

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ



ПИЩЕВАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ



664.054.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛА САХАРА

В. Д. ПОПОВ, Ю. А. ТЕРЕНТЬЕВ, Б. Н. ГОНЧАРЕНКО

Киевский технологический институт пищевой промышленности

В литературе есть сведения о теплоемкости c кристаллов сахара [1] и их теплопроводности λ [2, 3], но данные отдельных авторов о теплофизических свойствах зачастую противоречивы. Исследования по температуропроводности a и теплоусвояемости b кристалла сахара нам неизвестны, за исключением отдельных измерений И. С. Павлова [4].

Установлено [1], что c кристалла сахара зависит от его температуры t , °С, и может быть вычислена по эмпирической формуле:

$$c = 0,2775 + 0,00085 t \text{ ккал/кг} \cdot \text{град.} \quad (1)$$

Результаты вычислений по уравнению (1) с точностью до 2% совпадают с [5].

А. М. Лепилкин [2], исследуя λ сахарных растворов, экстраполировал результаты и для вычисления λ кристалла сахара предложил эмпирическую формулу:

$$\lambda = 0,1637 + 0,0034 t \text{ ккал/м} \cdot \text{час} \cdot \text{град.} \quad (2)$$

Данные вычислений по этой формуле несколько отличаются от табличных [3]. Например, при 20°С по (2) $\lambda = 0,232 \text{ ккал/м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}$, а по [3] $\lambda = 0,5$.

Для экспериментального определения a монокристалла сахара мы использовали метод регулярного теплового режима первого рода [6]. Он основан на том, что тело в среде, температура которой постоянна и отличается от температуры тела, спустя некоторое время вступает в такое тепловое состояние, что для всех его точек темп охлаждения (нагрева) m одинаков:

$$m = \frac{\ln \vartheta_2 - \ln \vartheta_1}{\tau_1 - \tau_2} \text{ час}^{-1}, \quad (3)$$

где ϑ_1 и ϑ_2 — превышение температуры, °С, некоторой точки тела над температурой среды в моменты τ_1 и τ_2 .

Известно [7], что m зависит от a тела, коэффициента теплоотдачи α от среды к телу, размеров и формы тела. При условии $\alpha \rightarrow \infty$, справедливо соотношение [7]: $a = Km_\infty$, $\text{м}^2/\text{час}$

в котором K — коэффициент формы тела, м^2 .

Принципиальная схема установки изображена на рис. 1. В качестве среды использовали ртуть, что исключало вероятность растворения кристалла сахара и связанных с этим тепловых эффектов. Условие $\alpha \rightarrow \infty$ обеспе-

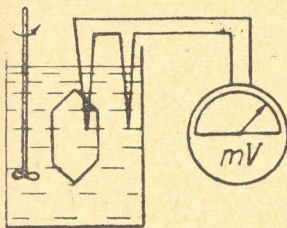


Рис. 1.

чивалось интенсивным перемешиванием ртути. В некоторой точке внутри кристалла сахара был помещен горячий спай медь-константановой термопары ($d = 0,15$ мм). ЭДС дифференциальной термопары (рис. 1) фиксировалась самопишущим микроампермилливольтметром НЗ73-1, вся шкала которого составляет 0,5 мВ.

Греющую среду предварительно термостатировали для того, чтобы нагреваемое тело вступило в регулярный тепловой режим первого рода. Термостатировали и монокристалл сахара, специально выращенный при слабом пересыщении раствора ($\Pi \approx 1,06$) до размеров примерно $25 \times 10 \times 7$ мм так, чтобы спай термопары оказался внутри кристалла. Темп нагревания монокристалла определяли по кривой изменения разности температур среды и некоторой точки кристалла по формуле (3).

Коэффициент формы тела определяли экспериментально. Для этого из материала с известной теплопроводностью (гипса) изготовили модель монокристалла сахара в масштабе 1:1. По методике, аналогичной для кристалла сахара, определяли темп нагревания модели. Затем коэффициент формы тела вычисляли по формуле:

$$K_s = a_s : m_s^2, \quad (4)$$

где a_s — коэффициент теплопроводности гипса;
 m_s — темп нагревания модели (эталона).

На рис. 2 приведены результаты измерений a кристалла сахара при различных t . Погрешность результатов δ_a складывается из ошибок в определении t и соответствующего момента времени $\delta_{t\tau} = 2\%$, характеризующих разбросом точек (рис. 2, кривая 1), и систематической ошибки δ_K за счет неточности определения коэффициента формы кристалла. Последняя может быть найдена из рассмотрения формулы (4): $\delta_K = \delta_{a_s} + \delta_{m_s} \%$, где $\delta_{a_s} = 1\%$ — погрешность в определении a эталона;
 $\delta_{m_s} = 2\%$ — погрешность в определении темпа его охлаждения.

Следовательно, $\delta_K = 3\%$. Таким образом, максимальная погрешность измерений монокристаллов в наших опытах: $\delta_a = \delta_{t\tau} + \delta_K = 5\%$.

Обработкой опытных данных мы установили, что значения монокристалла сахара с точностью до 5% могут быть вычислены по эмпирической формуле:

$$a = 1,025 \cdot 10^{-3} - 0,0492 \cdot 10^{-5} t \text{ м}^2/\text{час}. \quad (5)$$

Известно, что основные теплофизические свойства веществ связаны между собой соотношением: $a = \lambda / c \gamma \text{ м}^2/\text{час}$, (6)
где γ — удельный вес материала, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Зная a и используя данные [1] по c кристаллического сахара, можем определить его λ , если известна температурная зависимость γ для кристалла сахара. Она может быть найдена по уравнению:

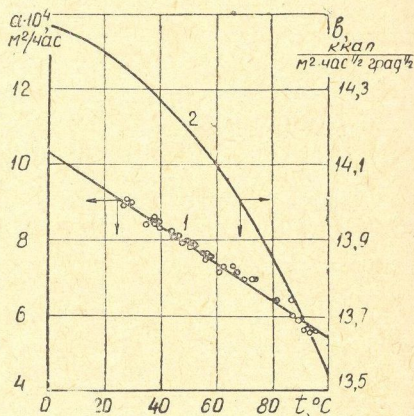


Рис. 2.

$$\gamma_t = \frac{\gamma_{15}}{1 - \beta(t - 15)} \text{ кг/м}^3, \quad (7)$$

где $\gamma_{15} = 1589,7 \text{ кг/м}^3$ — удельный вес кристалла сахара при 15°C [8];
 $\beta = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$ — коэффициент объемного расширения кристаллического сахара [9].

Подставляя (1), (5), (7) в формулу (6) и решая ее относительно λ , получим уравнение для вычисления λ монокристалла сахара с точностью до 6%:

$$\lambda = 0,474 - 0,00153 t \text{ ккал м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}. \quad (8)$$

Найденная зависимость λ от t хорошо согласуется с фоновой теорией теплопереноса в кристаллических диэлектриках [10].

Коэффициент объемной теплоемкости $C = c \gamma$, как следует из соотношений (1) и (7), для кристаллического сахара с точностью до 3% может быть вычислен по формуле:

$$C = 441,86 + 13,34 t \text{ ккал/м}^3 \cdot \text{град}. \quad (9)$$

При вычислении температурного поля, теплоаккумуляции и тепловых потерь в расчетные формулы входит теплоусвояемость b тела [10]:

$$b = \sqrt{\lambda C} \text{ ккал} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1/2} \cdot \text{град}^{-1/2}. \quad (10)$$

Эту тепловую характеристику монокристалла сахара можно определить из рис. 2 (кривая 2) построенного нами по формуле (10) с учетом соотношений (8) и (9).

ВЫВОДЫ

1. С повышением температуры в диапазоне от 20 до 100°C эффективные коэффициенты тепло- и температуропроводности монокристалла сахара уменьшаются. Для их расчета предложены эмпирические формулы.

2. Экстраполяция данных коэффициентов теплопроводности сахарных растворов на область кристаллического сахара, проведенная А. М. Лепилкиным, не правомерна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яновский В. В., Архангельский П. А. Ж. сахарн. пром-сти, № 7—8, 511, 1929.
2. Лепилкин А. М. Тр. Центр. н.-и. ин-та сахарн. пром-сти, вып. 21, № 1, 1938.
3. Eucken. Ann Phys., № 34, 185, 1911.
4. Павлов И. С. Тр. Киевск. технол. ин-та пищ. пром-сти, вып. 12, 189, 1952.
5. Parks, Huffman, Wagner. J. Amer. Chem Soc., вып. 55, 2733, 1933.
6. Кондратьев Г. М. Тепловые измерения, Машгиз, М.—Л., 1957.
7. Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим. Гостехтеориздат, М., 1954.
8. Bridgman P. W. Proc. Amer. Acad. Arts. and Sci., № 68, 27, 1933.
9. Принципы технологии сахара, под ред. П. Хонига. Пищепромиздат, М., 1961.
10. Чудновский А. Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. Физматгиз, М., 1962.

Кафедра теоретической и общей теплотехники

Поступила 26 I 1965