

Олимпиада «Физтех.инженер» 2 марта 2024 года

Решения заданий заключительного тура. 8 класс.

Вариант 1

Задача 1

|  |   |
|--|---|
| Разделим расстояние между основаниями стрелок пополам и будем считать, что стрелка относится к участку крыла между соседними точками деления. Длины этих участков $\delta_i$ , помноженные на длину стрелки $q_i$ , пропорциональны силам, действующим на соответствующие участки: | 1 |
| $F_i = \delta_i q_i.$  |   |
| Измерения производятся по рисунку линейкой в сантиметрах или миллиметрах, а затем с использованием масштаба переводятся в метры и килоньютоны.   |   |
| Имеется сосредоточенная сила $F$ , для которой не нужно находить длину участка $\delta_i$ .  |   |
| Для вычисления момента проводим линии действия сил вдоль стрелок и опускаем из полюса перпендикуляры на них, определяя плечи сил $l_i$ (сначала линейкой в сантиметрах или миллиметрах, а затем, масштабируя, в метрах).   | 1 |
| Масштаб: $q_1 = 150 \text{ Н/м} = 3,5 \text{ см}$ , $L_1 = 12 \text{ м} = 20 \text{ см}$ .   | 1 |
| Большинство стрелок расположено параллельно друг другу на расстоянии $\delta = \frac{19,35 \text{ см}}{28} = 0,69 \text{ см}$ , поэтому их плечи могут быть легко рассчитаны: $l_i = i\delta$ .  | 2 |

Заполненная таблица: 2 балла.

| $i$                | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13    | 14    |
|--------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| $f_+$ , см         | 1,15  | 1,9  | 4,3  | 4,4  | 4,3  | 4,2  | 4    | 3,8  | 3,5  | 3,3  | 3,1  | 3    | 3,25  | 3,4   |
| $f_-$ , см         | 1,2   | 1,3  | 1,4  | 1,4  | 1,4  | 1,4  | 1,4  | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35  | 1,35  |
| $f_i$ , см         | -0,05 | 0,6  | 2,9  | 3    | 2,9  | 2,8  | 2,6  | 2,45 | 2,15 | 1,95 | 1,75 | 1,65 | 1,9   | 2,05  |
| $\delta_i$ , см    | 0,6   | 1    | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69  | 0,69  |
| $l_i$ , см         | 0,69  | 1,38 | 2,07 | 2,76 | 3,45 | 4,14 | 4,83 | 5,52 | 6,21 | 6,9  | 7,59 | 8,28 | 8,97  | 9,66  |
| $f_i \delta_i l_i$ | -0,02 | 0,83 | 4,14 | 5,71 | 6,90 | 8,00 | 8,67 | 9,33 | 9,21 | 9,28 | 9,16 | 9,43 | 11,76 | 13,66 |

| $i$                | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $f_+$ , см         | 3,65  | 3,7   | 3,8   | 3,75  | 3,7   | 3,6   | 3,5   | 3,3   | 3,1   | 2,8   | 2,5   | 2,2   | 1,8   | 1,2   |
| $f_-$ , см         | 1,35  | 1,3   | 1,3   | 1,3   | 1,25  | 1,2   | 1,2   | 1,1   | 1,05  | 0,95  | 0,85  | 0,75  | 0,55  | 0,3   |
| $f_i$ , см         | 2,3   | 2,4   | 2,5   | 2,45  | 2,45  | 2,4   | 2,3   | 2,2   | 2,05  | 1,85  | 1,65  | 1,45  | 1,25  | 0,9   |
| $\delta_i$ , см    | 0,69  | 0,69  | 0,69  | 0,69  | 0,69  | 0,69  | 0,69  | 0,69  | 0,69  | 0,69  | 0,69  | 0,69  | 0,69  | 0,69  |
| $l_i$ , см         | 10,35 | 11,04 | 11,73 | 12,42 | 13,11 | 13,8  | 14,49 | 15,18 | 15,87 | 16,56 | 17,25 | 17,94 | 18,63 | 19,32 |
| $f_i \delta_i l_i$ | 16,43 | 18,28 | 20,23 | 21,00 | 22,16 | 22,85 | 23,00 | 23,04 | 22,45 | 21,14 | 19,64 | 17,95 | 16,07 | 12,00 |

|  |   |   |
|--|---|---|
|  | $M_1 = \sum f_i \delta_i l_i = 382 \text{ см}^3$  | 1 |
|  | С учетом масштаба<br>$M_1 = 382 \text{ см}^3 \cdot \frac{150 \text{ Н/м}}{3,5 \text{ см}} \cdot \left( \frac{12 \text{ м}}{20 \text{ см}} \right)^2 = 6 \text{ кН} \cdot \text{м}$ против часовой стрелки. Это момент от распределенной силы. | 1 |
|  | Момент силы $F$ : $M_2 = 12F\delta = 100 \text{ кН} \cdot \text{м}$   |   |
|  | Суммарный момент: $M = M_1 - M_2 = -94 \text{ кН} \cdot \text{м}$ по часовой стрелке.   | 1 |

### Задача 2

|    |  |                             |
|----|--|-----------------------------|
| А) | Составлено уравнение теплового баланса для расчета теплоты.  | 1                           |
|    | Уравнение поделено на время, совершен переход к мощности (в уравнениях появляются скорости подачи стержней).   | 1                           |
|    | Приравнены тепловые мощности, затрачиваемые на плавление обоих стержней, и найдено $v_2 = v_1 \frac{\lambda_1 d_1^2 \rho_1}{\lambda_2 d_2^2 \rho_2} = 5,8 \text{ мм/с}$ .  | 1 + 1<br>(ф-ла + число)     |
| Б) | Массовый расход твердого материала клеевого стержня равен массовому расходу вытекающего клея. Это верно по отдельности для обоих стержней:<br>$\rho_1 v_1 S_1 = \rho U_1 s$ ; $\rho_2 v_2 S_2 = \rho U_2 s$ .  | 2                           |
|    | Делим эти уравнения друг на друга с учетом данных из пункта А, получаем<br>$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = 0,47$ .  | 1 + 1<br>(ф-ла + число)     |
| В) | Можно регулировать давление на курок при постоянной скорости ведения носика пистолета по материалу (давление меньше => скорость вытекания меньше => шов тоньше => он быстрее застывает); можно регулировать скорость ведения пистолета по шву при постоянном массовом расходе клея (увеличиваем скорость ведения носика по материалу => уменьшаем толщину шва => шов быстрее застывает). | по 1 баллу за каждый фактор |

### Задача 3

|    |  |                         |
|----|--|-------------------------|
| А) | По закону Джоуля — Ленца тепло $Q = I^2 r t$ . С другой стороны, согласно определению тока через изменение заряда, $I = 0,6 \cdot q / t$ . Выражаем внутреннее сопротивление $r = Q t / (0,36 \cdot q^2) = 0,072 \text{ Ом}$ . | 1 + 1<br>(ф-ла + число) |
| Б) | В режиме максимальной мощности внутреннее сопротивление (сопротивление батареи) равно сопротивлению нагрузки (т. е. сопротивлению мотора), этот факт должен быть четко сформулирован, доказывать не обязательно.               | 1                       |
|    | Анализируем максимум параболы мощности как функции от тока, ветви которой направлены вниз. Тогда ток разрядки $I = U / r = 70 \text{ А}$ .   | 1 + 1<br>(ф-ла + число) |
|    | КПД в этом режиме равен 50%.   | 1                       |

|    |  |                         |
|----|--|-------------------------|
| В) | При старгивании сила тяги равна силе трения покоя. Максимальное ускорение будет достигнуто при максимальной силе тяги, равной силе трения скольжения $a_{\max} = kg = 5 \text{ м/с}^2$ . | 1                       |
|    | Мощность электродвигателя $U^2 / R$ равна механической мощности $FV$ , где $F = k(m + M)g$ . Таким образом, $V = U^2 / Rk(m + M)g = 0,008 \text{ м/с}$ .                                 | 2 + 1<br>(ф-ла + число) |

#### Задача 4

|    |   |     |
|----|---|-----|
| А) | Изменение уровня $H$ находится, как следствие закона статики, из равенства давления скоростного напора воздуха, отбрасываемого винтом, и гидростатического давления воды при перепаде высоты. | 1   |
|    | Давление воздуха можно заменить на давление веса машины, опирающегося на площадь круга, заметаемого лопастями.  | 1   |
|    | Получаем формулу $H = m/S\rho$ .  | 1,5 |
|    | Из рисунка надо правильно выбрать диаметр винта — лучше всего подходит $D = 21,294 \text{ м}$ .   | 1,5 |
|    | Хуже подходят размеры 18,424 м, 23,398 м, 25,352 м.   | 0,5 |
|    | Плотность воды надо задать самостоятельно как $1000 \text{ кг/м}^3$ , тогда изменение уровня воды $H = 11000/(3,14 \cdot 21,294^2/4 \cdot 1000) = 3 \text{ см}$ .                             | 2   |
| Б) | Около поверхности воды топлива будет тратиться меньше, чем на высоте 1 км.  | 1   |
|    | Причина 1: плотность воздуха внизу выше, что увеличивает тягу винта.  | 1   |
|    | Причина 2: вблизи винта создается дополнительное давление из-за разворота потока.   | 1   |

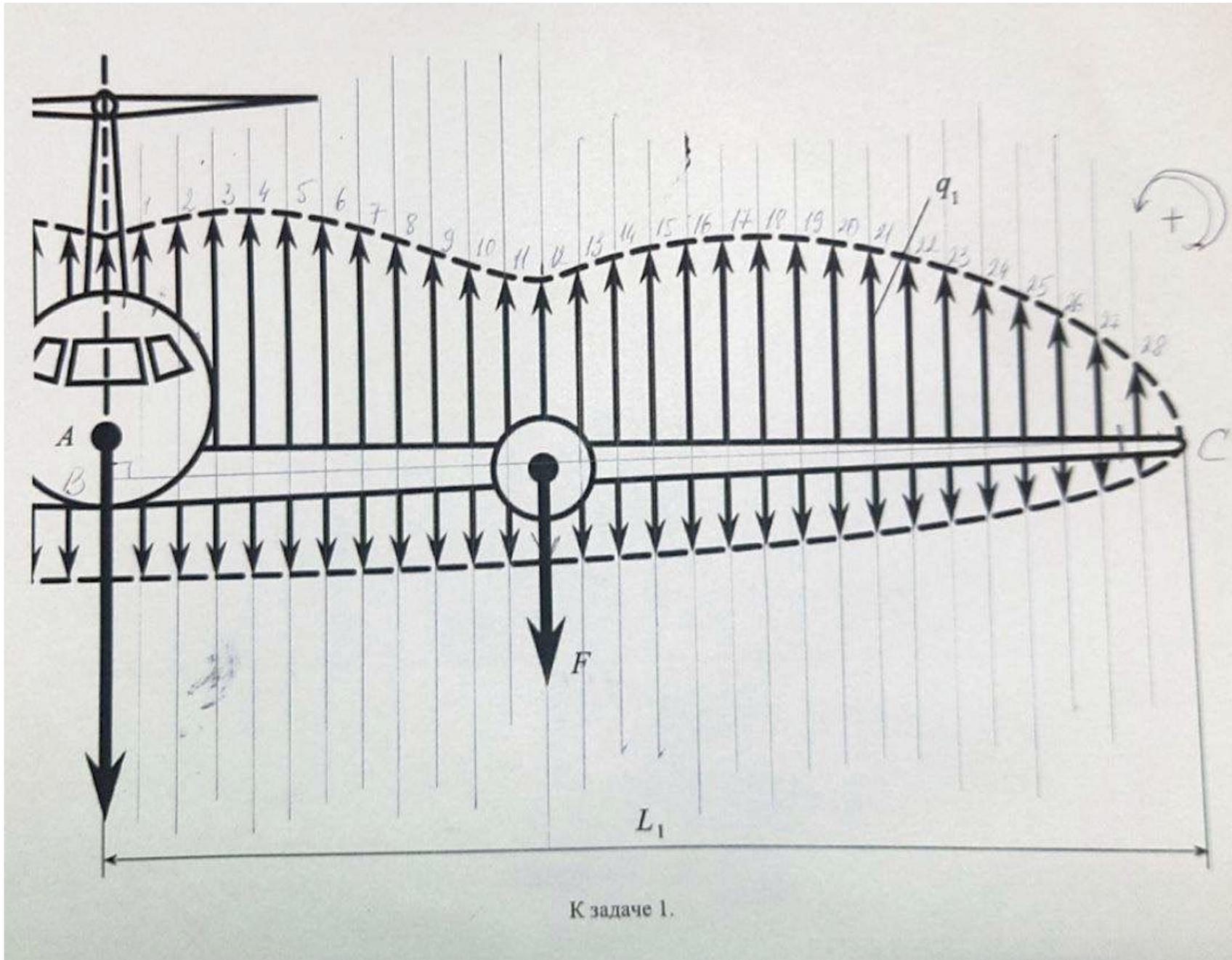
#### Задача 5

|    |  |                         |
|----|--|-------------------------|
| А) | Максимальное число воздействий находится делением диаметра пятна на шаг перемещения между соседними импульсами. Длительность импульса не учитывать, т.к. она очень мала по сравнению с периодом следования импульсов. $N = 1000 \text{ Гц} \cdot 50 \text{ мкм}/(1 \text{ мм/с}) = 50$ .   | 2 + 3<br>(ф-ла + число) |
| Б) | Средняя мощность $P = W/T = 0,001 \text{ Дж} \cdot 1000 \text{ Гц} = 1 \text{ Вт}$ .   | 1 + 1<br>(ф-ла + число) |
| В) | Вода обладает большой теплоемкостью, без нее возможен перегрев; тогда металл достигнет аморфного состояния, предшествующего плавлению, — накопленные деформации пропадут вместе с разрушением кристаллической решетки.   | 1                       |
|    | Аморфное состояние без контакта с водой легче достигается у легкоплавких металлов (низкая удельная теплота плавления) с низкой теплопроводностью. Низкая теплопроводность не позволяет отводить тепло в подложку (в более глубокие слои металла). Поэтому без воды можно упрочнять только тугоплавкие металлы с высокой теплопроводностью. | 1                       |

|  |   |   |
|--|---|---|
|  | Кроме того, без воды труднее реализовать ударное воздействие на металл. В принципе, кавитирующая полость может образоваться из плазмы, которая возникает при оптическом пробое газа даже без воды. Но ударное воздействие от плазменного разряда слабее (т.к. в этом случае полость схлопывается в менее плотной газовой среде), и не все металлы достигнут пластической деформации в этом случае (возможно, без воды достигнут деформации более пластичные металлы). | 1 |
|  | <i>Ответы могут быть сформулированы и немного по-другому, но исходя из тех же принципов.</i>  |   |

### Задача 6

|    |  |   |
|----|--|---|
|    | Центр тяжести равностороннего треугольника находится на $2/3$ его медианы, считая от вершины. Для крыла это расстояние равно 5,2 м, для ГО — 2,7 м.  | 1 число:<br>2 балла;<br>2 числа:<br>3 балла |
| А) | Центр тяжести фюзеляжа находится ровно посередине.   | 1   |
|    | $x_{ц.т.} = \frac{5000 \cdot 7,5 + 1000 \cdot 8,2 + 100 \cdot 13,7 + 50 \cdot 13}{5000 + 1000 + 100 + 50} = 7,76 \text{ м}$  | 1   |
| Б) | $V = 250/310 = 0,8$ . Такой зависимости нет на рис. 2, нужно взять среднее для $C_y$ на $M = 0,7$ и $M = 0,9$ .  | 1   |
|    | На угле атаки $\alpha = 2^\circ$ коэффициент подъемной силы $C_y = 0,12$ . Тогда подъемная сила $Y = 0,12 \cdot 0,5 \cdot 0,526 \cdot 250^2 \cdot 35 = 69 \text{ кН}$ , что приближенно соответствует весу 7 т.            | 2   |
| В) | Если центр давления на крыле находится перед центром тяжести, то в горизонтальном полете нагрузка на ГО направлена вверх и, наоборот, если центр давления находится за центром тяжести, то нагрузка на ГО направлена вниз. | 2   |



К задаче 1.

Олимпиада «Физтех.инженер» 2 марта 2024 года

Решения заданий заключительного тура. 8 класс.

Вариант 2

Задача 1

|  |   |
|--|---|
| Разделим расстояние между основаниями стрелок пополам и будем считать, что стрелка относится к участку крыла между соседними точками деления. Длины этих участков $\delta_i$ , помноженные на длину стрелки $q_i$ , пропорциональны силам, действующим на соответствующие участки: | 2 |
| $F_i = \delta_i q_i.$  |   |
| Измерения производятся по рисунку линейкой в сантиметрах или миллиметрах, а затем с использованием масштаба переводятся в метры и килоньютоны.   |   |
| Силы, показанные серыми стрелками, вследствие симметрии момент не создают.   |   |
| Для вычисления момента проводим линии действия сил вдоль стрелок и опускаем из полюса перпендикуляры на них, определяя плечи сил $l_i$ (сначала линейкой в сантиметрах или миллиметрах, а затем, масштабируя, в метрах).   | 1 |
| Масштаб: $q_1 = 4 \text{ кН/м} = 4,5 \text{ см}$ , $L_2 = 3 \text{ м} = 14,2 \text{ см}$ .   | 1 |

Заполненная таблица: 4 балла.

| $i$                    | 1     | 2     | 3     | 4    | 5    | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12   | 13   | 14    |
|------------------------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| $f_i, \text{ см}$      | -1,25 | -5,5  | -6,6  | 6,5  | 6,1  | 5,2   | 4,5   | 3,4   | 2,5   | 1,9   | 1     | 1,7  | 2,1  | -1,25 |
| $\delta_i, \text{ см}$ | 0,85  | 0,9   | 0,8   | 1    | 1,3  | 1,4   | 1,4   | 1,4   | 1,3   | 1,2   | 2     | 0,6  | 0,9  | 0,85  |
| $l_i, \text{ см}$      | 1,95  | 1     | 0,3   | 0,2  | 1,25 | 2,75  | 4,25  | 5,55  | 6,8   | 7,8   | 8,9   | 2,6  | 1,9  | 1,95  |
| $f_i \delta_i l_i$     | -2,07 | -4,95 | -1,58 | 1,30 | 9,91 | 20,02 | 26,78 | 26,42 | 22,10 | 17,78 | 17,80 | 2,65 | 3,59 | -2,07 |

| $i$                    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $f_i, \text{ см}$      | -1,85 | -1,7  | -1,4  | -1,2  | -1    | -0,8  | -0,4  |
| $\delta_i, \text{ см}$ | 1,4   | 1,4   | 1,45  | 1,3   | 1,3   | 1,3   | 2     |
| $l_i, \text{ см}$      | 0,7   | 2,1   | 3,6   | 5,15  | 6,2   | 7,5   | 8,8   |
| $f_i \delta_i l_i$     | -1,81 | -5,00 | -7,31 | -8,03 | -8,06 | -7,80 | -7,04 |

|  |   |
|--|---|
| $M_1 = \sum f_i \delta_i l_i = 96,4 \text{ см}^3$  | 1 |
| С учетом масштаба: $M_1 = 382 \text{ см}^3 \cdot \frac{4 \text{ кН/м}}{4,5 \text{ см}} \cdot \left( \frac{3 \text{ м}}{14,2 \text{ см}} \right)^2 = 3,8 \text{ кН} \cdot \text{м}$ против часовой стрелки. | 1 |

Задача 2

|    |   |                             |
|----|---|-----------------------------|
| А) | Доля потерь равна $1 - x$ . Записан баланс тепла между электронагревателем и плавящимся стержнем: $xNt = \Delta m\lambda$ .   | 1                           |
|    | Уравнение поделено на время, совершен переход к мощности электронагревателя и к скорости подачи стержня: $xN = \rho_1 v_1 (\pi d_1^2 / 4) \lambda_1$ .  | 1                           |
|    | Выражены потери: $1 - x = 1 - \frac{\pi \lambda_1 d_1^2 v_1 \rho_1}{4N} = 0,74$ .   | 1 + 1<br>(ф-ла + число)     |
| Б) | Массовый расход твердого материала клеевого стержня равен массовому расходу вытекающего клея: $\rho_1 v_1 S_1 = \rho U_1 s$   | 2                           |
|    | Получено выражение для скорости: $U_1 = \frac{\pi d_1^2 \rho_1}{4S\rho} v_1 = 28,3$ мм/с.   | 1 + 1<br>(ф-ла + число)     |
| В) | В конструкции предусмотрена смена носика (уменьшаем отверстие => снижаем расход клеевого расплава, т. е. уменьшаем производительность); в конструкции предусмотрена смена температуры нагрева (уменьшаем температуру => снижаем тепловую мощность => снижаем расход клеевого расплава, т. е. уменьшаем производительность). | по 1 баллу за каждый фактор |

Задача 3

|    |  |                         |
|----|--|-------------------------|
| А) | Сопротивление $R = 0,43$ Ом, мощность $N = 10 \cdot IU = 10 \cdot (0,7q/t)U = 58$ Вт.  | 1 + 1<br>(ф-ла + число) |
| Б) | При постоянной скорости сила тяги равна силе сопротивления воздуха:<br>$F_{\text{сопр}} = F_{\text{тяги}} = 10 \frac{UI}{V} = 12$ Н.   | 1 + 1<br>(ф-ла + число) |
| В) | Закон сохранения энергии при постоянной скорости движения $V_1$ : $qU = LF_{\text{тяги}1}$ , где $F_{\text{тяги}1} = F_{\text{сопр}1} = AV_1^2$ и $A = F_{\text{сопр}} / V^2 = 12/25$ Н·(с/м) <sup>2</sup> (из пункта Б).<br>Баланс мощности $U^2 / R = AV_1^3$ или $V_1 = 2,1$ м/с. Отсюда<br>$L = qUV^2 / (V_1^2 F_{\text{сопр}}) = 90$ км | 4 + 2<br>(ф-лы + число) |

Задача 4

|    |  |           |
|----|--|-----------|
| А) | Скорость растекания $u$ из-под законцовок лопастей — это скорость растекания через боковую поверхность цилиндра. | 1         |
|    | Его высота $h = 4,756$ м.  | 1         |
|    | Диаметр $D = 21,294$ м.  | 1         |
|    | Хуже подходят другие вертикальные (5,321 м) и горизонтальные (18,424 м, 23,398 м, 25,352 м) размеры с рисунка.   | 0,5 + 0,5 |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    | С другой стороны, этот поток создается несущим винтом и направлен вертикально вниз. При несжимаемом воздухе горизонтальный и вертикальный потоки равны.  | 1 |
|    | Получаем формулу $\pi D h u = \pi D^2 v / 4$ или $u = v D / 4 h$ .   | 1 |
|    | При зависании, по закону статики, сила тяжести вертолета равна силе тяги винта $0,5 \cdot \rho v^2 \pi D^2 / 4 = mg$ или $v^2 = 8 \cdot mg / \pi \rho D^2$   | 1 |
|    | или $u^2 = mg / 2 \pi \rho h^2$ или $u = 25$ м/с.  | 2 |
| Б) | Над твердой горизонтальной поверхностью топлива тратится меньше, чем над водой,  | 1 |
|    | так как кроме потерь на разворот потока воздуха с вертикального на горизонтальное (оно есть в обоих случаях), в случае с водой есть еще потери на разгон потоков воды, на создание волн, на жидкое трение. | 1 |

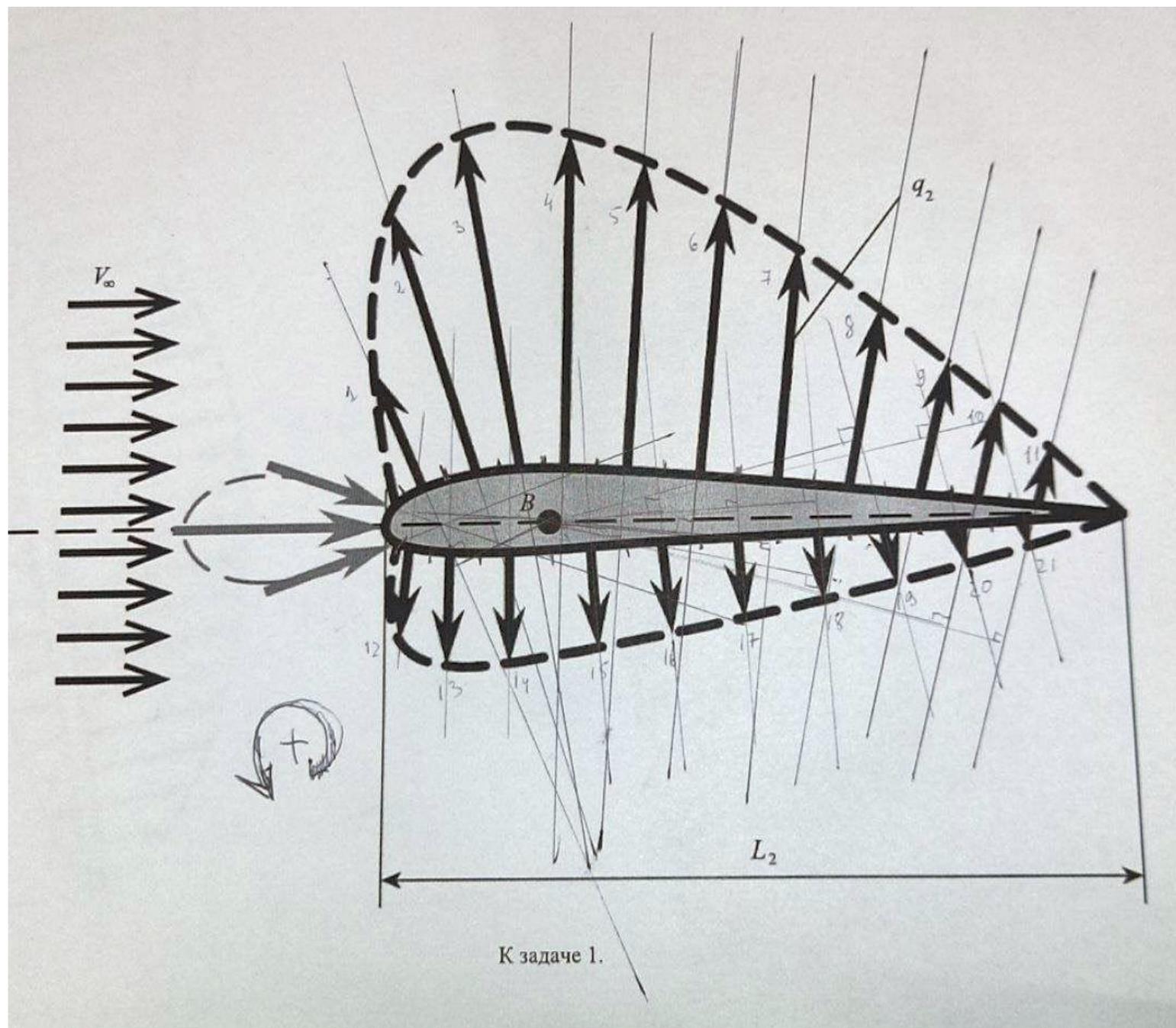
### Задача 5

|    |   |                                     |
|----|---|-------------------------------------|
| А) | Максимальное число воздействий $N$ находится делением диаметра пятна на шаг перемещения между соседними импульсами. Длительность импульса не надо учитывать, т.к. она очень мала по сравнению с периодом следования импульсов. $N = 1000 \text{ Гц} \cdot 50 \text{ мкм} / (1 \text{ мм/с}) = 50$ , поэтому флюенс, с учетом накопления энергии, равен $WN / \frac{1}{4} \pi D^2 = 2 \cdot 10^{11} / (3,14 \cdot 2500) \text{ Дж/м}^2 = 2,6 \text{ кДж/см}^2$ . | 3 + 3<br>(ф-ла + число)             |
| Б) | Мощность в отдельном импульсе $1 \text{ мДж} / 1 \text{ нс} = 10^6 \text{ Вт}$ .  | 1 + 1<br>(ф-ла + число)             |
| В) | Перечислим возможные виды потерь: потери на отражение лазера от поверхности кюветы (или от поверхности воды); потери на поглощение излучения в воде; потери на отражение от поверхности металла в воде; потери на теплопроводность металла (тепло уходит в подложку); потери на теплопроводность и вязкость воды при ее контакте с расширяющейся паровой каверной.  | 2 балла<br>(не менее трех факторов) |
|    | <i>Ответ может быть сформулирован и по-другому (могут быть добавлены более мелкие вклады в теплопотери).</i>  |                                     |

### Задача 6

|    |   |   |
|----|---|---|
| А) | Центр тяжести равностороннего треугольника находится на $2/3$ его медианы, считая от вершины. Для крыла это расстояние равно 4,6 м, для ГО — 2,3 м. | 1 число:<br>2 балла;<br>2 числа:<br>3 балла |
|    | Центр тяжести фюзеляжа находится ровно посередине.  | 1   |
|    | $x_{\text{ц.т.}} = \frac{3500 \cdot 6 + 800 \cdot 6,6 + 100 \cdot 10,8 + 50 \cdot 10,25}{3500 + 800 + 100 + 50} = 6,26 \text{ м}$ .                 | 1   |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    | $V = 210/300 = 0,7$ . Такой зависимости нет на рис. 2, нужно взять среднее для $C_y$ на $M = 0,6$ и $M = 0,8$ .  | 1 |
| Б) | На угле атаки $\alpha = 4^\circ$ коэффициент подъемной силы $C_y = 0,16$ . Тогда подъемная сила $Y = 0,16 \cdot 0,5 \cdot 0,418 \cdot 210^2 \cdot 30 = 44,2$ кН, что приблизительно соответствует весу 4,5 т.              | 2 |
| В) | Если центр давления на крыле находится перед центром тяжести, то в горизонтальном полете нагрузка на ГО направлена вверх и, наоборот, если центр давления находится за центром тяжести, то нагрузка на ГО направлена вниз. | 2 |



К задаче 1.