

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 $M_1 = 382 \text{ см}^3 \cdot \frac{150 \text{ Н/м}}{3,5 \text{ см}} \cdot \left( \frac{12 \text{ м}}{20 \text{ см}} \right)^2 = 6 \text{ кН} \cdot \text{м}$ 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 (ф-ла + число)
Б)	Массовый расход твердого материала клеевого стержня равен массовому расходу вытекающего клея. Это верно по отдельности для обоих стержней: $\rho_1 v_1 S_1 = \rho U_1 s$ ; $\rho_2 v_2 S_2 = \rho U_2 s$ .	2
	Делим эти уравнения друг на друга с учетом данных из пункта А, получаем $\frac{U_2}{U_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = 0,47$ .	1 + 1 (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 (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 (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 (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

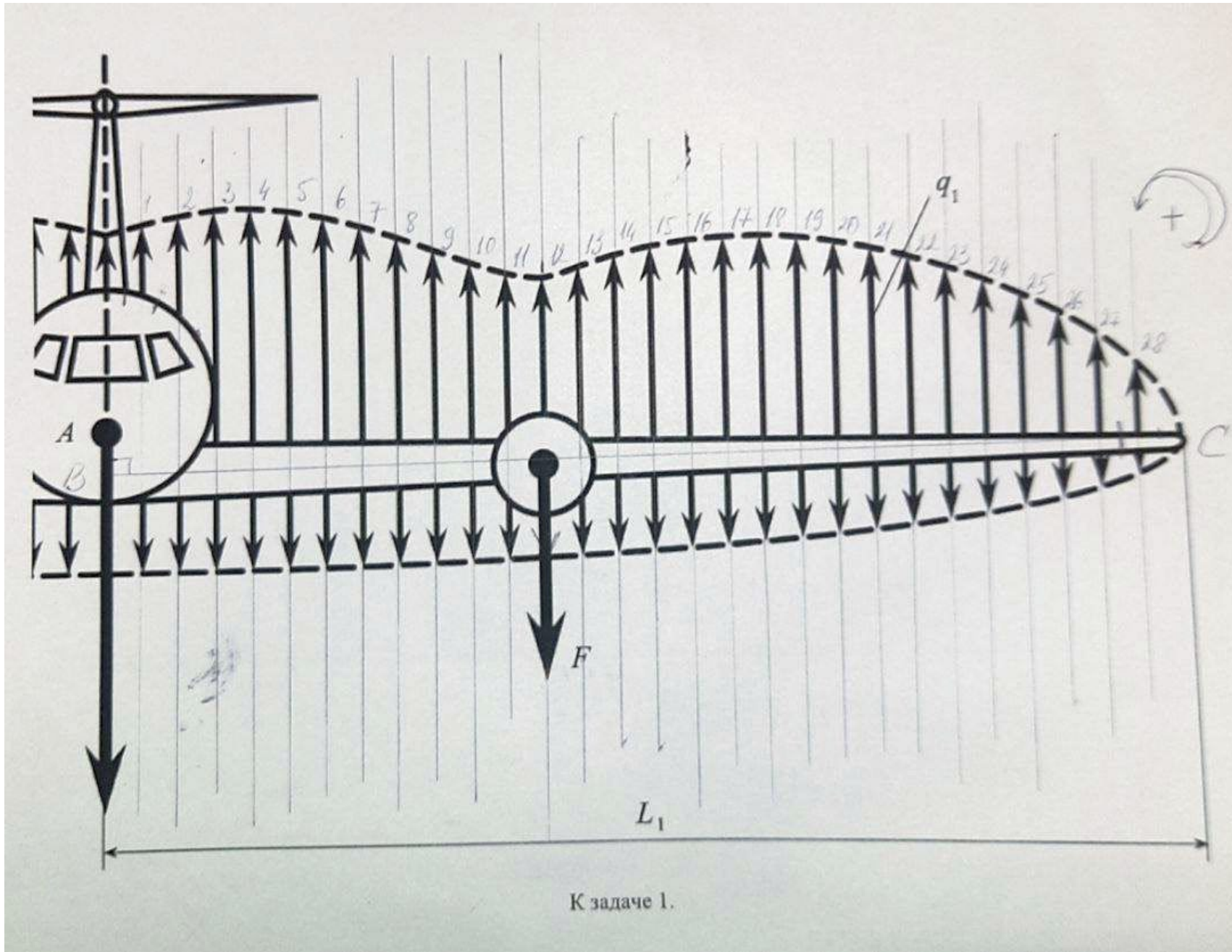
#### Задача 5

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 (ф-ла + число)
Б)	Средняя мощность $P = W/T = 0,001 \text{ Дж} \cdot 1000 \text{ Гц} = 1 \text{ Вт}$ .	1 + 1 (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: 2 балла; 2 числа: 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 (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 (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 (ф-ла + число)
Б)	При постоянной скорости сила тяги равна силе сопротивления воздуха: $F_{\text{сопр}} = F_{\text{тяги}} = 10 \frac{UI}{V} = 12$ Н.	1 + 1 (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). Баланс мощности $U^2 / R = AV_1^3$ или $V_1 = 2,1$ м/с. Отсюда $L = qUV^2 / (V_1^2 F_{\text{сопр}}) = 90$ км	4 + 2 (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

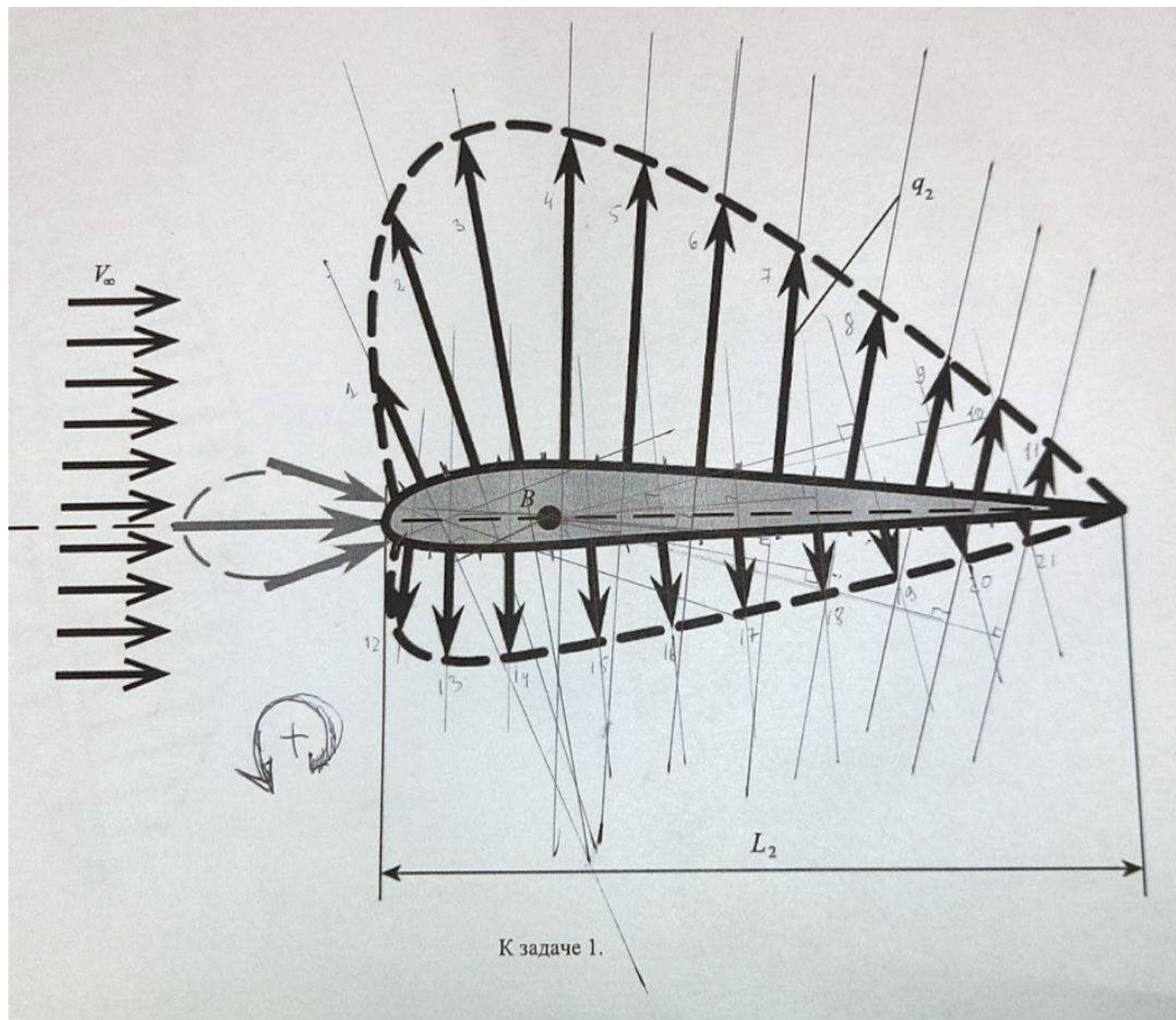
А)	Максимальное число воздействий $N$ находится делением диаметра пятна на шаг перемещения между соседними импульсами. Длительность импульса не надо учитывать, т.к. она очень мала по сравнению с периодом следования импульсов. $N = 1000 \text{ Гц} \cdot 50 \text{ мкм} / (1 \text{ мм/с}) = 50$ , поэтому 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 (ф-ла + число)
Б)	Мощность в отдельном импульсе $1 \text{ мДж} / 1 \text{ нс} = 10^6 \text{ Вт}$ .	1 + 1 (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 (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: 2 балла; 2 числа: 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.