

МИНИСТЕРСТВО ЗАГОТОВОК СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
КОМБИКОРМОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А. Власов

**ТЕХНОЛОГИЯ,
МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
НА КОМБИКОРМОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

№ 22



МОСКВА 1983

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАНУЛИРОВАННОГО КОМБИКОРМА

О. И. ШАПОВАЛЕНКО, Украинский филиал ВНИИКП

Применяемое при производстве комбикормов сырье, а также готовый продукт представляют собой сложные объекты исследования. Для правильного решения практических задач по выработке и хранению гранулированных комбикормов необходимо знать не только показатели их качества, но и теплофизические свойства. Трудности экспериментального определения теплофизических характеристик (ТФХ) сложных по своему строению материалов, к которым относится и гранулированный комбикорм, обусловлены тем, что на их значение оказывает влияние состав, структура и параметры состояния системы. Для дисперсных материалов расхождения в значениях ТФХ, полученных различными методами и разными авторами, достигают десятков процентов, так как невозможно даже дважды

полностью смоделировать одну и ту же структуру (по плотности, расположению частиц, размерам капилляров, характеру действия молекулярных сил и другим показателям).

Целью исследования являлось определение ТФХ гранулированного комбикорма в широком диапазоне температуры и влажности, а также получение зависимостей для их расчета.

Определение ТФХ гранулированного комбикорма, изготовленного по рецепту № 1-22/4 Укр. 158к, проводили на установке Киевского технологического института пищевой промышленности (рис. 1). Принцип действия прибора основан на комплексном теплотермическом методе калориметра с направлением транзитом тепла, который описан в работах [1, 2]. Особенностью установки является то, что она позволяет из одного опыта определить две основные характеристики продукта: объемную теплоемкость и теплопроводность.

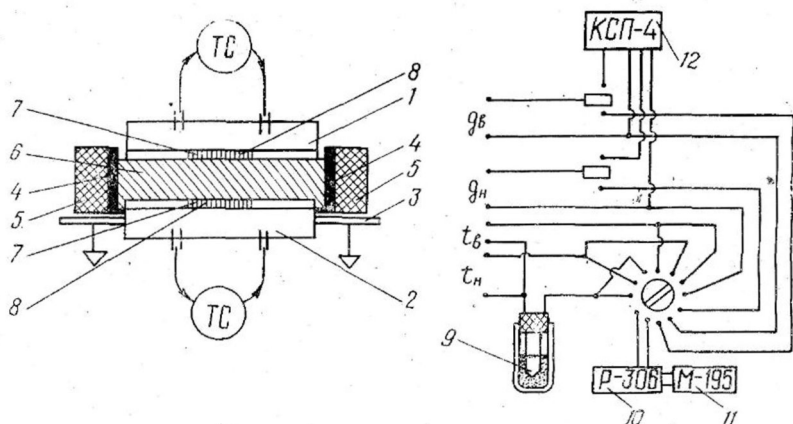


Рис. 1. Схема прибора для определения теплофизических характеристик комбикорма:

- 1—верхний греющий теплообменник; 2—нижний охлаждающий теплообменник; 3—станина; 4—ограничительное кольцо из оргстекла; 5—тепловая изоляция; 6—образец комбикорма; 7—термомеры; 8—термопары; 9—сосуд Дьюара; 10—магазин сопротивлений; 11—гальванометр; 12—электронный потенциометр

Для проведения исследований получали гранулированный комбикорм с заданной (на общую массу) влажностью от 5 до 26%. Диапазон влагосодержания образцов достигали путем искусственного увлажнения или подсушивания продукта. В процессе проведения опытов температуру образца изменяли от 34 до 70°C.

Теплопроводность λ определяли по методу плоской пластины следующим образом. После включения термостатов УТ-15 на разные температуры образовывался транзит тепла через образец комбикорма от нагревателя к холодильнику, о чем свидетельствовало равенство входящего и выходящего из образца потоков тепла, которые регистрировались на ленте самописца КСП-4 $q_b = q_n = q$. Одновременно термопарами измеряли перепад температур на поверхности комбикорма. При стационарном режиме тем-

температура образца оставалась постоянной. Выдержав в течение пяти минут стационарный режим, измеряли плотность теплового потока q_v и q_n , температуру нижней поверхности образца θ_n и разность температур $\Delta\theta$.

Зная толщину образца δ , определяли теплопроводность по уравнению:

$$\lambda = \frac{q \cdot \delta}{\Delta\theta} \quad (1)$$

Эту величину относили к средней температуре, которую вычисляли по формуле:

$$\bar{\theta} = \theta_n + \frac{\Delta\theta}{2} \quad (2)$$

После этого на одинаковый интервал (5°C) увеличивали температуру термостатов УТ-15, в результате чего плотность теплового потока на входе в образец возрастала, а на выходе падала. Таким образом, осуществляли переходной режим, при котором температуры обеих поверхностей образца возрастали. После достижения термостатами заданных температур поток тепла через образец стабилизировался, а его среднеобъемная температура продолжала повышаться. При этом плотность теплового потока на входе в образец снижалась, а на выходе возрастала, т. е. происходило выравнивание потока и наступал новый стационарный режим $q_v = q_n = q$.

Таким же образом осуществляли ряд переходных режимов и по их результатам рассчитывали значения теплопроводности λ , а также объемной теплоемкости $c\rho$ комбикорма, которую определяли по формуле:

$$c\rho = \frac{\int (q_v - q_n) d\tau}{\delta \cdot \Delta \cdot \theta} \quad (3)$$

Интеграл в этой формуле пропорционален площади, ограниченной кривыми $q_v(\tau)$ и $q_n(\tau)$, которые получали на диаграмме при непрерывной записи самописцем сигналов тепломеров.

Температуропроводность a вычисляли для средней температуры переходного режима по формуле:

$$a = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2c\rho} \quad (4)$$

Экспериментальные данные обработали методом наименьших квадратов на ЭВМ «Мир-2». В результате математической обработки получили уравнения для расчета теплопроводности λ и объемной теплоемкости $c\rho$ комбикорма, которые имеют вид:

$$\begin{aligned} \lambda = & 738 \cdot 10^{-4} - 945 \cdot 10^{-6} W + 142 \cdot 10^{-6} W^2 + 545 \cdot 10^{-7} W\theta - \\ & - 161 \cdot 10^{-6} \theta, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}; \end{aligned} \quad (5)$$

$$c_p = 396 \cdot 10^{-4} + 190 \cdot 10^{-4} \theta + 373 \cdot 10^{-4} W, \text{ КДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}), \quad (6)$$

где W — влажность комбикорма, %;

θ — температура гранул, °С.

Уравнения (5) и (6) можно применять для расчета ТФХ гранулированного комбикорма в диапазоне влажности продукта от 4 до 30% и температуры от 20 до 80°С.

На рис. 2 приведены экспериментальные и расчетные значения теплопроводности и объемной теплоемкости в зависимости от влажности комбикорма при температуре продукта 50°С, из которого видно, что с увеличением влажности гранул ТФХ в исследуемом диапазоне возрастают по закону, близкому к линейному.

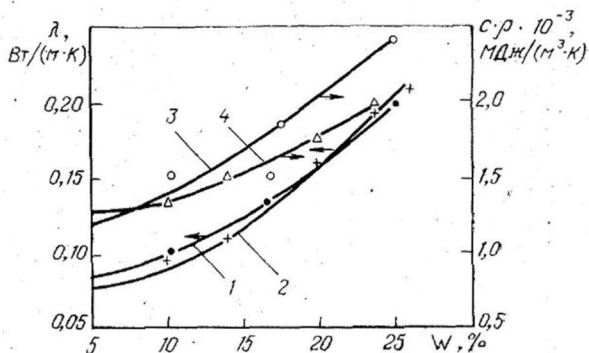


Рис. 2. Зависимость экспериментальных и расчетных значений теплопроводности соответственно 1, 2 и объемной теплоемкости 3, 4 комбикорма от влажности при температуре продукта 50°С

При определении ТФХ комбикорма по уравнениям (5) и (6) среднее квадратичное отклонение расчетных данных от экспериментальных не превышает 18%.

Корреляционную связь между ТФХ и показателями, входящими в уравнения (5) и (6), а также значимость коэффициентов корреляции рассчитывали по методикам, приведенным в работах [3, 4]. Результаты расчета коэффициентов корреляции приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета коэффициентов корреляции

ТФХ гранулированного комбикорма	Эмпирический стандарт, S	Коэффициенты корреляции		
		между парами величин		множественный
		r_W	r_θ	
Объемная теплоемкость c_p	0,583	0,437	0,589	0,668
Теплопроводность λ	0,053	0,844	-0,398	0,878

Из анализа табличных данных следует, что влажность и температура гранул оказывают влияние на ТФХ комбикорма.

Коэффициенты корреляции могут быть отличными от нуля вследствие случайного рассеивания результатов измерений. Поэтому проверяли их значимость, т. е. определяли возможность отвергнуть гипотезу о некоррелированности рассматриваемых величин. Доверительную оценку значимости парных и множественных коэффициентов корреляции рассчитывали при надежности вывода 0,95. При этом сравнивали расчетные значения коэффициентов с табличными. Результаты расчетов представлены в табл. 2, из которой видно, что расчетные значения значительно превосходят табличные. На этом основании с надежностью вывода, большей 0,95, можно считать, что коэффициенты корреляции отличны от нуля и являются значительными.

Таблица 2

Определение значимости коэффициентов корреляции

ТФХ гранулированного комбикорма	Значения, определяющие значимость коэффициентов корреляции					
	между парами величин				множественного	
	$ r_w $		$ r_{\theta} $		$ R_{w\theta} $	
	расчетные	табличные	расчетные	табличные	расчетные	табличные
Объемная теплоемкость c_v	2,93	1,95	3,95	1,95	17,3	5,03
Теплопроводность λ	5,66	1,95	2,67	1,95	71,9	5,03

Коэффициент множественной детерминации R^2 , показывающий долю вариации зависимой переменной под воздействием переменных факторов, составляет для объемной теплоемкости 0,446, а для теплопроводности 0,770. Следовательно, вариации объемной теплоемкости и теплопроводности гранулированного комбикорма соответственно на 44,6 и 77,0% связаны с действием изучаемых факторов — влажностью и температурой.

В результате проведенных исследований определены ТФХ гранулированного комбикорма и получены уравнения для расчета теплопроводности и объемной теплоемкости гранул.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пахомов В. Н., Федоров В. Г., Ереско Г. А. Теплофизические характеристики молочного жира.— Изв. вузов, Пищевая технология, 1977, № 4, с. 167—171.
2. Федоров В. Г., Шубенко Б. П. Определение основных теплофизических характеристик жидкостей из одного опыта.— В кн.: Теплофизика и теплотехника.— Киев: Наукова думка, 1974, с. 66—69.
3. Лукомский Я. И. Теория корреляции и ее применение к анализу производства.— М.: Госстатиздат, 1961.— 371 с.
4. Румшицкий Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное руководство.— М.: Наука, 1977.— 192 с.