

# Где найти прошлогоднюю зиму?

А. СТАСЕНКО

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

Словарь античности

ВЕЛИКИЙ ЛУКРЕЦИЙ ВЕСЬМА любопытно объяснил полугодовую периодичность колебаний температуры на некоторой глубине под землей: «Летом в колодцах вода холодной, потому что от зноя Пористой 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  $\rho$  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

$$q = \lambda \frac{t_{в} - t_{н}}{h}. \quad (1)$$

Вот здесь уже и введен коэффициент теплопроводности  $\lambda$ . Предполагает-

ся, 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  $\rho$ ,  $c$ ,  $h$ ,  $\lambda$  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

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

Конечно, физические свойства «земли», «почвы» чрезвычайно разнообразны — наверняка суглинок, чернозем и гранит отличны друг от друга по плотности, теплоемкости и теплопроводности. Но для комплекса  $a = \frac{\lambda}{\rho c}$

можно принять некое «среднее» значение  $2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ , 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

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

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?..

