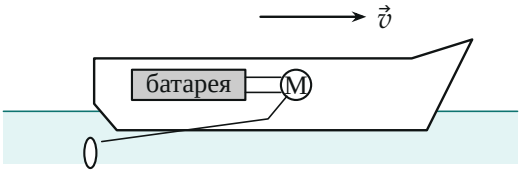
Электрокатер

Задача 1. [ИОШ 2024/25, отборочный этап, 9 класс, задача 1] На скоростном морском катере установлен электродвигатель, питающийся от аккумуляторных батарей. Двигатель развивает силу тяги $F = 6000$ Н при скорости катера $v = 36$ км/ч. Считая, что КПД двигателя составляет $\eta = 80$ %, а напряжение батареи аккумуляторов — $U = 600$ В, найти ток в обмотке двигателя.



Поясняющий рисунок. Батарея питает электродвигатель М, он через вал крутит гребной винт.

▲ **Решение. Что происходит.** Это задача на мощность и КПД. Цепочка превращений энергии: батарея отдаёт двигателю электрическую мощность UI, двигатель превращает её долю η в механическую мощность силы тяги Fv, остальное уходит в нагрев обмоток и потери. Механическую мощность знаем из условия — отсюда электрическая, а из неё ток.

Обозначения. I — ток в обмотке; $P_{эл} = UI$ — электрическая мощность, потребляемая двигателем; $P_{мех}$ — механическая (полезная) мощность. Скорость в СИ: $v = 36$ км/ч $= 10$ м/с.

1. Механическая мощность. Сила тяги $\vec{F}$ и скорость катера направлены одинаково (рис. 1), поэтому мощность силы тяги

$$P_{мех} = Fv = 6000 \text{ Н} \cdot 10 \text{ м/с} = 6 \cdot 10^4 \text{ Вт} = 60 \text{ кВт}.$$

При постоянной скорости сила тяги уравновешена силой сопротивления воды и воздуха (второй закон Ньютона), так что эти 60 кВт целиком уходят на преодоление сопротивления.



Рис. 1. Катер идёт с постоянной скоростью: сила тяги $\vec{F}$ уравновешена силой сопротивления (вертикальные силы не показаны).

2. Электрическая мощность через КПД. КПД двигателя — отношение полезной мощности к потребляемой:

$$\eta = \frac{P_{\text{мех}}}{P_{\text{эл}}} \quad \Rightarrow \quad P_{\text{эл}} = \frac{Fv}{\eta} = \frac{6 \cdot 10^4}{0{,}8}\ \text{Вт} = 7{,}5 \cdot 10^4\ \text{Вт}.$$

3. Ток. Мощность, которую батарея отдаёт двигателю, — произведение напряжения на ток (рис. 2):

$$P_{\text{эл}} = UI \quad \Rightarrow \quad I = \frac{Fv}{\eta U} = \frac{6000 \cdot 10}{0{,}8 \cdot 600}\ \text{А} = 125\ \text{А}.$$

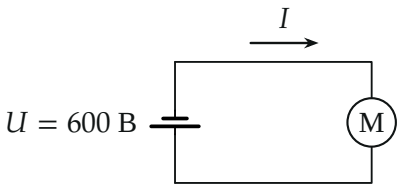


Рис. 2. Электрическая схема: батарея с напряжением U и обмотка двигателя M, ток I один на всю цепь.

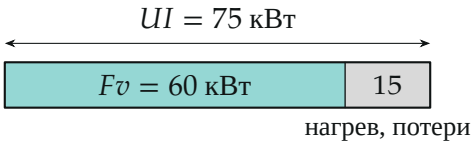


Рис. 3. Баланс мощностей двигателя (в масштабе): из 75 кВт, полученных от батареи, 80 % идёт в работу силы тяги.

Обратите внимание. КПД делит, а не умножает: потребляемая мощность больше полезной, поэтому $P_{эл} = Fv/\eta$. И скорость — в метрах в секунду, иначе мощность выйдет в «ньютон-километрах в час».

Ответ. $I = \dfrac{Fv}{\eta U} = 125$ А.

Проверка. Размерность: $\dfrac{\text{Н} \cdot \text{м/с}}{\text{В}} = \dfrac{\text{Вт}}{\text{В}} = \text{А}$. Оценка: без потерь ($\eta = 1$) ток был бы $Fv/U = 100$ А; потери требуют на 25 % больше — 125 А.

Физический смысл. Чем выше напряжение батареи, тем меньший ток нужен для той же мощности, — поэтому на мощных электрокатерах ставят высоковольтные батареи: меньше ток, тоньше провода, меньше нагрев.

Ответ. $I = \dfrac{Fv}{\eta U} = 125$ А.