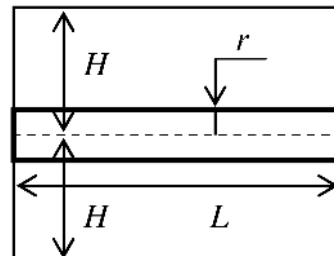


Условие

Задание 2. «Труба дело» Ввиду громоздких выражений, встречающихся при решении этой задачи, рекомендуется производить промежуточные численные расчеты.

Во время холодной морозной зимы (какие теперь случаются редко) почва промерзла на глубину $2H = 2,0\text{м}$. На глубине $H = 1,0\text{м}$ лежит медная труба длиной $L = 100\text{м}$, радиусом $r = 0,20\text{м}$ и толщиной стенок $h = 5,0\text{мм}$, по которой обычно протекает холодная вода. Но зима оказалась очень морозной и вода в трубе замерзла. Температура льда в трубе и промерзшей почвы равна $T_0 = -10^\circ\text{C}$. Для восстановления водоснабжения было решено отогреть трубу электрическим током. Для этого между ее концами подключили источник постоянного напряжения $U = 220\text{В}$.



1. Пренебрегая потерями теплоты в окружающую среду, найдите время τ_1 , за которое весь лед в трубе растает. Плотность льда $\rho_{\text{л}} = 900\text{кг/м}^3$, удельная теплоемкость $c_{\text{л}} = 2100\text{Дж/кг} \cdot \text{град}$, удельная теплота плавления $\lambda_{\text{л}} = 330\text{кДж/кг}$. Теплоемкостью трубы можно пренебречь. Удельное сопротивление меди $\gamma_{\text{м}} = 1,7 \cdot 10^{-8}\text{Ом} \cdot \text{м}$. Считайте, что вода в трубе электрический ток не проводит.

2. Вокруг трубы – холодная почва, которая состоит на $\beta = 0,10$ по объему из льда и на $1 - \beta = 0,90$ по объему из песка. Часть $\alpha = 0,50$ тепловой мощности, выделяющейся в трубе, тратится на нагрев окружающей почвы и плавление содержащегося в ней льда. Считайте теплопроводность мерзлой почвы намного меньшей теплопроводности оттаявшей почвы. За какое время τ_2 растает весь лед в трубе? Как зависит от времени t радиус цилиндра x , в пределах которого оттаяла почва? Постройте примерный график зависимости $x(t)$. Плотность песка равна $\rho_{\text{п}} = 2500\text{кг/м}^3$, удельная теплоемкость песка $c_{\text{п}} = 840\text{Дж/кг} \cdot \text{град}$.

3. Замерзшая почва не проводит электрический ток, но как только почва оттаивает, она становится неплохим проводником с удельным сопротивлением $\gamma_{\text{п}} = 2,0 \cdot 10^{-4}\text{Ом} \cdot \text{м}$. Как зависит сопротивление $R_{\text{п}}$ оттаявшей почвы от времени t ? Будем считать, что теплота, выделяющаяся в почве, идет только на нагрев самой почвы (не на трубу). Найдите дополнительное количество теплоты (помимо того, которое выделялось в трубе), выделившееся в почве за время t , после включения источника напряжения. Считайте, что вода в трубе электрический ток не проводит.

4. Если почва оттаивает до нижней границы «мерзлоты» на глубине $2H$, происходит «заземление» и электрический ток перестает течь по трубе. Определите максимальный радиус трубы r_{max} , которую еще можно отогреть «электрическим методом». За какое время τ_3 это произойдет?