

УДК 664.727

Доцент А.В. Прибытков, ассистент А.Н. Мартеха,
ассистент В.В. Торопцев.

(Воронеж. гос. ун-т инж. технологий.) кафедра машин и аппаратов пищевых производств.
тел. (473) 255-38-96
E-mail: man6630@rambler.ru

Associate Professor A.V. Pribytkov, assistant A.N. Martekha,
assistant V.V. Toroptsev

(Voronezh state university of engineering technologis.) Department of machines and apparatuses
of food industry. phone (473) 255-38-96.
E-mail: man6630@rambler.ru

Определение теплофизических характеристик ферментированного пшеничного сырья при исследовании процессов тепло- и массообмена

Determination of thermophysical properties of fermented wheat raw materials in the study of processes of heat- and mass transfer

Реферат. В статье представлены результаты исследования теплофизических свойств ферментированного пшеничного сырья, описаны использованные при этом экспериментальные методы, объяснено поведение графических кривых при различных внешних условиях, представлена возможность использования полученных результатов. Описаны возможности применения теплофизических коэффициентов при проектировании различных конструкций сушильных установок. Введено понятие ферментированного пшеничного сырья, описаны внешний вид продукта и условия его получения, показано влияния температуры и влагосодержания на исследуемый продукт. Представлена конструкция стенда для определения теплофизических характеристик ферментированного пшеничного сырья с применением метода нестационарного теплового режима, а также описан принцип его работы. Введены эмпирические уравнения регрессии, адекватно описывающие теплофизические характеристики. Результатами исследования являются зависимости коэффициентов теплопроводности, теплоемкости, температуропроводности от влагосодержания и температуры. Линейный характер зависимостей показывает, что с увеличением температуры и влагосодержания теплофизические коэффициенты увеличиваются.

Summary. The article presents the results of a study of thermophysical properties of fermented wheat raw materials used are described in this experimental method, explained the behavior of graphic curves under different external conditions, given the opportunity to use the results. Possibilities of application of physical characteristics in the design of various designs dryers. Introduced the concept of the fermented wheat feedstock described the appearance of the product and the conditions for its receipt, showing the influence of temperature and moisture on the investigational product. Shows the design of the stand to determine the thermal characteristics of the fermented wheat raw materials using the method of transient thermal regime and describes how it works. Introduced empirical regression equation adequately describe thermal characteristics. Depending on the results of the study are the coefficients of thermal conductivity, specific heat, thermal diffusivity on the moisture content and temperature. The linear dependence shows that with increasing temperature and moisture content of the physical characteristics increase.

Ключевые слова: сушка, ферментированное пшеничное сырье, теплофизика

Keywords: drying, raw fermented wheat, thermal physics

Для выполнения тепловых расчетов сушильных аппаратов необходимо знать тепловые характеристики (теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость) высушиваемых материалов, от которых зависит выбор рационального метода и режима сушки материала. Так, решение вопроса о возможности применения для сушки конкретного продукта определенных сушильных установок зависит не только от диффузионного сопротивления, определяе-

мого внутренней пористой структурой материала, но и от его способности воспринимать необходимое для сушки количество тепла. Тепловые характеристики необходимо знать также при обработке результатов экспериментальных исследований процессов тепло- и массообмена, определении механизма переноса тепла во влажном материале, анализе форм и видов связи влаги с материалом и т. д. [1].

© Прибытков А.В., Мартеха А.Н., Торопцев В.В., 2014

Ферментированное пшеничное сырье – продукт, получаемый при проведении ферментного гидролиза дробленой пшеницы. По внешнему виду сырье представляет собой коллоидно-дисперсную фракцию, содержащую дробленое, прошедшее температурную и ферментную обработку зерно пшеницы [5].

Теплофизические характеристики ферментированного пшеничного сырья являются функциями состояния и свойств вещества, зависящих от многих факторов, к которым следует отнести химический состав и структуру. При этом большое значение имеет характер изменения теплофизических характеристик от основных параметров влажного материала: температуры и влагосодержания.

В научной литературе отсутствуют данные по теплофизическим характеристикам ферментированного пшеничного сырья, поэтому существует необходимость в их определении.

Разработанные в настоящее время методы определения теплофизических характеристик влажных материалов подразделяются на две группы: стационарного и нестационарного потока теплоты. Методы стационарного потока теплоты основаны на постоянстве температурного поля, проходящего через исследуемый продукт на протяжении всего опыта [2]. Такие методы длительны и требуют очень строгого выполнения граничных условий. Методы нестационарного отличаются переменностью температурного режима в испытуемом образце при кратковременном тепловом воздействии на продукт в условиях малого температурного градиента. Основными преимуществами таких методов являются: незначительное влияние градиента температуры на гидродинамическое состояние продукта, простота, надежность и быстрота проведения эксперимента.

Исследования теплофизических характеристик ферментированного пшеничного сырья проводили на экспериментальном стенде (рисунок 1) лаборатории кафедры МАПП ВГУИТ.

На стенде имеется общий выключатель 1, промежуточный тумблер 2 для подачи напряжения на потенциометр 3, который включается двумя тумблерами, находящимися за дверкой потенциометра.

На передней панели стенда закреплен эталон 6 с известными теплофизическими характеристиками, на который помещается образец пищевого продукта 8, а также установлена греющая поверхности 10 с возможностью перемещаться в вертикальном положении. Рядом со стендом установлен ультратермостат 14, обеспечивающий постоянную температуру греющей

поверхности 10. Ультратермостат 14 включается вертикальным ползунком 12. Кнопкой 13 включается насос, подающий горячую воду к греющей поверхности. Вода нагревается ТЭНом, который управляется ползунком 15. Температура воды регулируется электроконтактный термометром 11, который автоматически поддерживает ее постоянное значение, что обеспечивает постоянный поток теплогреющей поверхности.

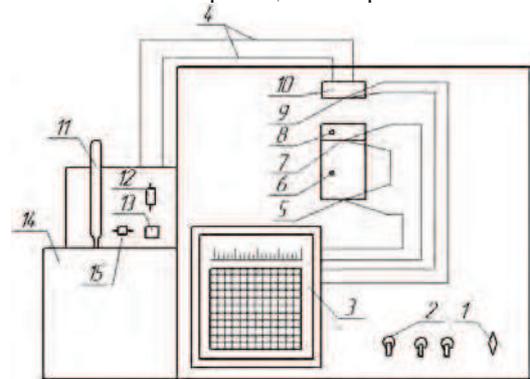


Рисунок 1. Схема стенда для исследования теплофизических характеристик

В греющей поверхности 10 установлена термопара 9, подключенная к потенциометру 3 и показывающая температуру греющей поверхности. В плоскости соприкосновения пищевого продукта и эталона установлен шарик 7 дифференциальной термопары, второй шарик 5 этой термопары установлен на противоположном конце эталона, являющегося полуограниченным стержнем системы двух тел - эталон и ограниченным стержнем - пищевой продукт. Эта система образуется после присоединения греющей поверхности сверху к пищевому продукту.

При определении теплофизических характеристик использован метод нестационарного теплового режима, основанный на решении задачи теплопроводности для начальной стадии процесса, а именно метод двух температурно-временных точек, разработанный В.С. Волькенштейн [2].

Значения коэффициентов температуропроводности, теплопроводности и удельной теплоемкости в интервале температур 293-393 К для образцов ферментированного пшеничного сырья влагосодержанием 10-150 % заложены в графики на рисунках 2-6. Относительные погрешности определения α и λ не превышали 1 %.

Как видно из рисунков 2-7 в интервале влажности W^c от 0 до 150 % величины α , λ и c возрастают до значения, определяемого относительной величиной теплопроводности воды и ферментированного пшеничного сырья, так как в области капиллярной конденсации на теплоперенос влияние оказывает свободная влага.

Зависимости $\alpha = f(W^c)$, $\lambda = f(W^c)$ и $c = f(W^c)$ являются монотонно возрастающими, их графики в данном интервале влажности не имеют переломных точек.

Рост кривых $\alpha = f(W^c)$, $\lambda = f(W^c)$ для исследованного ферментированного пшеничного сырья можно объяснить влиянием «водных мостиков», согласно основным положениям теории А.Ф. Чудновского [3] теплопереноса во влажных пористых материалах. Теплопроводность сухого ферментированного пшеничного сырья мала из-за точечного соприкосновения частиц материала.

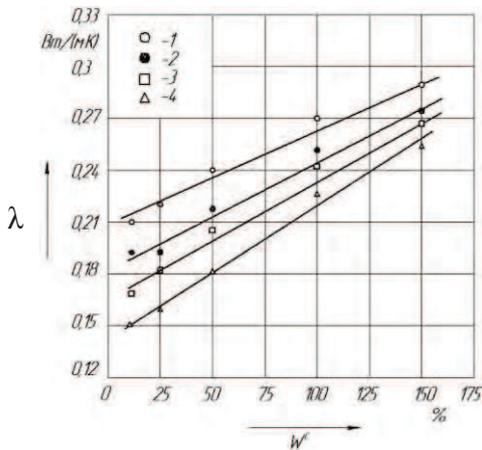


Рисунок 2. Зависимость коэффициента теплопроводности λ , Вт/(м·К), от влагосодержания при: 1 – T=393 К; 2 – T=363 К; 3 – T=333 К; 4 – T=293 К

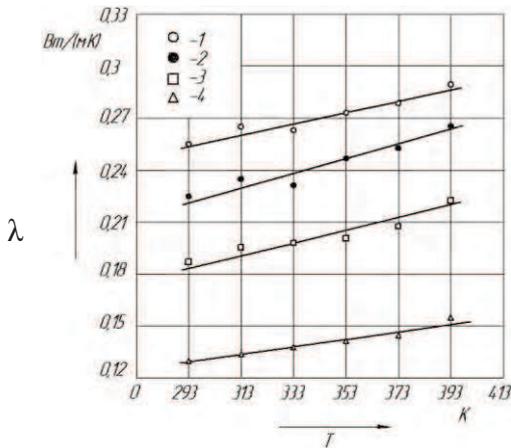


Рисунок 3. Зависимость коэффициента теплопроводности λ , Вт/(м·К), от температуры при: 1 – $W^c=150\%$; 2 – $W^c=100\%$; 3 – $W^c=50\%$; 4 – $W^c=10\%$

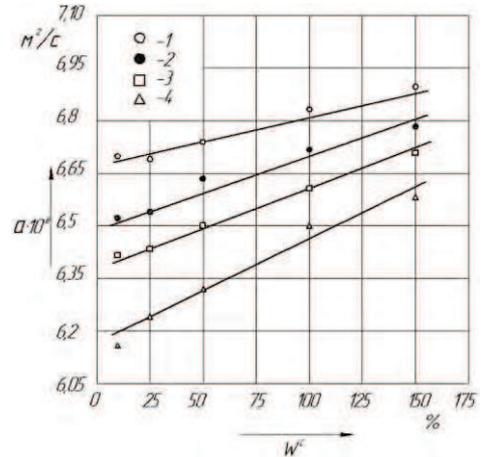


Рисунок 4. Зависимость коэффициента температуропроводности $a \cdot 10^8, m^2/c$, от влагосодержания при: 1 – T=393 К; 2 – T=363 К; 3 – T=333 К; 4 – T=293 К

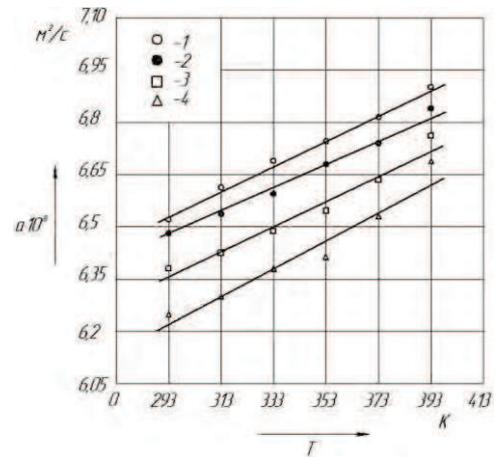


Рисунок 5. Зависимость коэффициента температуропроводности $a \cdot 10^8, m^2/c$, от температуры при: 1 – $W^c=150\%$; 2 – $W^c=100\%$; 3 – $W^c=50\%$; 4 – $W^c=10\%$

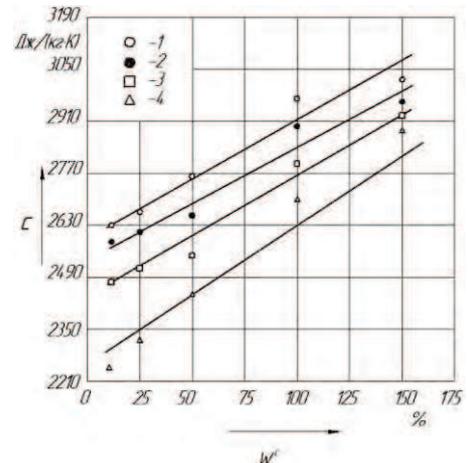


Рисунок 6. Зависимость коэффициента удельной теплоемкости c , Дж/(кг·К), от температуры при: 1 – $W^c=150\%$; 2 – $W^c=100\%$; 3 – $W^c=50\%$; 4 – $W^c=10\%$

Однако по мере увеличения количества адсорбированной влаги теплопроводность начи-

нает расти, так как через водную пленку, образующую «мосты», теплота распространяется непрерывным потоком от частицы к частице материала. Наряду с этим была установлена зависимость теплофизических характеристик ферментированного пшеничного сырья от температуры.

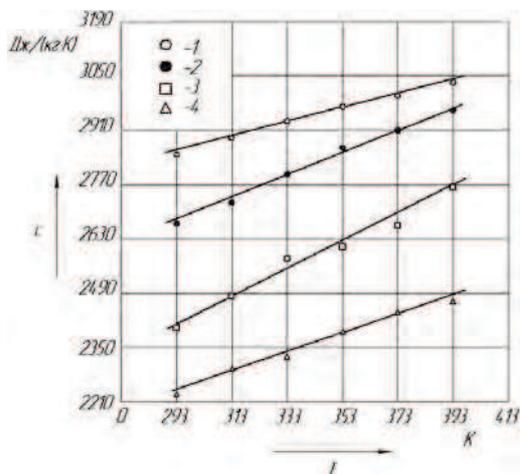


Рисунок 6. Зависимость коэффициента удельной теплоемкости c , Дж/(кг·К), от влагосодержания при: 1 – $T=393$ К; 2 – $T=363$ К; 3 – $T=333$ К; 4 – $T=293$ К

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Лыков А.В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. 470 с.
- 2 Волькенштейн В.С. Скоростной метод определения теплофизических характеристик материалов. Л.: Энергия. 1971. 145 с.
- 3 Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М.: Физматгиз, 1962. 452 с.
- 4 Жучков А.В. Математическое моделирование процесса сушки модифицированного корма // Вестник ВГУИТ. 2013. № 2. С. 100 – 105.
- 5 Пат. № 2512908 RU, А 23 К 1/00. Способ производства кормов / Черемушкина И.В., Корнеева О.С., Мартеха А.Н. Воронеж. гос. унив. инж. техн. № 2012147098/13; Заявл. 7.11.2012; Оpubл. 10.04.2014, Бюлл. №10.
- 6 Пат. № 2182297 RU, F26B17/10. Сушилка с активной гидродинамикой и пофракционной обработкой материала / Антипов С.Т., Шахов С.В., Прибытков А.В. и др. Воронеж. техн. акад. № 2000125645/06, Заявл. 11.10.2000; Оpubл. 10.05.2002.
- 7 Пат. № 2206844 RU, F26B17/10. Устройство для сушки комкующихся дисперсных материалов / Кретов И.Т., Шахов С.В., Прибытков А.В. и др. Воронеж. техн. акад. № 2001135699/06, Заявл. 24.12.2001; Оpubл. 20.06.2003.

Полученные теплофизические характеристики ферментированного пшеничного сырья в дальнейшем могут использоваться при разработке математических моделей процесса сушки в различных конструкциях сушильных установок [4, 6, 7].

После статистической обработки экспериментальных данных с учетом значимости коэффициентов получены эмпирические уравнения регрессии, адекватно описывающие теплофизические характеристики ферментированного пшеничного сырья при влажности W^c от 0 до 150 % и температуре продукта T от 293 до 393 К:

$$\alpha = (0,385 + 4,874W^c + 0,0352T - 0,7644W^{c2} + 0,00624W^cT) \cdot 10^{-8}, \quad (1)$$

$$\lambda = 0,0963 + 0,13875 W^c - 0,0457 W^c + 0,000342 W^c T, \quad (2)$$

$$c = 1,956 + 0,5694 W^c - 0,0762 W^{c2} + 0,000007T^2 \quad (3)$$

REFERENCES

- 1 Lykov A.V. Teoriia sushki [Theory of drying]. Moscow, Energiia, 1968. 470 p. (In Russ.).
- 2 Vol'kenshtein V.S. Skorostnoi metod opredeleniia teplofizicheskikh kharakteristik materialov [Speed method for determination of thermal properties of materials]. Leningrad, Energiia, 1971. 145 p. (In Russ.).
- 3 Chudnovskii A.F. Teplofizicheskie kharakteristiki dispersnykh materialov [Thermophysical properties of dispersed materials]. Moscow, Fizmatgiz, 1962. 452 p. (In Russ.).
- 4 Zhuchkov A.V., Pribytkov A.V., Chermushkina I.V., Martekha A.N. Mathematical modeling of the drying process of the modified feed. *Vestnik VGUIT*. [Bulletin of VSUET], 2013, no. 2, pp. 100-105. (In Russ.).
- 5 Chermushkina I.V., Korneeva O.S., Martekha A.N. Sposob proizvodstva kormov [Method feed production]. Patent RF, no 2512908, 2014. (In Russ.).
- 6 Antipov S.T., Shakhov S.V., Pribytkov A.V. Sushilka s aktivnoi gidrodynamicoi i pofraktsionnoi obrabotkoi materiala [Dryer with active hydrodynamics and fractional processing material]. Patent RF, no 2182297, 2002. (In Russ.).
- 7 Kretov I.T., Shakhov S.V., Pribytkov A.V. Ustroistvo dlia sushki komkuiushchikhsia dispersnykh materialov [Drying device lumps dispersed materials]. Patent RF, no 2206844, 2003. (In Russ.).