Где найти прошлогоднюю зиму?

А.СТАСЕНКО

Большие керамические сосуды для хранения продуктов, чтобы охладить их, зарывали в землю на глубину, превышающую человеческий рост (найдены в Кноссе, Трое, Тиринфе).

Словарь античности

ВЕЛИКИЙ ЛУКРЕЦИЙ ВЕСЬМА любопытно объяснил полугодовую периодичность колебаний температуры на некоторой глубине под землей:

«Летом в колодцах вода холодней,
потому что от зноя
Пористей почва тогда и скорей
выпускает на воздух
Жара она семена, какие в ней
только найдутся.
…В холод, напротив, она,
под давлением стужи сжимаясь,
Как бы смыкается вся и,
сходясь все плотней и плотнее,
Весь свой остаток тепла выжимает,
конечно, в колодцы».

С тех пор физика выработала более строгие понятия, чем «семена жара» или «давление стужи», – скажем, такие вполне измеримые величины, как плотность ρ или удельная теплоемкость c. Эти понятия сейчас пригодятся нам. А еще одна важная физическая величина, имеющая отношение к делу, называется *теплопроводностью* (или коэффициентом теплопроводности). О ней стоит поговорить особо. Вводится она очень просто и, как все в науке, практически целесообразно.

Например, нужно узнать, сколько тепла ежесекундно уходит зимой через каждый квадратный метр стены дома на улицу – это ведь поможет рассчитать количество дров, угля или электроэнергии, необходимое для отопления помещения. Пусть температуры внутренней и наружной поверхностей стены $t_в$ и $t_н$, а ее толщина h. Тогда искомую плотность потока тепла q, его размерность $[q] = \text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, записывают в виде

$$q = \lambda \frac{t_в - t_н}{h}. \qquad (1)$$

Вот здесь уже и введен коэффициент теплопроводности λ. Предполагается, что этот коэффициент не зависит ни от температур, ни от толщины стенки, а характеризует только свойства ее вещества, так что строитель может найти его значение в Справочнике.

Из записанного равенства легко установить размерность коэффициента теплопроводности: $[\lambda] = \text{Дж}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К})$. Для наших целей важно, что сюда входит единица времени. Это позволяет из всех перечисленных величин ρ, c, h, λ составить комбинацию, имеющую размерность времени:

$$\tau \sim \frac{\rho c}{\lambda} h^2.$$

Для чего? А для того чтобы узнать глубину $h_{T/2}$, на которую «дойдет» температура, полгода назад ($\tau = T/2$) бывшая на поверхности Земли. Отсюда получим

$$h_{T/2} \sim \sqrt{\frac{\lambda}{\rho c}\frac{T}{2}}. \qquad (2)$$

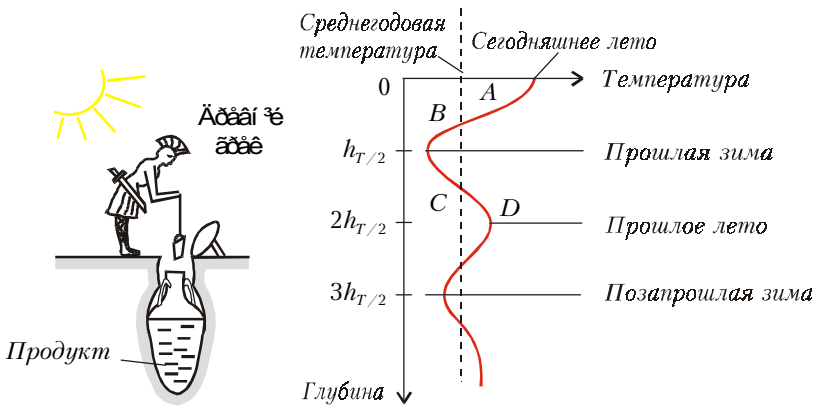
Конечно, физические свойства «земли», «почвы» чрезвычайно разнообразны – наверняка суглинок, чернозем и гранит отличны друг от друга по плотности, теплоемкости и теплопроводности. Но для комплекса $a = \dfrac{\lambda}{\rho c}$ можно принять некое «среднее» значение $2 \cdot 10^{-7}$ м^2/с, этот комплекс так прямо и называется *температуропроводностью*. А сколько секунд содержит один год? Посчитаем:

$$T = 3600 \frac{\text{с}}{\text{ч}} \cdot 24 \frac{\text{ч}}{\text{сут}} \cdot 365 \text{ сут} \approx 3 \cdot 10^7 \text{ с}.$$

Подставляя все это в полученную для $h_{T/2}$ формулу, имеем оценку

$$h_{T/2} \sim \sqrt{\frac{aT}{2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с} \cdot 3 \cdot 10^7 \text{ с}}{2}} \sim 2 \text{ м}.$$

Разумеется, это всего лишь оценка по порядку величины, но и она говорит о том, почему древние греки зарывали сосуды глубже своего роста – там проходит волна холода от прошлой зимы, когда на поверхности царит лето.

На рисунке качественно изображена «мгновенная картина» распределения температуры по глубине. Но почему колебания температуры постепенно уменьшаются с глубиной? Все из-за той же теплопроводности: с одной стороны, она позволяет тепловой энергии проникать внутрь земли, а с другой – она же способствует «рассасыванию горбов и впадин» температуры. В частности, по «склону» AB тепловая энергия течет вглубь, а по склону DC – вверх, согласно соотношению (1).

Аналогичную мгновенную картину распределения температуры можно нарисовать и для звуковой волны в воздухе. К счастью, при тех частотах, на которых мы общаемся друг с другом или слушаем музыку, теплопроводность воздуха не играет большой роли: его последовательные сжатия и разрежения происходят так быстро, что теплопроводность не успевает сгладить «горбы и впадины» температуры. Или, как сказал бы физик, *дисперсия* и *затухание* акустической волны незначительны. Но об этом ли думал древний грек, зарывая амфору?..