ФИЗИКА
ВСЕРОССИЙСКАЯ
ОЛИМПИАДА
ШКОЛЬНИКОВ

Задания
муниципального этапа
2026-2027 учебный год
9 класс

Задача 1. Заяц и черепаха

Заяц и черепаха решили посоревноваться на дистанции $S = 40$ км. Черепаха движется без остановок с постоянной скоростью $v_1 = 1$ км/ч. Заяц во время бега поддерживает постоянную скорость $v_2 = 40$ км/ч, но через равные промежутки времени останавливается на отдых. Каждая остановка длится $T = 2$ ч. Заяц планирует сделать n остановок и финишировать на $\Delta t = 1$ ч раньше черепахи.

1. Определите среднюю скорость зайца на всей дистанции с учётом остановок.
2. Найдите число остановок n и длину каждого участка бега между остановками. Считать, что все участки бега имеют одинаковую длину.

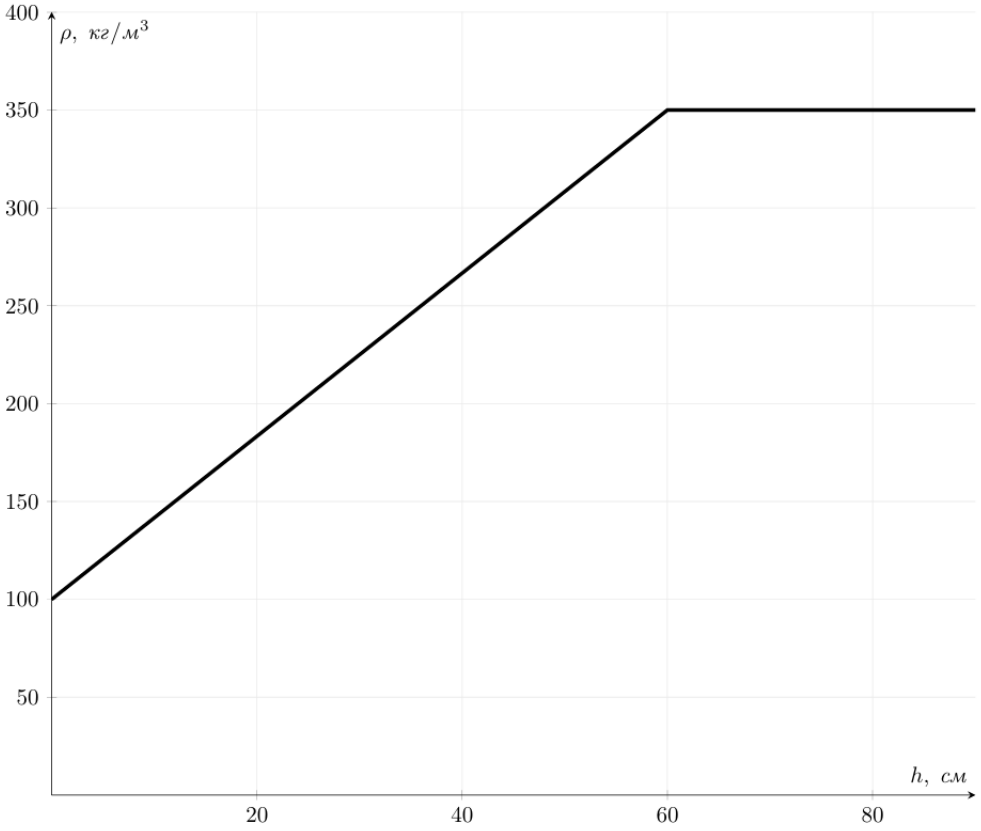
Задача 2. А снег идет...

Свежевыпавший снег имеет небольшую плотность, но под собственным весом постепенно уплотняется. На графике показана экспериментально полученная зависимость плотности снега ρ от глубины h, отсчитываемой от поверхности снежного покрова.

1. Проанализируйте график и сформулируйте возможные выводы.
2. Определите высоту снежного покрова в конце зимы, если за зиму выпало $h_1 = 450$ мм осадков в виде снега. Считать, что всю зиму температура была ниже 0°C и снег не таял.

Количество осадков h_1 — это высота слоя воды, который образовался бы после полного таяния выпавшего снега без испарения. Плотность воды

$$\rho_в = 1000 \text{ кг/м}^3.$$



Зависимость плотности снега от глубины

Задача 3. Забеги в метрополитене

Эскалатор движется вниз с постоянной скоростью. Физик Антон пробежал по спускающемуся эскалатору вниз с некоторой постоянной скоростью v относительно ступеней и насчитал $n_1 = 50$ ступенек. Затем он повторил забег вниз, двигаясь относительно ступеней втрое быстрее, и насчитал $n_2 = 75$ ступенек.

1. Сколько ступенек имеет этот эскалатор, когда он неподвижен?
2. Сколько ступенек насчитает Антон, если побежит вверх по тому же спускающемуся эскалатору со своей большей скоростью $3v$ относительно ступеней?

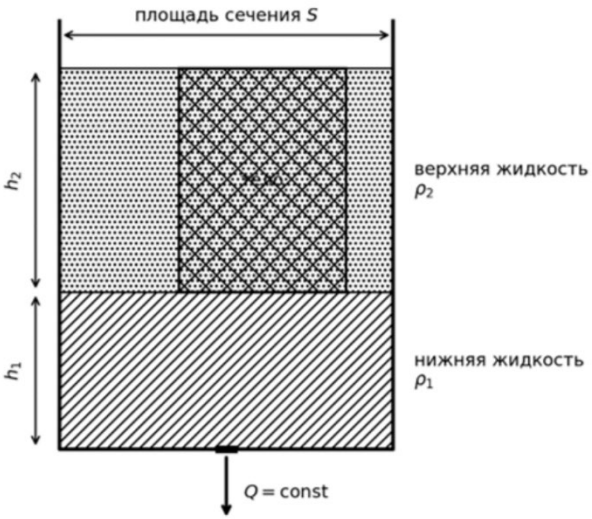
Задача 4. Пирамида кирпичей

Четыре одинаковых однородных кирпича длиной L лежат друг на друге у края горизонтального стола. Кирпичи можно смещать горизонтально вдоль их длины; трение достаточно велико, чтобы проскальзывания не происходило.

1. Можно ли расположить четыре кирпича в равновесии так, чтобы самый верхний кирпич оказался **полностью** за пределами края стола?

2. Существует ли конечный теоретический предел выноса самого верхнего кирпича за край стола, если число кирпичей можно произвольно увеличивать?

Задача 5. Взвешиваем потери



Невесомый сосуд постоянного горизонтального сечения площадью $S = 0{,}50$ м^2 подвешен к весам. В сосуде находятся две несмешивающиеся жидкости, образующие два горизонтальных слоя. В верхнем слое в начальный момент полностью погружено и жёстко закреплено относительно сосуда тело. Высота тела равна первоначальной толщине верхнего слоя жидкости, а площадь любого горизонтального сечения тела равна $S_T = \frac{S}{2}$. Толщина нижнего слоя жидкости в начальный момент $h_1 = 50$ см. В дне сосуда открыли малое отверстие. Жидкость вытекает через него с постоянным объёмным расходом Q. Сначала из сосуда вытекает нижняя жидкость, затем верхняя. После вытекания обеих жидкостей тело остаётся закреплённым в сосуде. Принять $g = 10$ м/с^2. Гидродинамическим воздействием вытекающей струи на показания весов пренебречь.

По данным показаний весов $P(t)$ определите:

1. плотность нижней жидкости ρ_1;
2. первоначальную толщину верхнего слоя жидкости h_2;
3. плотность верхней жидкости ρ_2;
4. общую массу тела и оставшихся в сосуде жидкостей в момент $t = 120$ с.

Экспериментальные данные

t, с	P, кН	t, с	P, кН
0	7,40	230	2,14
20	6,95	250	1,86
30	6,60	270	1,71
40	6,38	290	1,51
50	6,13	300	1,41
70	5,69	310	1,28
100	4,85	330	1,05
140	3,89	340	0,99
180	2,90	360	0,83
200	2,36	370	0,72
210	2,30	390	0,60
220	2,21	410	0,60

ФИЗИКА
ВСЕРОССИЙСКАЯ
ОЛИМПИАДА
ШКОЛЬНИКОВ

Критерии оценивания
заданий
муниципального этапа
2026-2027 учебный год
9 класс

Задача 1. Заяц и черепаха

Решение

Черепаха проходит дистанцию за

$$t_{ч} = \frac{S}{v_1} = \frac{40}{1} = 40 \text{ ч.}$$

Следовательно, плановое полное время зайца равно

$$t_{з} = t_{ч} - \Delta t = 40 - 1 = 39 \text{ ч.}$$

Средняя скорость зайца на всей дистанции:

$$v_{ср} = \frac{S}{t_{з}} = \frac{40}{39} \approx 1{,}03 \text{ км/ч.}$$

Собственно бег на скорости $v_2 = 40$ км/ч занимает

$$t_{бег} = \frac{S}{v_2} = \frac{40}{40} = 1 \text{ ч.}$$

Поэтому суммарное время отдыха

$$t_{отд} = 39 - 1 = 38 \text{ ч.}$$

Каждая остановка длится 2 ч, значит

$$n = \frac{38}{2} = 19.$$

Девятнадцать остановок разделяют дистанцию на $n + 1 = 20$ одинаковых участков. Длина одного участка:

$$\Delta S = \frac{40}{20} = 2 \text{ км.}$$

Ответ:

$\boxed{v_{ср} \approx 1{,}03 \text{ км/ч}}$, $\boxed{n = 19}$, $\boxed{\Delta S = 2 \text{ км}}$.

Критерии оценивания — 10 баллов

Элемент решения	Баллы
Найдено время черепахи 40 ч и плановое полное время зайца 39 ч	2
Найдена средняя скорость зайца $40/39 \approx 1{,}03$ км/ч	2
Найдено чистое время бега зайца 1 ч	1
Найдено суммарное время отдыха 38 ч	1
Найдено число остановок $n = 19$	2
Учтено, что участков бега $n + 1 = 20$, получено $\Delta S = 2$ км	2
Итого	**10**

Задача 2. А снег идёт…

Решение

Из графика следует:

- у поверхности снега $\rho(0) = 100$ кг/м^3;
- на глубинах от 0 до 60 см плотность возрастает линейно;
- на глубине 60 см плотность достигает 350 кг/м^3;
- глубже 60 см плотность по принятой модели остаётся равной 350 кг/м^3.

Рассмотрим столб снега площадью основания 1 м^2. Масса выпавшей за зиму воды, а значит и масса всего снега,

$$m = \rho_в h_1 S = 1000 \cdot 0{,}450 \cdot 1 = 450 \text{ кг}.$$

Для верхних 60 см плотность меняется линейно, поэтому средняя плотность этого слоя равна среднему арифметическому значений на его границах:

$$\rho_{ср} = \frac{100 + 350}{2} = 225 \text{ кг/м}^3.$$

Масса верхнего слоя толщиной 0,60 м:

$$m_0 = \rho_{ср} \cdot 0{,}60 \cdot 1 = 225 \cdot 0{,}60 = 135 \text{ кг}.$$

Оставшаяся масса снега:

$$m_2 = 450 - 135 = 315 \text{ кг}.$$

Ниже глубины 60 см плотность постоянна и равна 350 кг/м^3, поэтому дополнительная толщина слоя

$$h_2 = \frac{m_2}{350 \cdot 1} = 0{,}90 \text{ м}.$$

Полная высота снежного покрова:

$$h_{\text{сн}} = 0{,}60 + 0{,}90 = 1{,}50 \text{ м}.$$

Ответ:

$$\boxed{h_{\text{сн}} = 1{,}50 \text{ м} = 150 \text{ см}}.$$

Критерии оценивания — 10 баллов

Элемент решения	Баллы
Верно описана зависимость плотности снега от глубины по графику	2
Осадки 450 мм корректно переведены в массу 450 кг на площади 1 м^2	2
Для слоя 0–60 см найдена средняя плотность 225 кг/м^3 и масса 135 кг	2
Найдена оставшаяся масса 315 кг и дополнительная глубина 0,90 м	2
Получена итоговая высота 150 см	2
Итого	**10**

Задача 3. Забеги в метрополитене

Решение

Обозначим:

- N — число ступенек неподвижного эскалатора;
- v_0 — скорость эскалатора относительно станции, выраженная в ступеньках в секунду;
- v — скорость первого бега Антона относительно ступеней.

При первом забеге вниз за время t_1 Антон проходит относительно ступеней 50 ступенек:

$$vt_1 = 50.$$

За то же время эскалатор переносит его ещё на $v_0 t_1$ ступенек, поэтому

$$(v + v_0)t_1 = N.$$

При втором забеге:

$$3vt_2 = 75,$$

$$(3v + v_0)t_2 = N.$$

Из первых уравнений

$$t_1 = \frac{50}{v}, \qquad t_2 = \frac{75}{3v} = \frac{25}{v}.$$

Следовательно,

$$N = 50 + 50\frac{v_0}{v},$$

$$N = 75 + 25\frac{v_0}{v}.$$

Приравнивая выражения, получаем

$$50 + 50\frac{v_0}{v} = 75 + 25\frac{v_0}{v},$$

откуда

$$\frac{v_0}{v} = 1.$$

То есть

$$v_0 = v.$$

Тогда

$$N = 50 + 50 = 100.$$

Теперь Антон бежит вверх относительно ступеней со скоростью $3v$, а эскалатор движется вниз со скоростью v. Его скорость относительно станции вверх равна

$$3v - v = 2v.$$

Время подъёма:

$$t = \frac{N}{2v} = \frac{100}{2v} = \frac{50}{v}.$$

За это время относительно ступеней Антон пройдёт

$$n_3 = 3vt = 3v \cdot \frac{50}{v} = 150$$

ступенек.

Ответ:

$$\boxed{N = 100}, \qquad \boxed{n_3 = 150}.$$

Критерии оценивания — 10 баллов

Элемент решения	Баллы
Введены v, v_0, N и правильно записана модель первого забега	2
Правильно записана модель второго забега	2
Получено соотношение $v_0 = v$	2
Найдено число ступенек неподвижного эскалатора $N = 100$	1
Для бега вверх найдена скорость относительно станции $2v$	1
Получено $n_3 = 150$	2
Итого	**10**

Задача 4. Пирамида кирпичей

Решение

В предельном положении центр масс каждого верхнего блока кирпичей располагается точно над краем кирпича, на котором этот блок лежит.

Для одного кирпича максимальный вынос его правого края относительно края опоры равен

$$\frac{L}{2}.$$

Для двух верхних кирпичей их общий центр масс можно расположить на краю третьего кирпича. Это добавляет ещё

$$\frac{L}{4}.$$

Для трёх верхних кирпичей относительно четвёртого добавляется

$$\frac{L}{6},$$

а вся система из четырёх кирпичей относительно края стола может быть дополнительно сдвинута на

$$\frac{L}{8}.$$

Поэтому максимальный вынос верхнего края верхнего кирпича при четырёх кирпичах равен

$$\Delta_4 = \frac{L}{2} + \frac{L}{4} + \frac{L}{6} + \frac{L}{8} = \frac{L}{2}\left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4}\right) = \frac{25}{24}L.$$

Так как

$$\frac{25}{24}L > L,$$

то ближний край верхнего кирпича также оказывается правее края стола. Следовательно, верхний кирпич можно полностью вынести за пределы стола.

Для n кирпичей

$$\Delta_n = \frac{L}{2}\sum_{k=1}^{n}\frac{1}{k}.$$

Покажем без использования высшей математики, что эта сумма не ограничена. Сгруппируем её так:

$$1 + \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4}\right) + \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8}\right) + \cdots$$

В каждой следующей группе число слагаемых удваивается, а каждое слагаемое не меньше обратной величины, равной удвоенному номеру конца группы. Поэтому сумма каждой такой группы не меньше $1/2$. Число групп можно увеличивать неограниченно, следовательно, сама сумма не имеет конечной верхней границы.

Таким образом, при увеличении числа кирпичей максимальный вынос верхнего кирпича можно сделать сколь угодно большим.

Ответ: для четырёх кирпичей верхний кирпич можно полностью вынести за край стола,

$$\boxed{\Delta_4 = \frac{25}{24}L};$$

при неограниченном увеличении числа кирпичей конечного предела выноса нет.

Критерии оценивания — 10 баллов

Элемент решения	Баллы
Сформулировано условие предельного равновесия через положение центра масс над опорой	1
Получены последовательные добавочные смещения $L/2$, $L/4$, $L/6$, $L/8$	3
Найдено $\Delta_4 = 25L/24$ и сделан вывод, что верхний кирпич полностью находится за краем стола	2
Записана общая формула $\Delta_n = (L/2)\sum_{k=1}^{n} 1/k$	2

Обосновано отсутствие конечного предела (например, группировкой слагаемых)	2
Итого	**10**

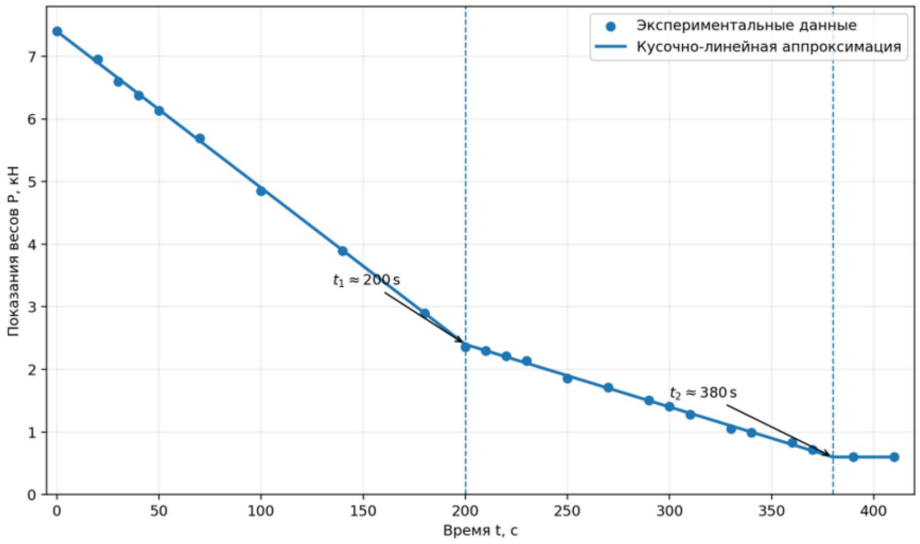
Указание для проверки. Для первого вопроса допустимо как аналитическое решение, так и корректный рисунок/описание предельной укладки с указанием положения центров масс. За эквивалентные обоснования выставляются соответствующие баллы по таблице.

Задача 5. Взвешиваем потери

Решение

1. Анализ графика показаний весов

Построим график $P(t)$. Экспериментальные точки имеют небольшой разброс, поэтому проводим через них разумную кусочно-линейную аппроксимацию.



Экспериментальные данные и кусочно-линейная аппроксимация

Хорошее приближение к данным дают зависимости

$$P_1(t) \approx 7{,}40 - 0{,}025t, \qquad 0 \leq t \lesssim 200 \text{ с},$$

$$P_2(t) \approx 4{,}40 - 0{,}010t, \qquad 200 \lesssim t \lesssim 380 \text{ с},$$

где P выражено в кН, t — в секундах. После окончания вытекания обеих жидкостей

$$P_3 \approx 0{,}60 \text{ кН}.$$

Пересечение первых двух прямых даёт момент смены вытекающей жидкости:

$$7{,}40 - 0{,}025t_1 = 4{,}40 - 0{,}010t_1,$$

$$t_1 \approx 200 \text{ с}.$$

Пересечение второго участка с плато:

$$4{,}40 - 0{,}010t_2 = 0{,}60,$$

$$t_2 \approx 380 \text{ с}.$$

Модули наклонов участков:

$$k_1 \approx 0{,}025 \text{ кН/с} = 25 \text{ Н/с},$$

$$k_2 \approx 0{,}010 \text{ кН/с} = 10 \text{ Н/с}.$$

Если через отверстие вытекает жидкость плотности ρ с постоянным объёмным расходом Q, то за время Δt масса уменьшается на

$$\Delta m = \rho Q \Delta t,$$

а показания весов уменьшаются на

$$|\Delta P| = \rho Q g \Delta t.$$

Следовательно, на линейном участке

$$\left|\frac{\Delta P}{\Delta t}\right| = \rho Q g.$$

2. Объёмный расход и плотность нижней жидкости

Начальный объём нижней жидкости:

$$V_1 = Sh_1 = 0{,}50 \cdot 0{,}50 = 0{,}25 \text{ м}^3.$$

Она полностью вытекает за $t_1 \approx 200$ с, поэтому

$$Q = \frac{V_1}{t_1} = \frac{0{,}25}{200} = 1{,}25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 1{,}25 \text{ л/с}.$$

Для первого участка

$$k_1 = \rho_1 Q g.$$

Отсюда

$$\rho_1 = \frac{k_1}{Qg} = \frac{25}{1{,}25 \cdot 10^{-3} \cdot 10} = 2000 \text{ кг/м}^3.$$

3. Толщина верхнего слоя

Верхняя жидкость вытекает в течение

$$\Delta t_2 = t_2 - t_1 = 380 - 200 = 180 \text{ с}.$$

Её объём:

$$V_2 = Q\Delta t_2 = 1{,}25 \cdot 10^{-3} \cdot 180 = 0{,}225 \text{ м}^3.$$

Тело занимает половину площади поперечного сечения верхнего слоя, поэтому площадь, доступная жидкости,

$$S - S_T = S - \frac{S}{2} = \frac{S}{2} = 0{,}25 \text{ м}^2.$$

Следовательно,

$$V_2 = \frac{S}{2} h_2,$$

$$h_2 = \frac{2V_2}{S} = \frac{2 \cdot 0{,}225}{0{,}50} = 0{,}90 \text{ м}.$$

4. Плотность верхней жидкости

Для второго участка

$$k_2 = \rho_2 Q g.$$

Поэтому

$$\rho_2 = \frac{k_2}{Qg} = \frac{10}{1{,}25 \cdot 10^{-3} \cdot 10} = 800 \text{ кг/м}^3.$$

Полученное соотношение $\rho_1 > \rho_2$ согласуется с расположением несмешивающихся жидкостей: более плотная жидкость находится снизу.

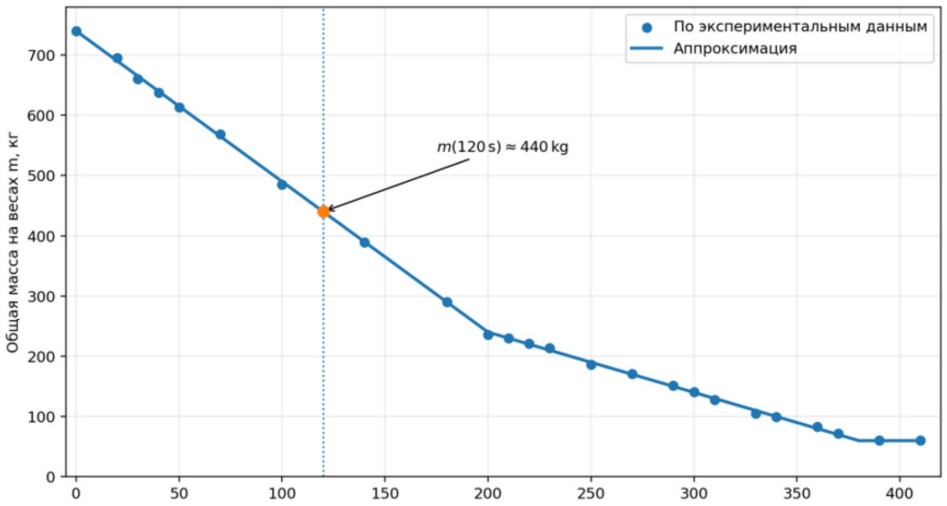
5. Общая масса при $\boldsymbol{t = 120}$ с

Так как $120 < t_1$, используем первый линейный участок:

$$P(120) \approx 7{,}40 - 0{,}025 \cdot 120 = 4{,}40 \text{ кН} = 4400 \text{ Н}.$$

Сосуд невесом, поэтому показания весов соответствуют весу тела и оставшихся жидкостей:

$$m(120) = \frac{P(120)}{g} = \frac{4400}{10} = 440 \text{ кг}.$$



Та же зависимость, представленная в единицах массы

Проверка согласованности

После вытекания всей жидкости

$$P_0 \approx 0{,}60\ \text{кН} = 600\ \text{Н},$$

поэтому масса закреплённого тела

$$m_T = \frac{600}{10} = 60\ \text{кг}.$$

Начальная масса нижней жидкости:

$$m_1 = \rho_1 V_1 = 2000 \cdot 0{,}25 = 500\ \text{кг}.$$

Масса верхней жидкости:

$$m_2 = \rho_2 V_2 = 800 \cdot 0{,}225 = 180\ \text{кг}.$$

Итого

$$m_0 = 60 + 500 + 180 = 740\ \text{кг},$$

что соответствует начальному показанию

$$P_0^{(\text{нач})} = m_0 g = 7{,}40\ \text{кН}.$$

Ответы:

$$\boxed{\rho_1 = 2000\ \text{кг/м}^3}, \qquad \boxed{h_2 = 0{,}90\ \text{м}},$$

$$\boxed{\rho_2 = 800\ \text{кг/м}^3}, \qquad \boxed{m(120) = 440\ \text{кг}}.$$

Дополнительно:

$$Q = 1{,}25 \cdot 10^{-3}\ \text{м}^3/\text{с} = 1{,}25\ \text{л/с}, \qquad m_T = 60\ \text{кг}.$$

Критерии оценивания — 10 баллов

Элемент решения	Баллы
По данным или графику выделены два линейных участка и плато; выполнена разумная кусочно-линейная аппроксимация	1
Определены характерные моменты $t_1 \approx 200$ с и $t_2 \approx 380$ с	1
Найден постоянный объёмный расход $Q \approx 1{,}25 \cdot 10^{-3}$ м^3/с	1
Получена связь $\lvert\Delta P/\Delta t\rvert = \rho Q g$ и по первому участку найдено $\rho_1 \approx 2000$ кг/м^3	2
Учтено, что тело занимает половину площади верхнего слоя; найдено $h_2 \approx 0{,}90$ м	2
По наклону второго участка найдено $\rho_2 \approx 800$ кг/м^3	2
Правильно определена общая масса при $t = 120$ с: $m \approx 440$ кг	1
Итого	**10**

Указания для проверки

Экспериментальные точки имеют небольшой разброс, поэтому допустимы несколько отличающиеся коэффициенты сглаживающих прямых. Полный балл за соответствующий пункт следует ставить, если участник корректно использовал собственную разумную аппроксимацию и получил результаты, близкие к диапазонам

$$1{,}9 \cdot 10^3 \lesssim \rho_1 \lesssim 2{,}1 \cdot 10^3\ \text{кг/м}^3,$$

$$0{,}85 \lesssim h_2 \lesssim 0{,}95\ \text{м},$$

$$0{,}75 \cdot 10^3 \lesssim \rho_2 \lesssim 0{,}85 \cdot 10^3\ \text{кг/м}^3.$$

Для пункта 4 следует засчитывать результат, полученный по корректному считыванию или аппроксимации первого участка графика, примерно

$$430\ \text{кг} \lesssim m(120) \lesssim 450\ \text{кг}.$$

Допускаются любые физически и математически эквивалентные способы решения.

Максимум за комплект: 50 баллов.