

УДК 631.576.331.2 : 633.18.1 : 53+664.723.047 : 633.18

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОЯ РИСА-ЗЕРНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

При разработке технологических режимов тепловой обработки свежееубранного риса-зерна, расчетах процессов сушки и охлаждения, конструировании теплообменных аппаратов необходимо знание таких его теплофизических характеристик, как теплоемкость, коэффициенты теплопроводности и температуропроводности в зависимости от влажности и температуры зерна в слое.

Имеющиеся в литературе данные по теплофизическим характеристикам слоя риса-зерна существенно различаются между собой и определены в основном при комнатных температурах. Различия данных по теплоемкости достигает 15%, а по теплопроводности — 60%. Данные носят отрывочный характер, точность их определения в большинстве случаев не оценивалась.

В связи с этим возникла необходимость комплексного систематического исследования теплофизических характеристик риса-зерна в зависимости от влажности и температуры. Исследования проведены на экспериментальной установке комплексным методом теплотрического калориметра с направленным транзитом тепла. Суть метода — измерение в чередующихся стационарных и переходных тепловых режимах теплопроводности и теплоемкости плоского образца [5].

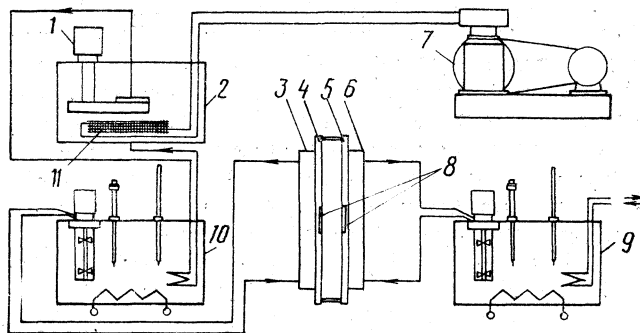


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения теплофизических характеристик зерна риса

Установка (рис. 1) состоит из двух вертикально расположенных цилиндрических блоков 3 и 6 с медными днищами 4 и 5, между которыми помещают образец. Наружные поверхности блоков теплоизолированы. Внутри блоков циркулируют теплоносители от термостатов 9 и 10 типа У = 10. С целью поддержания в термостатах температур от 0 до 20°C используется фреоновый компрессор ФАК-0,7 Е 7, подающий хладагент в испаритель 11, размещенный в рассольном баке 2. Охлажденный рассол прокачивается по охлаждающим змеевикам термостата насосом-мешалкой 1.

Характерной особенностью установки является использование малогабаритных малоинерционных датчиков для измерения локальной во времени и пространстве плотности теплового потока — тепломеров [6]. Тепломеры 8 с термопарами заделаны заподлицо с поверхностью днищ блоков 3 и 6 для измерения плотностей теплового потока и температур на поверхностях контакта образца. Запись показаний тепломеров в процессе опыта осуществляется постоянно с помощью потенциометра КСП-4. Измерение температуры поверхности осуществляется периодически с помощью потенциометра Р-306.

Для опытов были взяты образцы риса-зерна сорта Краснодарский 424 влажностью от 12,2 до 32,8%, с содержанием зерновой примеси 1,16%, сорной примеси 0,29%, стекловидностью 90%, пленчатостью 16,7%. Масса 1000 зерен была равна 27,41 г. Влажность образцов риса-зерна определяли до и после опытов.

Рис-зерно заданной влажности засыпало в ячейку между теплообменными поверхностями. Толщина и параллельность поверхностей слоя фиксировались при помощи упоров. Для предотвращения изменения влажности зерна в процессе опыта боковые поверхности ячейки герметизировали хлорвиниловой пленкой. Для обеспечения стабильности теплового контакта зерен риса с теплообменными поверхностями блоки, образующие ячейку, расположены вертикально. Толщина слоя зерна в опытах составляла 10,0—15,2 мм, а относительное уплотнение 0,93—0,98.

Выбор толщины слоя произведен из условия предотвращения естественной конвекции воздуха в межзерновом пространстве и в соответствии с рекомендациями о минимально необходимом объеме засыпки зерна в экспериментальной ячейке [1]. Плотность теплового потока, пронизывающего образец, поддерживалась в пределах 100—150 Вт/м², разность температур на границах слоя — 10—15 К, время единичного опыта — 10—15 мин. Исследования проведены в трех повторностях в диапазоне температур 3—50°C.

С целью получения обобщенной зависимости теплоемкости риса-зерна C (кДж/кг·К) от влажности W^c и температуры Θ экспериментальные данные были обработаны по уравнению регрессии:

$$C = 1,08 + 0,0184 W^c + 0,0117\Theta \pm 0,072. \quad (1)$$

В этом же диапазоне температур, для влажности зерна, пересчитанной на общую массу $W = \frac{100W^c}{100 + W^c}$, уравнение имеет вид:

$$C = 0,989 + 0,0279 W + 0,0117\Theta \pm 0,070. \quad (2)$$

Если произвести линейную экстраполяцию уравнения (1) в область нулевых значений влажности W^c , то теплоемкость абсолютно сухих веществ C при температуре 10°C будет равна 1,197 кДж/(кг·К), что на $\pm 8\%$ отличается от имеющих в литературе [2] данных, и в области температур 3—50°C может быть описана уравнением:

$$C_{с. в} = 1,08 + 0,0117\Theta. \quad (3)$$

Температурный коэффициент теплоемкости риса-зерна, таким образом, на $\pm 26\%$ отличается от температурного коэффициента для пшеницы [2, 7].

Обычно, при приближенных расчетах значение теплоемкости зерна оценивают по формуле смешения, которая при $W = 100\%$ дает значение теплоемкости свободной воды. Расчет теплоемкости по уравнению (2) при температуре 20°C даст значение, равное 4,013 кДж/(кг·К), что на 4,06% меньше теплоемкости воды при той же температуре, а при температуре 30°C это расхождение составляет 1,05%.

Анализ полученных данных показывает, что при тепловых расчетах необходимо учитывать зависимость удельной теплоемкости от температуры. Так, при изменении температуры зерна от 3 до 50°C удельная теплоемкость при влажности $W^c = 20\%$ возрастает на 0,55 кДж/(кг·К), т. е. изменяется на 27,1%.

При обработке экспериментальных данных по коэффициенту теплопроводности слоя риса-зерна λ (Вт/(м·К)) в зависимости от влажности и температуры получено уравнение регрессии:

$$\lambda = 0,0616 + 0,12 \cdot 10^{-2} W^c + 0,43 \cdot 10^{-3} \Theta + 0,61 \cdot 10^{-5} W^c \cdot \Theta \pm 0,0026 . \quad (4)$$

На рис. 2 показана зависимость коэффициента теплопроводности слоя риса-зерна от влажности и температуры. Из графика видно, что с увеличением влажности и температуры теплопроводность слоя зерна увеличивается.

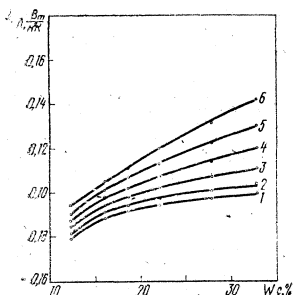


Рис. 2. Зависимость теплоемкости слоя риса-зерна от влажности и температуры:

- 1 — $\Theta = 3^\circ\text{C}$; 2 — $\Theta = 10^\circ\text{C}$;
3 — $\Theta = 20^\circ\text{C}$; 4 — $\Theta = 30^\circ\text{C}$;
5 — $\Theta = 40^\circ\text{C}$; 6 — $\Theta = 50^\circ\text{C}$

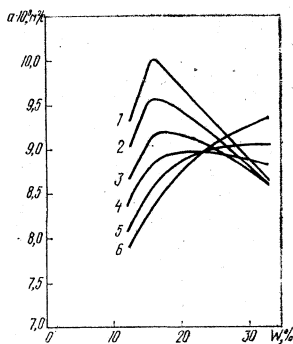


Рис. 3. Зависимость коэффициента температуропроводности слоя риса-зерна от влажности и температуры:

- 1 — $\Theta = 3^\circ\text{C}$; 2 — $\Theta = 10^\circ\text{C}$;
3 — $\Theta = 20^\circ\text{C}$; 4 — $\Theta = 30^\circ\text{C}$;
5 — $\Theta = 40^\circ\text{C}$; 6 — $\Theta = 50^\circ\text{C}$

На рис. 3 представлены обобщенные данные по температуропроводности слоя риса-зерна, обработать которые в виде простого уравнения не представляется возможным.

Как видно из рис. 3, коэффициент температуропроводности имеет экстремальное значение, соответствующее границе адсорбционно связанной и капиллярной влаги в зерне, причем с ростом температуры экстремальное значение становится менее выраженным и несколько смещается в сторону большей влажности зерна. Это объясняется, видимо, тем, что в области температур от 25—30°C и влажности 15—17%, тепловой контакт между отдельными зернами улучшается и температуропроводность слоя увеличивается. При дальнейшем увеличении влажности рост коэффициента теплопроводности несколько замедляется, а теплоемкость продолжает расти. Коэффициент температуропроводности, достигнув максимума, уменьшается. При температурах зерна выше 30°C наблюдается плавное увеличение температуропроводности в зависимости от влажности.