

## ■ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ

УДК 621.1:637.142.2

**В. Г. Федоров, Л. П. Ткач, В. А. Ромоданова, О. В. Кочубей**    **ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ЛАБИЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ  
В ДИАЛОГЕ С ПЭВМ**

В работе приведены температурные зависимости коэффициента теплопроводности и теплоемкости сгущенного молока с сахаром, полученные на установке, разработанной для определения ТФХ лабильных продуктов, которая работает в диалоге с персональной ЭВМ. Новая установка рекомендована к широкому использованию в качестве рабочего прибора.

Разработка и внедрение технологий новых молочных продуктов, в особенности сгущенных молочных консервов с различными добавками, затруднены отсутствием информации об эффективных теплофизических характеристиках (ТФХ) исходных компонентов, их изменения в процессе изготовления, а также о ТФХ готовой продукции, поскольку большая энергоемкость производства требует повышенной точности теплотехнологических расчетов. К этим ТФХ относятся коэффициент теплопроводности  $\lambda$  и теплоемкость  $c_p$  нормализованной молочной смеси, подлежащей пастеризации, теплопроводность и теплоемкость продукта, поступающего на упаривание, а также продукта в процессе его обработки в вакуум-охладителе. Для расчетов необходимо знать зависимость этих характеристик от температуры и концентрации.

Высокая лабильность молочных продуктов требует применения теплотрического метода комплексного определения ТФХ. Этот метод основан на непрерывном измерении плотности теплового потока через обе поверхности плоского образца и разности температур  $\Delta t$  на этих поверхностях [1]. Если в актуальном диапазоне температур ожидаются значительные фазовые превращения продукта, целесообразно работать циклами, чередуя стационарные и переходные тепловые режимы — для определения, соответственно,  $\lambda$  и  $c_p$ , с постепенным изменением температуры образца от цикла к циклу. При плавном изменении фазового состояния образца измерения теплопроводности и теплоемкости можно делать непрерывно, если выдерживать один из регулярных тепловых режимов.

В соответствии с блочным принципом построения ТФХ-приборов [1], установка для исследования лабильных продуктов выполнена из трех основных блоков: взаимозаменяемых блоков подвода и отвода теплоты в виде термостатированных плоских камер и измерительного блока. Между камерами 1 (рис. 1) располагается испытуемый образец 2. Тепловая изоляция 3 служит для уменьшения боковых потерь теплоты образцом (при необходимости можно использовать также экранную изоляцию). Камеры стягиваются болтами, на которые установлены прокладки 4. Толщина образца  $h$  определяется высотой фиксаторов 5. Основу измерительного блока составляют тепломеры 6, спаян батареейной медь-константановой термопары 7 для измерения разности температур, а

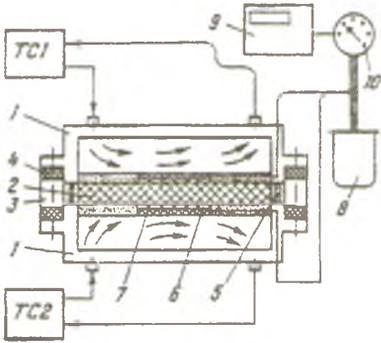


Рис. 1. Схема установки для определения ТФХ лабильных продуктов

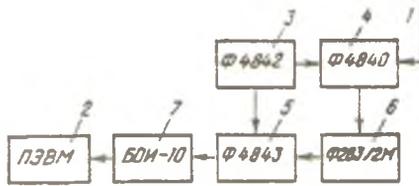


Рис. 2. Схема коммутации установки с ПЭВМ

также температуры поверхностей. Холодный спай термопары помещен в сосуд Дьюара 8 с тающим льдом. При наладочных опытах и для контроля основных опытов сигналы термометров и термопар подаются на цифровой милливольтметр 9 через переключатель 10. Сведенные до минимума балластные характеристики измерительного блока, а также низкие значения теплот фазовых переходов испытуемых продуктов позволяют проводить опыты в регулярном режиме второго рода. Постоянные во времени плотности теплового потока поддерживаются на поверхностях образца  $q_1$  и  $q_2$ . Искомые ТФХ определяются по формулам

$$\lambda = h \left( \frac{2\Delta t}{q_1 + q_2} - R_6 \right)^{-1}, \quad (1)$$

$$c_p = \left( \frac{q_1 - q_2}{u} - P_6 \right) h^{-1}, \quad (2)$$

где  $R_6$  и  $P_6$  — балластные термические сопротивления и теплоемкость, определенные по глицерину (как эталонному образцу);  $u$  — скорость изменения температуры образца.

Первичные преобразователи измерительного блока — термометры и термопары прошли метрологическую аттестацию в Сибирском НИИ метрологии, тарировка установки по глицерину позволяет установить пределы погрешности измерения  $\lambda$  —  $\pm 3\%$ ,  $c_p$  —  $\pm 5\%$  в диапазоне температур образца  $+20 \dots +80$  °С.

Стабильная работа новой установки на продуктах различной консистенции позволила перевести ее на режим диалога с ЭВМ. Такая потребность объясняется тем, что точность определения ТФХ в обычном режиме зависит от личных качеств и опыта оператора, например, в поддержании условий постоянной плотности теплового потока  $q = \text{const}$  и линейного изменения температуры во времени  $\tau t = t_0 + at$ . Поэтому установку (1) (рис. 2) подключили к ПЭВМ IBM/AT (2). Для этого использовали серийный агрегатный комплекс K484, который состоит из таймера Ф482 (3), коммутатора Ф840 (4) и транскриптора Ф4843 (5), а также вольтметр Ф283/2М (6) и разработанный специалистами научно-производственного предприятия "Технополис" блок согласования и передачи информации БОИ-10 (7).

С помощью клавиш управления коммутатором задается перечень каналов, которые нужно опросить (их пять) и режим работы (ждуший). Таймером задаются промежутки времени между опросами каналов (1 сек.) и между измерениями (5 мин.) Информация об ЭДС термометров и

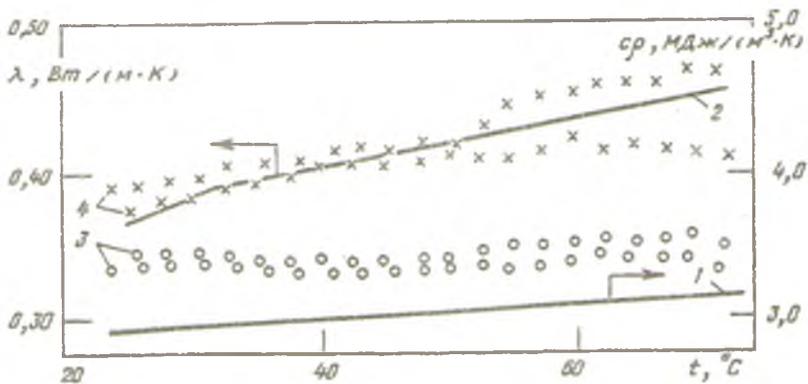


Рис. 3. Результаты определения коэффициента теплопроводности и теплоемкости сгущенного молока с сахаром.

1, 2 — данные [2]; 3, 4 — опытные данные

термопар с помощью транскриптора и блока согласования передается в порт COM1 компьютера. Затем программным средством Турбо-Паскаль информация обрабатывается по заданному алгоритму, выводится на экран дисплея и записывается в нужный файл. Обратная связь заключается в контроле теплового режима образца. Например, если отклонение  $q_1$  или  $q_2$  от постоянной величины превышает допустимый уровень, на экране дисплея появляется предостережение и подается звуковой сигнал. Вычисление ТФХ не производится до тех пор, пока не будет снова отрегулирован необходимый режим работы установки.

На рис. 3 представлены зависимости коэффициента теплопроводности и теплоемкости сгущенного цельного молока с сахаром (массовая доля влаги — 25,9 %, сухих веществ — 74,1 в т. ч. жира — 8,8 %, сахара — 44,6 %, белка и минеральных веществ — 20,7 %) от температуры. Как видно из рис. 3, совпадение с результатами, опубликованными в [2], удовлетворительное, что дает основание рекомендовать новую установку к широкому использованию в качестве рабочего прибора. Расхождения с литературными данными, выходящие за пределы указанной выше погрешности, а также некоторый разброс опытных данных можно объяснить различным составом исследованных продуктов, в особенности триглицеридов, которые в рабочем диапазоне температур претерпевают существенные фазовые превращения.

**РЕЗЮМЕ.** Розроблена установка для визначення ефективних теплофізичних характеристик лабільних продуктів, що працює у діалозі із персональною ЕОМ. Наведена температурна залежність теплопровідності та теплоємності згущеного молока із цукром.

**SUMMARY.** The device is elaborated for determining of thermophysical characteristics of labile products. The device operates in dialogue with personal computer. The temperature dependence is presented for thermal conductivity and heat capacity of condensed whole milk with sugar.

1. Федоров В. Г. Основы тепломассометрии.— К.: Выща школа, 1987.— 184 с.
2. Грамов М. А. Теплофизические характеристики сгущенного молока с сахаром// Молочная промышленность.— 1987.— № 12.— С. 17.