этом случае скорость вращающейся части больше из-за ее большего радиуса (при одинаковых оборотах). Соответственно, сопротивление воздуху у такой вращающейся части выше, то есть меньше КПД (это недостаток). Вращающий момент внешнего ротора также выше (это его достоинство), так как плечо вращения или радиус ротора в этом случае больше.	1 + 1

Задача 5

1)	Условие равномерного снижения при установившейся скорости с учетом массы купола: $\frac{\rho v^2}{2} \pi R^2 = (m + 2\pi\sigma R^2)g$, откуда $R = \sqrt{\frac{mg}{\pi\left(\frac{\rho v^2}{2} - 2\sigma g\right)}} \approx 72 \text{ см.}$	3 + 2 (ф-ла + число)
2)	С отверстием баланс сил изменится: $\frac{\rho(v + \Delta v)^2}{2} \pi R^2 (1 - 0,0025) = [m + 2\pi\sigma R^2 (1 - 0,0025)]g.$ Скорость повысится на $\Delta v/v = 0,1\%$, или в 1,001 раза.	2
3)	По закону сохранения расхода несжимаемого воздуха $\pi R^2 v = 0,0025 \pi R^2 V$ его скорость V возрастет в 400 раз и многократно превысит скорость звука (2000 м/с $\gg$ 340 м/с!). Этот результат засчитываем как правильный.	1 (число)

	В решении должен быть комментарий, показывающий, что учащийся понимает фантастичность этой цифры, например, такой: понятно, что результат не реальный, в противном случае мы бы слышали сильный свист при раскрытии купола из-за перехода на сверхзвук. Скорее всего, частично воздух все же выходит из-под краев парашюта, а в отверстии поток сжимаемый. Достаточно одного предложения из двух.	1 (пояснение)
А)	С отверстием площадь парашюта несколько уменьшится, сила сопротивления также уменьшится (сила тяжести при этом изменится гораздо слабее силы сопротивления), то есть скорость снижения немного возрастет, если считать ее в обоих случаях поступательной. Устойчивость движения купола с отверстием увеличится. Воздух будет выходить из-под купола не по краям, раскачивая и деформируя купол, а устремится (в основном) через центральное отверстие, где турбулизация потока на кромках отверстия (они тоже плохо обтекаются, как и края купола) создает меньший вращательный момент из-за уменьшения плеча (радиуса отверстия).	1

Олимпиада «Физтех.инженер» 22 марта 2025 г.

Решения заданий заключительного тура. 9 класс.

Вариант 2

Задача 1

1)	Если каждая лопасть винта обтекается независимо и плотность постоянна, то работает закон сохранения объемного расхода — захват воздуха каждой лопастью винта и формирование под винтом общего вертикального потока площадью S: до обрыва лопасти $6S_{\text{л}}v_{\text{окр}} = Sv_1$, после обрыва — $5S_{\text{л}}v_{\text{окр}} = Sv_2$. В итоге после обрыва лопасти скорость потока снизилась на 17%. Сила тяги винта пропорциональна квадрату скорости, поэтому снизилась до 69% от начальной. Винт, находящийся на одной диагонали с поврежденным, снизит обороты (снизит силу тяги квадратично в зависимости от частоты, то есть на 31%), чтобы скомпенсировать изменение момента силы аварийного винта, а на другой диагонали два винта на столько же должны повысить обороты (увеличить силу тяги на 31%), чтобы суммарная сила тяги не изменилась. При этом возникнет вращение в горизонтальной плоскости вокруг центра масс.	2 (за проценты)
2)	Тяговая мощность — это произведение силы на скорость прокачки воздуха через винт, сила снизилась на 31%, а скорость — на 17% (так как она пропорциональна числу оборотов), поэтому мощность снизилась на 42%.	2
3)	Амплитуда колебаний находится как $A = X_1 - X_2$, то есть разность смещений центров масс коптера при двух диаметрально противоположных ориентациях оторванной лопасти (самое близкое расположение к геометрическому центру и самое удаленное от него). Оторванная лопасть моделируется отрицательной массой на удалении $L/2$ от центра поврежденного винта, который, в свою очередь, удален от центра масс квадрокоптера на расстояние h (центр масс квадрокоптера поместим в начало координат). $X_1 = [0 \cdot M + m(h + L/2)] / (M - m)$, $X_2 = [0 \cdot M + m(h - L/2)] / (M - m)$, то есть $A = mL / (M - m) = 0,1$ мм. Амплитуда скорости вибрации $A\omega = 5$ мм/с. Поскольку длительность измерения скорости датчиком гораздо больше времени одного колебания, то колебательное ускорение усредняется и не влияет на точность в выделенном направлении движения, а если бы и влияло, то ничтожно мало — на 0,5% от первоначальной неточности.	2 + 1 (ф-ла + число)
A)	Моменты сил, которые передаются на корпус от вращающихся двигателей, направлены в противоположную сторону относительно направления вращений лопастей (по третьему закону Ньютона). До аварии моменты от разных винтов были скомпенсированы и вращения корпуса не происходило. После аварии мотор 1 не изменил обороты, но уменьшил момент силы сопротивления воздуха относительно вертикальной оси (стало на одну лопасть меньше — аэродинамическое сопротивление упало), а мотор 2 уменьшил как скорость вращения, так и момент силы сопротивления винта относительно	2

	вертикальной оси (моменты сил винтов 1 и 2 направлены по часовой стрелке). Моторы 3 и 4 увеличили обороты и моменты сил против часовой стрелки. Общий момент сил винтов после аварии оказался направлен против часовой стрелки, поэтому момент силы реакции, действующий на корпус, и вращение самого корпуса направлены по часовой стрелке.	
Б)	Датчик скорости на самолетах и коптерах может быть основан на применении приемника воздушного давления, воздух в котором тормозится и создает давление скоростного напора, которое воспринимается по прогибу мембраны. Зачтется любой физически работоспособный механизм.	1

Задача 2

1)	Зная массу, плотность и длину, найдем внешний диаметр оптоволоконной нити $d = 2(m/\pi\rho L)^{1/2} = 0,5$ мм. Радиус загиба r находим из формулы предельного угла полного внутреннего отражения: нужно, чтоб падающий изнутри на боковую поверхность нити (при ее загибе) луч отражался внутрь волокна, но не преломлялся и не выходил через оболочку наружу. Причем из множества лучей, падающих нормально на торец волокна, надо выбрать тот, который заходит в волокно вдоль его внутренней (относительно загиба) стенки и удален от центра дуги изгиба на минимальный радиус $r - d$. В самом деле, если для данного луча реализовался случай внутреннего отражения, то для других лучей полное отражение тем более реализовалось. Итак, $r \geq d \cdot n_1 / (n_1 - n_2) = 14,6$ мм. Диаметр намотки меняется от 29,2 мм до 100 мм, число витков в плоскости поперечного сечения катушки $N = 270-271$, соответствующая длина волокна $S = 2\pi(R + r)N/2 = 139,5$ м. Поэтому длина катушки $x = d \cdot L / S = 9,1$ см.	4
2)	Записываем закон преломления на торце волновода $n \sin \varphi = n_1 \sin \beta$ и выражаем угол падения луча изнутри на боковую поверхность волокна через апертурный угол. С другой стороны, в предельном случае, это должен быть угол полного внутреннего отражения, иначе излучение при каждом отражении будет частично выходить наружу и быстро затухнет, то есть $\sin \varphi \leq n_1 \cos \alpha_0 = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_0} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 0,38$. Угол апертуры $\varphi < 22^\circ$.	3
А)	Обычно функцию волновода в оптоволоконной нити выполняет не оболочка, а сердцевина оптоволоконной нити, в которой вдоль радиуса от центра к периферии уменьшается коэффициент преломления. Кроме того, в модели не учтено затухание и рассеивание светового сигнала на дефектах и примесях при распространении света в безотражательном режиме.	1
Б)	Оптоволоконно может зацепиться за препятствие и оборваться; кроме того, из-за веса катушки с оптоволоконным снижается дальность полета, либо снижается полезная нагрузка коптера. При ограничениях снизу на радиус намотки катушка будет не очень компактна, что повлечет, в том числе, увеличение силы лобового сопротивления коптера. Кроме того, в полете нить может образовывать петли, которые могут цепляться за препятствия и за счет этого затягиваться, то есть	1

	уменьшать свой радиус, а чем меньше их радиус, тем более вероятно, что такие петли нарушат закон полного отражения и негативно повлияют на передачу сигнала.	
В)	Дрон на оптоволокне не должен совершать резких эволюций, особенно обратных движений со снижением, чтобы оптоволокно не попало в винты.	1

Задача 3

1)	По теореме косинусов $\Delta F = F \cdot (1,81 - 1,8 \cos \alpha)^{1/2} = 0,267F = 32,7 \text{ кН}$.	5
2)	$2M = \Delta F \cdot L + 7mgH \cos \alpha \sim 10,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$ или $M \sim 5,3 \text{ кН} \cdot \text{м}$. В действительности угол, под которым действует боковая сила на внутреннюю стенку, не равен 90° , он больше примерно на $\alpha/2 = 7,5^\circ$, но этим можно пренебречь.	3
А)	Только с помощью ОВТ можно добиться эффекта, когда самолет «стоит на хвосте» при нулевой скорости полета (когда аэродинамические органы управления не работают) — этот прием нужен истребителям для срыва сопровождения радаром противника. В целом, ОВТ лучше проявляет себя на малых скоростях полета или после срыва потока обтекания, когда эффективность аэродинамического управления снижена. Разворот за счет ОВТ более быстр и имеет меньший радиус по сравнению с разворотом за счет аэродинамического управления. К тому же ОВТ дополнительно дублирует аэродинамическое управление, повышая надежность при отказе последнего (могут быть другие правильные ответы).	1
Б)	Если отклонять вектор тяги каждого сопла во взаимно перпендикулярных направлениях (оба в плоскости, перпендикулярной оси двигателя), то комбинацией их величин можно добиться отклонения вектора тяги в любом направлении относительно оси двигателя. (Могут быть другие правильные ответы.)	1

Задача 4

1)	По вертикали в режиме зависания (когда развивается F_T), а также в горизонтальном полете (когда сила тяги увеличена до $1,21F_T$) соблюдается одинаковый баланс сил $Mg = F_T$. Тяга двигателя увеличивается в 1,21 раза, частота оборотов и скорость потока — в $\sqrt{1,21} = 1,1$, а потребляемая мощность винта возрастает в $(\sqrt{1,21})^3$ раз. Так как тепловая мощность и мощность двигателя пропорциональны квадрату тока, то они обе возрастают в $(\sqrt{1,21})^3 = 1,33$ раз. Тогда запишем уравнение теплового потока для начального состояния $P_{то} = kv_{п}\Delta T_0$ и для конечного потока $(\sqrt{1,21})^3 P_{то} = k\sqrt{1,21}v_{п}\Delta T_1$, делим одно выражение на второе, получаем $\Delta T_1 = 1,21\Delta T_0 = 12,1^\circ$.	3 + 1 (ф-ла + число)
----	---	----------------------------

2)	Температура двигателя не успела измениться сразу после увеличения оборотов двигателя (возросла только скорость обтекания), поэтому скорость теплоотвода равна $\sqrt{1,21}P_0$, скорость тепловыделения — $(\sqrt{1,21})^3 P_0$, тогда запишем уравнение теплобаланса: $C_{\text{дв}}\Delta T = (1,3P_0 - 1,1P_0)\Delta t = 1,23P_0\Delta t$, откуда находим $\frac{\Delta T}{\Delta t} = 1,23 \frac{P_0}{C_{\text{дв}}} = 0,46 \text{ град/с}$.	3 + 1 (ф-ла + число)
A)	Аккумулятор в центре масс коптера значительно хуже обдувается его винтами. Поэтому на эффективность его охлаждения влияет в большей степени не скорость струй воздуха от винтов, а скорость полета коптера. Таким образом, наименее эффективный режим охлаждения аккумулятора наступает при зависании, а наиболее эффективный — при движении коптера перпендикулярно открытой поверхности аккумулятора, чтобы он лучше омывался воздухом. Для электродвигателя режим полета не так важен.	1
	С точки зрения отличий конструкции эффективность теплоотдачи аккумулятора связана с его значительно большей площадью поверхности, нежели у компактного электромотора. Кроме того, есть еще одно важное отличие — материалы аккумулятора (например, электролит) допускают значительно меньший перегрев, нежели обмотки электромотора.	1

Задача 5

1)	Условие равномерного снижения при установившейся скорости с учетом массы купола и отверстия: $\frac{\rho v^2}{2} \pi R^2 (1 - 0,0044) = [m + 2\pi\sigma R^2 (1 - 0,0044)]g$, откуда $v = 4,835 \text{ м/с}$ (если $g = 9,81 \text{ м/с}^2$).	3 + 2 (ф-ла + число)
2)	Аналогично п. 1: $\frac{\rho(v - \Delta v)^2}{2} \pi R^2 = (m + 2\pi\sigma R^2)g$, откуда $v - \Delta v = 4,828 \text{ м/с}$ (если $g = 9,81 \text{ м/с}^2$). Скорость снизится на 0,7%.	2
3)	Из предыдущих уравнений плотность воздуха должна возрасти: $\frac{\rho_2(v - \Delta v)^2}{2} = \frac{\rho v^2}{2}$. Плотность возрастет на 1,4%, до $1,306 \text{ кг/м}^3$. Для этого должно стать холоднее.	1 + 1 (ф-ла + число)
A)	Без отверстия площадь парашюта несколько увеличится, сила сопротивления также увеличится (изменением силы тяжести купола можно пренебречь по сравнению с изменением силы сопротивления), то есть скорость снижения немного упадет, если считать движение поступательным. В действительности движение перестанет быть поступательным, устойчивость купола без отверстия снизится. Воздух будет выходить несимметрично из-под купола по краям, раскачивая и деформируя купол, вместо того чтобы идти через центральное отверстие, стабилизируя полет.	1