

## Электронагреватель

Задачи про электронагреватель (в частности, кипятильник) нередко встречаются на олимпиадах, поскольку находятся на стыке электрических и тепловых явлений.

**ЗАДАЧА 1.** Школьник Вася нагревает стакан воды, окунув в него резистор, подключённый к источнику постоянного тока. Резисторов у Васи два. От первого резистора вода закипает за время  $t_1$ , а от второго — за время  $t_2$ . За какое время закипит вода, если в стакан окунуть оба резистора, подключённых а) последовательно; б) параллельно? Рассеянием тепла пренебречь.

$$\frac{t_1 + t_2}{t_1 t_2} = \tau \quad (g : t_1 + t_2 = \tau \text{ (в)})$$

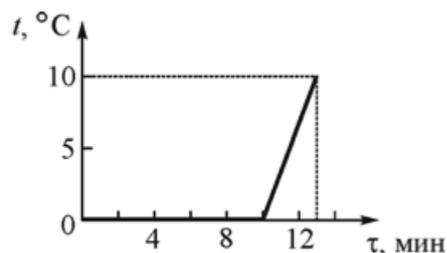
**ЗАДАЧА 2.** (Всеросс., 2014, ШЭ, 9–10) Кипятильник был подключён к батарее идеальных аккумуляторов с выходным напряжением  $U_0 = 200$  В. Он смог прогреть стакан воды до температуры  $t_1 = 85^\circ\text{C}$  при температуре в комнате  $t_{\text{комн}} = 25^\circ\text{C}$ . Потом второй такой же кипятильник подключили последовательно с этим и опустили во второй такой же стакан с водой. Какая температура  $t_2$  установится в нём? Количество теплоты  $\Delta Q$ , теряемое стаканом за время  $\Delta t$ , пропорционально разности температур воды и воздуха, то есть  $\Delta Q/\Delta t = k(t_{\text{воды}} - t_{\text{возд}})$ . Сопротивление кипятильника не зависит от его температуры.

$$0.0\tau = \frac{\tau}{t_1 + t_{\text{комн}}} = \tau$$

**ЗАДАЧА 3.** (Всеросс., 2016, ШЭ, 9) В кружке находится смесь воды и льда. После того как содержимое кружки 2 минуты нагревали кипятильником, в ней оказалось 300 мл воды при температуре  $30^\circ\text{C}$ . Кипятильник работает от сети напряжением 220 В, и его сопротивление равно 95 Ом. Найдите массу льда в кружке до начала нагревания. Плотность воды  $1,0$  г/см<sup>3</sup>, её удельная теплоёмкость  $4,2$  кДж/(кг · °C), удельная теплота кристаллизации  $0,33$  МДж/кг. Потерями теплоты в окружающую среду и на нагревание кружки можно пренебречь.

$$1902 = m$$

**ЗАДАЧА 4.** (Всеросс., 2014, МЭ, 9–11) В калориметр с водой и льдом погрузили проволоку сопротивлением  $R = 800$  Ом и стали пропускать ток силой  $I = 1$  А. На графике приведена зависимость температуры  $T$  в калориметре от времени  $t$ . Определите начальную массу льда  $m_1$  и начальную массу воды в жидком состоянии  $m_2$ . Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 336$  кДж/кг, удельная теплоёмкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг · °C).



$$m_1 \approx m_2 - \frac{c \Delta t}{\lambda} = m_2 : m_1 \approx \frac{\lambda}{c \Delta t} = m_2$$

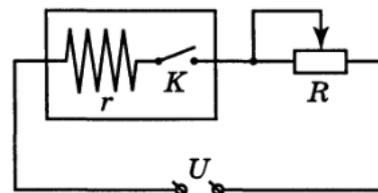
ЗАДАЧА 5. (Всеросс., 2015, МЭ, 9–11) Электрокипятильник, включённый в сеть с напряжением  $U = 220$  В, нагревает воду в кастрюле от комнатной температуры до кипения за время  $\tau_1 = 1$  мин. Найдите, за какое время  $\tau_2$  четыре кипятивника с втрое большим сопротивлением, соединённые последовательно, нагреют вдвое большую массу воды от той же комнатной температуры до кипения при подключении к сети с напряжением  $2U = 440$  В. Потерями теплоты можно пренебречь.

$$\tau_2 = 2\tau_1 = 2 \text{ мин}$$

ЗАДАЧА 6. (Всеросс., 1993, ОЭ, 9) Крокодил Гена купил в подарок Чебурашке электрический утюг без терморегулятора, рассчитанный на включение в сеть с напряжением 220 В. Собираясь в гости на день рождения, он решил проверить подарок и погладить рубашку. Однако напряжение в сети у него дома равно 127 В, поэтому утюг нагрелся всего до  $127^\circ\text{C}$ , тогда как для глажения рубашки необходима температура утюга в пределах от  $200^\circ\text{C}$  до  $300^\circ\text{C}$ . Сможет ли Гена погладить этим утюгом рубашку дома у Чебурашки, где напряжение сети равно 220 В? Если нет, то почему? Если да, то каким образом? Теплоотдача пропорциональна разности температур, а нагреватель утюга содержит всего одну обмотку, сопротивление которой можно считать постоянным. Температура воздуха в комнате равна  $20^\circ\text{C}$ .

$$Q_{\text{отдана}} = \frac{U_1^2}{R} \tau_1 = \frac{U_2^2}{R} \tau_2 \Rightarrow \tau_2 = \tau_1 \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = 1 \text{ мин}$$

ЗАДАЧА 7. (Всеросс., 1998, ОЭ, 9) Фирма «Дивайс» выпускает прибор, используемый как электрический предохранитель. Этот прибор состоит из металлической проволоочки сопротивлением  $r = 0,1$  Ом и массой  $m = 1$  г (удельная теплоёмкость  $c = 500$  Дж/(кг · К)) и термомеханического выключателя  $K$  (рис.), размыкающего цепь в тот момент, когда проволоочка нагревается до критической температуры  $t_{\text{кр}} = 60^\circ\text{C}$ . При испытании прибора его последовательно соединяют с переменным резистором  $R$  и подключают к источнику тока с напряжением  $U = 1$  В. На начальном этапе испытаний на резисторе устанавливают сопротивление  $R_1 = 14$  Ом. Через некоторое время температура проволоочки становится равной  $t_1 = 50^\circ\text{C}$  и остаётся постоянной. Затем сопротивление резистора начинают медленно уменьшать. Найдите его сопротивление  $R_x$  в тот момент, когда испытываемый прибор разомкнёт цепь. Известно, что при подключении прибора непосредственно к источнику тока прибор размыкает цепь спустя  $\tau = 1$  с после подключения. Зависимостью сопротивления прибора от температуры пренебречь. Температура среды, окружающей проволоочку, поддерживается постоянной.



$$R_x = R_1 \left( \frac{t_{\text{кр}} - t_1}{t_{\text{кр}} - t_0} \right)^2 = 14 \left( \frac{60 - 50}{60 - 20} \right)^2 = 9,9 \text{ Ом}$$

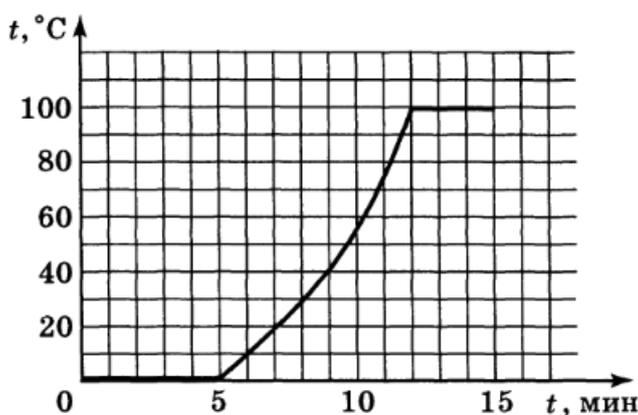
ЗАДАЧА 8. (Всеросс., 2000, ОЭ, 9) На открытой площадке находятся три одинаковые банки со льдом, в которые помещены одинаковые электрические нагревательные элементы. В некоторый момент эти элементы включают в три разные розетки с напряжениями  $U_1 = 380$  В,  $U_2 = 220$  В и  $U_3 = 127$  В. В первой банке весь лёд растаял за  $t_1 = 2$  мин, а во второй — за  $t_2 = 10$  мин. За какое время  $t_3$  растает весь лёд в третьей банке? Начальная температура льда во всех банках  $0^\circ\text{C}$ . Сопротивление нагревательного элемента не зависит от силы протекающего тока. Считайте, что в любой момент времени температура внутри каждой банки одинакова по всему объёму.

$$t_3 = \frac{c_1 \tau_1 U_1^2 + (c_2 \tau_2 U_2^2 + (c_1 \tau_1 U_1^2 + c_2 \tau_2 U_2^2) \frac{U_3^2}{U_1^2})}{c_3 U_3^2} = 20 \text{ мин}$$

ЗАДАЧА 9. (Всеросс., 1994, финал, 9) Лабораторная электроплитка, сопротивление спирали которой  $R = 20$  Ом, включена в сеть последовательно с резистором сопротивлением  $R_0 = 10$  Ом. При длительном включении плитка нагрелась от комнатной температуры  $t_0 = 20^\circ\text{C}$  до максимальной температуры  $t_1 = 52^\circ\text{C}$ . До какой максимальной температуры  $t_x$  нагреется плитка, если параллельно ей включить ещё одну такую же плитку?

$$t_x = (t_1 - t_0) \left( \frac{R_0 R}{R_0 + R} \right) + t_0 = 47$$

ЗАДАЧА 10. (Всеросс., 1995, финал, 9) В дне теплоизолированного сосуда (калориметра) имеется небольшое отверстие, через которое может вытекать вода. В сосуд поместили смесь воды и льда при температуре  $0^\circ\text{C}$  вместе с электрическим нагревателем мощностью  $P = 600$  Вт, и начали следить за изменением температуры содержимого калориметра в зависимости от времени. Экспериментальный график зависимости температуры  $t$  от времени  $\tau$  представлен на рисунке.

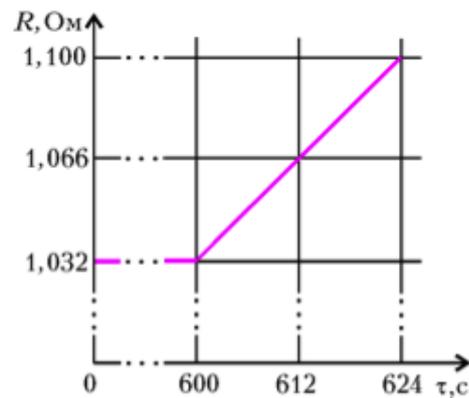


- 1) Определите массу воды, оставшейся в калориметре к моменту окончания таяния льда.
  - 2) Какая средняя масса воды вытекла из отверстия калориметра в течение 1 мин?
  - 3) Сколько льда было в калориметре в начале эксперимента?
  - 4) Сколько воды находилось в калориметре в начале эксперимента?
  - 5) Определите массу воды, оставшейся в калориметре к концу эксперимента ( $t = 17$  мин).
- Удельная теплота парообразования воды  $L = 2260$  кДж/кг, удельная теплоёмкость воды  $c_v = 4,2$  кДж/(кг · К), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 340$  кДж/кг.

*Примечание.* Теплоёмкость калориметра можно не учитывать.

$$1) 0,86 \text{ кг}; 2) 0,074 \text{ кг}; 3) 0,53 \text{ кг}; 4) 0,70 \text{ кг}; 5) 0$$

ЗАДАЧА 11. (Всеросс., 2006, финал, 9) На дне калориметра закреплён тонкий плоский нагревательный элемент, а на некотором уровне над ним — терморезистор, сопротивление  $R$  которого зависит от температуры  $t$ , выраженной в  $^{\circ}\text{C}$ , по закону  $R = R_0(1 + \alpha t)$ , где  $R_0$  и  $\alpha$  не зависят от температуры (параметр  $\alpha$  называется температурным коэффициентом сопротивления). В калориметре находится лёд. Его удельная теплота плавления  $\lambda = 340$  кДж/кг. Удельная теплоёмкость воды  $c = 4,2$  кДж/(кг  $\cdot$   $^{\circ}\text{C}$ ). Если через нагревательный элемент пустить ток силой  $I_0$ , сопротивление  $R$  будет изменяться со временем так, как показано на графике. Найдите  $\alpha$ . Изобразите график зависимости  $R(\tau)$ , если бы через нагревательный элемент пропускали ток силой  $I = 1,41I_0$ .



$$1 - 0,02170^{\circ} = \nu$$

ЗАДАЧА 12. (Всеросс., 2007, финал, 9) Дачный домик отапливается с помощью электрических батарей. При температуре батарей  $t_{Б1} = 40^{\circ}\text{C}$  и температуре наружного воздуха  $t_1 = -10^{\circ}\text{C}$  в домике устанавливается температура  $t = 20^{\circ}\text{C}$ . Во сколько раз надо увеличить силу тока в батареях, чтобы прежняя температура в комнате поддерживалась в холодные дни при температуре  $t_2 = -25^{\circ}\text{C}$ ? Какова при этом будет температура батарей  $t_{Б2}$ ? Считать электрическое сопротивление нагревательных элементов не зависящим от температуры.

$$0,09 = \frac{t_2 - t}{(t_2 - t)(t_{Б1} - t)} + t = z_{Б1} : z_{Т1} \approx \frac{t_2 - t}{z_{Т2} - t} \wedge = \frac{t_1}{z_{Т1}}$$

ЗАДАЧА 13. (Всеросс., 2010, финал, 9) Электроплитка имеет две спирали (два нагревательных элемента), которые можно включать в сеть либо по отдельности, либо соединяя их последовательно или параллельно. Будем считать, что сопротивления спиралей не зависят от температуры.

Оказалось, что если включить в сеть только первую спираль, то электроплитка нагревается до температуры  $t_1 = 180^{\circ}\text{C}$ , а если включить только вторую спираль, то плитка нагревается до температуры  $t_2 = 220^{\circ}\text{C}$ .

До какой температуры нагреется плитка при:

- 1) последовательном включении спиралей;
- 2) параллельном включении спиралей?

Указание. Поток тепла от плитки во внешнюю среду пропорционален разности температур между плиткой и воздухом в комнате. Температуру воздуха считать постоянной и равной  $t_0 = 20^{\circ}\text{C}$ .

$$0,088 = 0_1 - z_1 + t_1 = \hat{r}_1 (z : 0,601 \approx \frac{(0_1 - z_1}{1} + \frac{0_2 - t_1}{1}) + 0_1 = x_1 (1$$

ЗАДАЧА 14. (Всеросс., 2017, финал, 9) Сопротивление  $R$  спирали зависит от температуры по закону  $R = R_0 + \alpha(t - t_0)$ , где  $t$  — температура спирали,  $R_0 = 10$  Ом,  $\alpha = 40,0 \cdot 10^{-3}$  Ом/°С,  $t_0 = 20$  °С. На спираль подаётся напряжение  $U = 220$  В, и за время  $\tau_1 = 100$  мкс она нагревается от  $t_0$  до  $t_1 = 80$  °С.

- До какой температуры  $t_2$  нагреется спираль за время  $t_2 = 334$  мкс от момента включения?
- Определите теплоёмкость спирали.

При данных температурах и временах излучением и теплоотдачей можно пренебречь.

$$\boxed{C_0 / \text{жГ} \text{ } \varepsilon - 01 \cdot \tau_1 L = C_0 \text{ } 881 = \tau_1}$$

ЗАДАЧА 15. (МОШ, 2006, 9) Алюминиевая проволока диаметром  $d = 2,5$  мм, не слишком гнутая, покрыта льдом. Общий диаметр проволоки со льдом равен  $D = 3,5$  мм. Температура льда и проволоки  $t = 0$  °С. По проволоке пустили ток силой  $I = 15$  А. За какое время лёд растает? Плотность льда  $\rho_{\text{л}} = 0,9$  г/см<sup>3</sup>, а его удельная теплота плавления  $\lambda = 340$  кДж/кг. Удельное сопротивление алюминия  $\rho = 2,8 \cdot 10^{-8}$  Ом · м.

$$\boxed{\text{ниж } 61 \approx \frac{\tau I^2 \rho_{\text{л}}}{(\tau^2 - \tau_0^2) \tau^2 \rho_{\text{л}} \lambda} = \tau}$$

ЗАДАЧА 16. (МОШ, 2009, 9) Школьницы Марина и Карина проводили опыты по нагреванию двух одинаковых банок с водой массой  $m = 0,5$  кг с помощью двух одинаковых кипятильников. Марина подключила свой кипятильник к источнику напряжения  $U_1 = 220$  В, Карина — к источнику напряжения  $U_2 = 127$  В. Банка Карины через достаточно большое время нагрелась только до температуры  $t_0 = 50$  °С. Нагревшись до температуры  $t_0 = 50$  °С за гораздо меньшее время, банка Марины продолжала нагреваться со скоростью  $v = 0,1$  °С/сек. Какие мощности  $P_1$  и  $P_2$  развивали кипятильники Марины и Карины при работе? Удельная теплоёмкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг · °С), теплоёмкостями кипятильников и банок можно пренебречь.

$$\boxed{P_1 = \frac{cmvU_1^2}{\tau} \approx 315 \text{ Вт}; P_2 = \frac{cmvU_2^2}{\tau} \approx 105 \text{ Вт}}$$

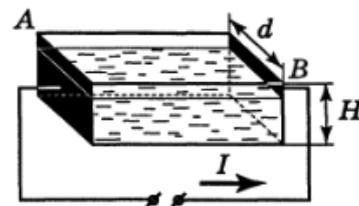
ЗАДАЧА 17. (МОШ, 2012, 9) Школьницы Алиса и Василиса нагревают воду в полных стаканах при помощи кипятильников. Кипятильник Василисы является точной копией кипятильника Алисы, увеличенной в три раза, а стакан Василисы — увеличенной в два раза копией стакана Алисы. Кипятильники включают в розетки с одинаковым напряжением. Вода у Алисы закипает за 3 минуты. За какое время закипит вода у Василисы? Считать, что вся выделяющаяся энергия идёт на нагревание воды. Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

$$\boxed{\text{За } 8 \text{ минут}}$$

Задача 18. (МОШ, 2014, 9) Проточный нагреватель воды состоит из трубы длиной  $L = 8$  м, поперечное сечение которой представляет собой прямоугольник размерами  $a \times d$ . Стенки размерами  $L \times a$  сделаны из металла, а размерами  $L \times d$  — из диэлектрика. Нагрев воды осуществляется электрическим током, для чего к металлическим стенкам прикладывается постоянное напряжение  $U$ . Определите, каким должно быть это напряжение для того, чтобы устройство обеспечивало нагрев  $q = 600$  литров воды в час от  $10^\circ\text{C}$  до  $35^\circ\text{C}$ , если  $a = 40$  см,  $d = 2$  см. Используемая в нагревателе вода имеет следующие характеристики: плотность  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, удельная теплоёмкость  $c = 4200$  Дж/(кг · °C), удельное сопротивление  $\lambda = 10$  Ом · м. Теплоёмкостью трубы и потерями теплоты пренебречь.

$$\text{В } \varepsilon \approx \frac{vT}{4\pi b d c \rho \lambda} \Lambda = \Omega$$

Задача 19. (Всеросс., 1999, ОЭ, 10) В экспериментах по обнаружению нейтрино используют легкоплавкий металл галлий ( $t_{\text{пл}} = 29,8^\circ\text{C}$ ). Прямоугольная теплоизолированная ювета шириной  $d$ , открытая сверху, до высоты  $H$  заполнена галлием, нагретым до температуры кипения. К противоположным стенкам  $A$  и  $B$ , изготовленным из хорошо проводящего материала, подведено внешнее электрическое напряжение. Через расплав галлия начинают пропускать постоянный ток  $I$  (рис.). Через какое время весь галлий выкипит? Удельную теплоту парообразования  $\lambda$ , плотность  $\rho$  и удельное сопротивление  $\sigma$  считать известными.



$$\frac{\sigma \tau I}{\rho H d \lambda} = \tau$$

Задача 20. (МОШ, 2015, 9) Для изготовления нагревательной спирали кипятильника взяли проволоку длиной  $l_1$ . После подключения этого кипятильника к источнику напряжения с малым внутренним сопротивлением на нагревание некоторой массы воды в калориметре на  $50^\circ\text{C}$  было затрачено время  $\tau_1 = 2$  минуты. Затем проволоку, из которой была сделана спираль кипятильника, расплавили и изготовили из расплава новую проволоку длиной  $l_2 = 2l_1$ . Из новой проволоки сделали другую спираль для кипятильника, опустили его в другой калориметр с другим количеством воды, и подключили кипятильник к тому же источнику напряжения. На нагревание воды на  $50^\circ\text{C}$  во втором калориметре было потрачено время  $\tau_2 = 12$  минут. Во сколько раз масса воды во втором калориметре отличается от массы воды в первом калориметре? Считайте, что потерь теплоты при нагревании воды не происходит, теплоёмкости калориметров пренебрежимо малы, а плотность и проводимость металла после переплавки остаются прежними.

$$\frac{\tau}{\varepsilon} = \left( \frac{\tau_1}{\tau_2} \right) \frac{l_2}{l_1} = \frac{\tau_{11}}{\tau_{22}}$$

Задача 21. (МОШ, 2014, 9–10) На спирали кипятильника при подключении к сети напряжением 220 В выделяется мощность 1 кВт. Масса спирали кипятильника составляет 100 г. Удельное сопротивление материала кипятильника  $10^{-6}$  Ом · м, плотность материала кипятильника  $9$  г/см<sup>3</sup>.

А) Каково сопротивление кипятильника? Ответ представьте в омах и округлите до целых.  
 В) Сколько времени потребуется, чтобы нагреть 1 кг воды, взятой из ведра со смесью воды и льда, до кипения? Считайте, что вся выделяемая на кипятильнике мощность идет на нагревание воды, а потерями тепла можно пренебречь. Удельная теплоемкость воды  $4200$  Дж/(кг · °С). Ответ представьте в минутах и округлите до целых.

С) Какова длина спирали кипятильника? Ответ представьте в метрах и округлите до второй значащей цифры.

Д) Какова толщина спирали кипятильника? Сечение спирали считайте круглым. Ответ представьте в миллиметрах и округлите до второй значащей цифры.

A) 48; B) 7; C) 23; D) 0,78

Задача 22. (МОШ, 2014, 9–10) Школьник Андрей проводит опыты с медной проволокой. Плотность меди составляет  $8,92$  г/см<sup>3</sup>, удельное сопротивление  $1,72 \cdot 10^{-8}$  Ом · м, удельная теплоёмкость  $380$  Дж/(кг · °С).

А) Медную проволоку подсоединили к источнику напряжения 220 В. Какой должна быть длина проволоки, чтобы её температура увеличивалась каждую секунду на один градус Цельсия? Ответ представьте в метрах и округлите до второй значащей цифры.

В) Через медную проволоку круглого сечения пропускают ток 1 А. Каким должен быть диаметр проволоки, чтобы её температура увеличивалась каждую секунду на один градус Цельсия? Ответ представьте в миллиметрах и округлите до второй значащей цифры.

A) 0,3; B) 10; C) 16; D) 1

Задача 23. (МОШ, 2014, 10) В комнате с температурой воздуха  $t_k = 25$  °С находится батарея аккумуляторов с суммарной ЭДС  $U = 200$  В и суммарным внутренним сопротивлением  $r = 20$  Ом. Выводы батареи подсоединены к электрической розетке. Изначально в эту розетку был включён кипятильник номер 1 с сопротивлением  $R = 200$  Ом, опущенный в стакан с холодной водой, которую он смог прогреть только до температуры  $t_1 = 50$  °С. Потом кипятильник вынули из розетки и вставили в неё разветвитель питания (так называемый «тройник»). К первым двум его выходам подключили кипятильники номер 1 и номер 2 (такой же, как кипятильник 1), а к третьему — кипятильник номер 3, той же формы, изготовленный из тех же материалов, но все размеры которого в  $n = 2$  раза меньше, чем у кипятильника номер 1. Эти кипятильники положили в стаканы с холодной водой: кипятильники 1 и 3 — в такие же, что и изначально, а кипятильник 2 — в стакан, все размеры которого в  $n$  раз меньше, чем у исходного стакана. До каких температур  $t_2$  и  $t_3$  соответственно нагреется за длительное время вода в стаканах, в которые помещены кипятильники 2 и 3? Мощность тепловых потерь через единицу площади поверхности считайте пропорциональной разности температур.

$t_2 \approx 100$  °С;  $t_3 \approx 17$  °С;  $t_2 - t_1 + t_3 = t_1 + t_3 + \frac{R+r}{R+r} (t_1 - t_k)$

ЗАДАЧА 24. («Росатом», 2017, 10) В сосуд с некоторым количеством жидкости опустили работающий нагреватель мощности  $P = 1000$  Вт. При этом температура жидкости повысилась на  $\Delta T = 1^\circ\text{C}$  за время  $t_1 = 10$  с. Когда в этот же сосуд опустили работающий нагреватель мощности  $P/2$ , то температура жидкости повысилась на  $\Delta T$  за время  $t_2 = 24$  с. За какое время температура жидкости в сосуде повысится на ту же величину  $\Delta T$ , если в сосуд опустить работающий нагреватель мощности  $2P$ ?

$$\boxed{c \rho V = \lambda t}$$

ЗАДАЧА 25. («Курчатов», 2017, 9) На электрической плите стоит цилиндрическая кастрюля с кипящей водой. За  $t = 10$  мин уровень воды в кастрюле уменьшился на  $h = 2$  мм. Найдите КПД электроплиты, если она работает от источника постоянного тока напряжением  $U = 220$  В, сопротивление нагревательной спирали  $R = 50$  Ом, площадь поперечного сечения кастрюли  $S = 350$  см<sup>2</sup>. Полезной работой плиты считайте теплоту, переданную воде в кастрюле. Удельная теплота парообразования воды  $L = 2,3$  МДж/кг, плотность воды  $\rho = 1,0$  г/см<sup>3</sup>.

$$\boxed{\eta \approx \frac{U^2 S t}{R \rho V L} = \eta}$$

ЗАДАЧА 26. («Курчатов», 2015, 10) Аккумулятор массой 5 кг, имеющий ЭДС 5 В, опустили полностью в дистиллированную воду на прочной нити, которая оказалась натянутой с силой 5 Н. Если этому аккумулятору (без воды) сообщить количество теплоты 5 кДж, то он нагреется на 5 градусов. Когда же к этому аккумулятору подключили резистор, через него потек ток силой 5 А, напряжение на выводах аккумулятора уменьшилось на 5%, и через 5 минут аккумулятор немного нагрелся. Найдите:

- 1) среднюю плотность  $\rho$  аккумулятора;
- 2) среднюю удельную теплоёмкость  $c$  аккумулятора;
- 3) сопротивление  $R$  резистора;
- 4) изменение температуры  $\Delta t$  аккумулятора после 5 минут работы с нагрузкой, если потерями теплоты можно пренебречь.

Плотность воды  $\rho_0 = 1$  г/см<sup>3</sup>, ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

$$\boxed{c \rho V = \lambda t} \quad \text{и} \quad \boxed{U = \mathcal{E} - I R}$$

Задача 27. (Всеросс., 2003, финал, 10) В 1899 году выдающийся американский физик Роберт Вуд оригинально решил сложную техническую проблему, за что институт, в котором он работал, сразу получил премию в 200000 долларов. Придуманное им «электротаяние» широко используют и сейчас.

Однажды во время сильного мороза в проложенной под землёй к дому сенатора железной трубе длиной  $l = 100$  метров на участке длиной  $l_1 \approx 5$  метров замёрзла вода, и водопровод перестал работать. Вуд предложил подсоединить к концам трубы провода от вторичной обмотки понижающего трансформатора, и через  $t = 10$  минут после подключения из крана полилась вода. Какое примерно напряжение было приложено к концам трубы и какая сила тока была в ней? Как изменилось бы время отогрева, если бы длина замёрзшего участка была в два раза больше?

Диаметры трубы: внутренний  $D_1 = 20$  мм, наружный  $D_2 = 26$  мм. Для железа: плотность  $d_{\text{ж}} = 7,8$  г/см<sup>3</sup>, удельная теплоёмкость  $c_{\text{ж}} = 0,45$  кДж/(кг · К), удельное сопротивление  $\rho = 0,1$  Ом · мм<sup>2</sup>/м. Для льда: плотность  $d_{\text{л}} = 0,9$  г/см<sup>3</sup>, удельная теплоёмкость  $c_{\text{л}} = 2,1$  кДж/(кг · К), удельная теплота плавления  $\lambda = 340$  кДж/кг.

*Примечание.* Для упрощения решения можно считать, что снаружи трубы также находится замёрзшая вода.

$$U \approx 0,68 \text{ В}; I \approx \frac{U}{R} \approx \frac{U}{\rho \frac{\pi (D_2^2 - D_1^2)}{4l}} \approx 41 \text{ А}$$