



## Условия задач, ответы и критерии оценивания

## 1. Крионасос (8 баллов)

Крюков П. А.

В криогенном эксперименте поток газообразного азота, распространяющийся в вакуумной камере, направляется на охлаждаемую до низкой температуры  $T_c = -243^\circ\text{C}$  поверхность (криопанель), на которой газ может превращаться в твёрдое тело (процесс десублимации). Скорость потока азота равна  $v = 200$  м/с и направлена перпендикулярно криопанели, температура в потоке равна  $T_0 = -173^\circ\text{C}$ . Определите максимальное значение плотности газообразного азота, при котором на криопанели десублимируется весь натекающий газ. Холодильное оборудование может обеспечить отвод тепла в количестве не более, чем  $0,4$  Дж с  $1$  см<sup>2</sup> поверхности криопанели за  $1$  секунду. Удельная теплота сублимации азота равна  $L = 225$  кДж/кг. Удельная теплоёмкость азота (при данных условиях) равна  $c = 1,0$  кДж/кг $^\circ\text{C}$ . Площадь сечения потока на входе равна площади криопанели. Кинетической энергией натекающего газа можно пренебречь.

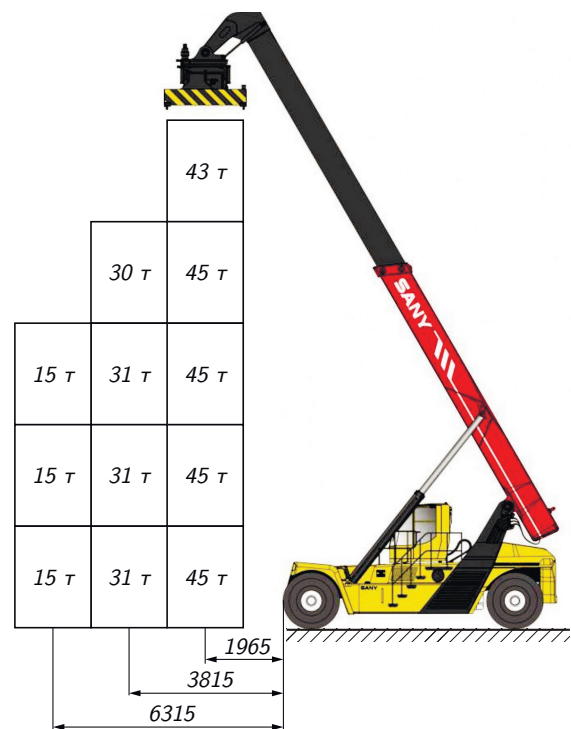
## 2. Ричстакер (10 баллов)

Крюков П. А., по схеме из [1]

Рисунок справа, на котором изображён погрузчик для работы с контейнерами («ричстакер»), воспроизводит схему из буклета производителя, китайской фирмы «Sany». Прямоугольники символизируют контейнеры, масса которых указана в тоннах. Линейные размеры даны в миллиметрах. Масса этого ричстакера составляет  $72$  тонны, расстояние между осями передних и задних колёс равно  $6$  м, внешний диаметр покрышки колеса равен  $1670$  мм. Рисунок показывает, что при данном расположении погрузчик может приподнять

любой из изображённых контейнеров (предварительно убрав другие). При этом угол наклона стрелы и её длина могут изменяться.

1) Пусть ричстакер «разбирает» ближайшую к себе стопку контейнеров. На какую максимальную величину изменяется сила давления передних колёс на поверхность земли в момент, когда погрузчик приподнимает контейнер из этой стопки? Считайте, что в момент подъёма каждого из контейнеров положение погрузчика в точности совпадает с показанным на рисунке. (4 балла)



2) На каком расстоянии по горизонтали от оси заднего колеса может располагаться центр тяжести погрузчика, если для его безопасной работы необходимо, чтобы сила давления пары колёс (передних или задних) всегда была не меньше шестой части веса погрузчика? (6 баллов)

Считайте, что при изменении длины стрелы и её наклона центр тяжести погрузчика по горизонтали практически не смещается, ускорение свободного падения равно  $g = 10$  Н/кг.

**3. Студент, дельфин, модель (12 баллов)**

Крюков П. А., по мотивам [2], [3].

Студент-биофизик исследует физические основы плавания дельфинов. Он рассматривает следующую простую модель.

Объём дельфина складывается из объёма тканей тела  $V_T$ , несжимаемых при погружении, и объёма различных газовых полостей  $V_G$  (например, лёгких), который при погружении уменьшается под действием давления воды. Студент считает, что согласно газовым законам, произведение давления  $P(h)$  на глубине  $h$  на объём  $V_G(h)$  должно оставаться постоянным на всех глубинах:

$$P(h)V_G(h) = \text{const.}$$

Пусть дельфин движется вертикально вниз с характерной для себя скоростью  $v$ . Расчёты студента показывают, что по достижении *нижней критической глубины*  $h_N = 30$  м дельфин может продолжать движение вниз, не совершая никаких усилий. Иначе говоря, не создавая силы тяги. При движении вертикально вверх с той же скоростью  $v$ , достигнув *верхней критической глубины*  $h_B = 10$  м, дельфин продолжает всплывать, не создавая силы тяги. Атмосферное давление равно  $P_0 = 10^5$  Па, плотность воды и ускорение свободного падения равны:  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup> и  $g = 10$  Н/кг. Плотность тканей тела отличается от плотности воды на 2%. Зависимость силы сопротивления воды от скорости неизвестна.

1) Определите отношение объёма тканей тела к объёму полостей при нулевой глубине  $\frac{V_T}{V_G(0)}$ . Можно считать, что при нулевой глубине газовые полости заполнены воздухом при атмосферном давлении  $P_0$ . (10 баллов)

2) Экспериментально наблюдаются значения критических глубин:  $h_N \approx 67$  м и  $h_B \approx 6$  м. Чем может быть обусловлено расхождение предсказаний модели студента и экспериментальных данных? (2 балла)

**4. Аквариум (10 баллов)**

Дворянинов С. В.

Аквариум в виде куба с длиной стороны  $a = 40$  см заполнен водой доверху. Аквариум начинают очень медленно поворачивать вокруг одного из рёбер, так что угол  $\varphi$  между дном аквариума и горизонтальной поверхностью увеличивается на  $1^\circ$  каждые 10 секунд, при этом вода из аквариума вытекает. Скорость истечения воды количественно характеризует расход  $Q = \frac{\Delta m}{\Delta t}$ , равный массе воды, вытекающей из аквариума за малое время  $\Delta t$ . Расход  $Q$  меняется в зависимости от угла  $\varphi$ . Плотность воды равна  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

1) Найдите (можно приближённо) массу воды, вытекающей из аквариума в первые 10 секунд. (3 балла)

2) Чему равен угол  $\varphi$  в момент, когда расход воды  $Q$  достигает максимального значения  $Q_{\text{max}}$ ? (4 балла)

3) Определите (можно приближённо) максимальное значение расхода  $Q_{\text{max}}$ . (3 балла)

*Примечание.* При решении задачи могут оказаться полезными следующие геометрические соотношения.

1) Теорема Пифагора. В прямоугольном треугольнике с катетами  $a$ ,  $b$  и гипотенузой  $c$  сумма квадратов катетов равна квадрату гипотенузы:  $a^2 + b^2 = c^2$ .

2) Площадь прямоугольного треугольника с гипотенузой  $l$  и малым острым углом  $\alpha$  приближённо равна  $S \approx \frac{\pi \alpha}{360^\circ}$  ( $\alpha$  измеряется в градусах). Малыми вполне можно считать углы меньше  $10^\circ$ .