

УДК 663.48

Свідерська О.І., аспірантка (НУХТ, Київ)

Яровий В.Л., канд. техн. наук, доц. (НУХТ, Київ)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИВНОЇ ДРОБИНИ

*За результатами аналізу експериментальних даних запропоновані залежності ефективних теплофізичних характеристик пивної дробини від температури.*

**Постановка проблеми і її зв'язок з найважливішими науковими та практичними завданнями.** Для технологічних і конструкторських розрахунків процесу сушіння й зберігання харчових продуктів необхідні знання їх фізичних і теплофізичних властивостей. При дослідженні теплофізичних характеристик (далі ТФХ) необхідно враховувати будову матеріалу, молекулярні й хімічні взаємодії вологи з матеріалом і характер її переміщення в матеріалі при тепловому обробленні.

Попередні дослідження пивної дробини як об'єкта сушіння є недостатніми. Визначено її хімічний склад, фізичні властивості, залежність коефіцієнтів перенесення вологи всередині матеріалу від його вологості [1, 2, 3]. Дані щодо зміни ефективних ТФХ від температури й вологості відсутні. Порівнювати ці властивості пивної дробини з такими добре вивченими матеріалами як ячмінь, солод не доцільно, зважаючи на змінення хімічного й структурного складу, що обумовлене технологічною обробкою, яку проходять ці матеріали – затиранням. Метою цієї технологічної операції є екстрагування розчинних речовин солоду та несолоджених матеріалів і переведення під дією ферментів нерозчинних речовин у розчинні. Воно полягає в змішуванні зернопродуктів з водою й подальшим нагріванням і витриманням отриманої суміші відповідно до заданого температурного режиму (в діапазоні температур 45...78 °С).

**Метою даної статті** є визначення залежності коефіцієнтів теплопровідності, об'ємної теплоємності й коефіцієнта температуропроводності пивної дробини від температури. При їх визначенні інтенсивність процесів має бути такого ж порядку, що й у виробничих умовах, і потрібні саме ефективні значення ТФХ. Таким вимогам задовольняє метод комплексного теплотричного визначення теплофізичних характеристик вологих продуктів [5].

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Визначення основних ТФХ лабільних продуктів базується на розв'язанні диференціального рівняння теплопровідності для температури  $t$  та щільності теплового потоку  $q$  на поверхнях плоского зразка в умовах регулярного режиму другого роду. Для вологих пористих матеріалів, до яких відноситься пивна дробина, теплота може переноситись теплопровідністю, а також внаслідок масоперенесення (по А.В. Ликову):

$$q = -\lambda \operatorname{grad} t + \sum j_k \cdot h_k, \quad (1)$$

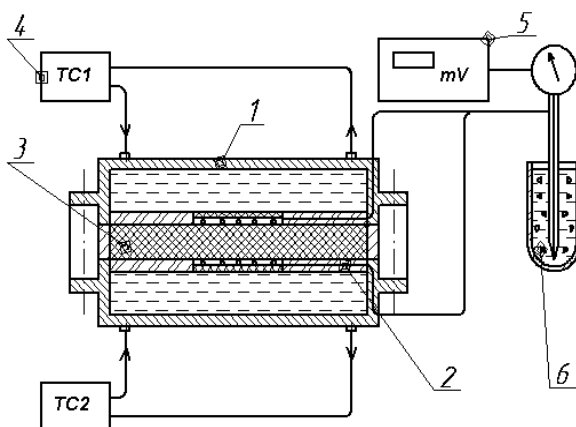
де  $j_k$  – густина потоку маси,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;  $h_k$  – ентальпія води чи пари,  $\text{Дж}/\text{кг}$ .

В процесі дослідження зразок об'єкту розміщували тонким плоским шаром, при цьому його приймали як необмежену пластину і розглядали одномірну просторову задачу, що описується диференційним рівнянням.

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\tilde{n}_p} \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad (2)$$

де  $\tilde{n}_p$  – ізобарна теплосмність,  $\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$ ;  $\tau$  – час, с.

Схема дослідної установки зображено на рисунку 1.



1 – теплообмінна камера; 2 – вимірювальні платівки; 3 – зразок;  
4 – ультратермостати; 5 – потенціометр; 6 – посудина Дюара.

**Рисунок 1 - Схема лабораторної установки для комплексного визначення ТФХ**

Для вимірювання значень теплових потоків і температур у контакт із обома поверхнями зразка 3 приводять вимірювальні платівки 2, у центральні частини яких вмонтовані тепломіри і термомпари. Опори захисного прошарку й частково самого тепломіра складають так званий баластний опір  $R_b$ , який враховується при обчисленні величини теплопровідності зразка (рівняння (3), (4)). Це ж стосується і величини  $P_b$ , пропорційній баластній теплоємності. Розрахункові рівняння для значень теплопровідності й теплоємності мають вигляд:

$$\lambda = h \left( \frac{2(t_1 - t_2)}{q_1 - q_2} - R_a \right)^{-1} \quad (3); \quad \tilde{n}_p = h^{-1} \left( \frac{q_1 - q_2}{u} - P_a \right) \quad (4)$$

Де:  $h$  – товщина зразка, м;  $(t_1 - t_2)$  – різниця температур на поверхнях зразка, К;  $(q_1 - q_2)$  – різниця теплових потоків, Вт/м<sup>2</sup>;  $u$  – швидкість зміни температури, К/с.

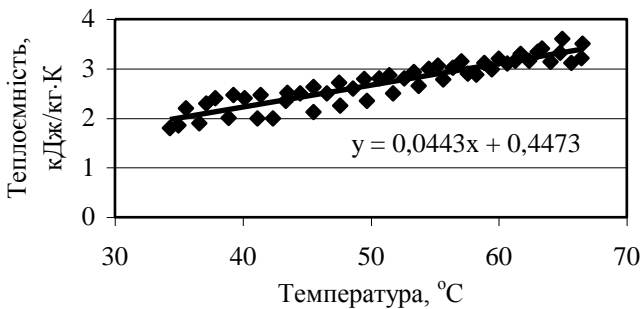
Досліди проводились на сухій пивній дробині ЗАТ "Пивзавод на Подолі", з наступними характеристиками: насипна вага 280...310 кг/м<sup>3</sup>; вологість біля 9 % (мас.); середньозважений розмір часточок дробини –  $(2,21 \pm 0,022)$  мм з коефіцієнтом нерівномірності 0,16. Значення ТФХ сирової пивної дробини наближуються до характеристик води, що пов'язано з її високою вологістю (76...80 % (мас.)). Межі зміни температури від 30 до 70 °С обумовлені термолабільністю матеріалу, через наявність в складі білків.

Як видно з рисунку 2, а, при підвищенні температури теплоємність дробини зростає за лінійним законом, рівняння апроксимуючої функції наведено на графіку, де  $y$  – теплоємність,  $x$  – температура зразка. Тобто, питома теплоємність пивної дробини вологістю 9 % (мас.) в інтервалі температур 30...70 °С дорівнює:

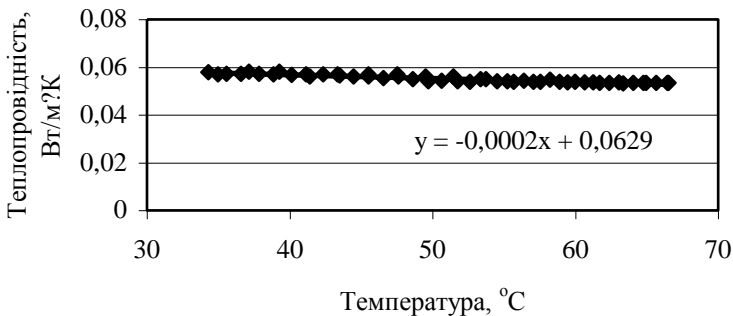
$$\tilde{n} = 821,93 + 41,02t \quad (5)$$

Залежність коефіцієнта теплопровідності (рисунок 2, б) від температури має лінійний характер, що не суперечить літературним даним по органічним й неорганічним зернистим матеріалам [6]. Його зниження впродовж дослідів пояснюється перерозподілом вологи всередині зразка, тобто на початку дослідів теплота переноситься не тільки за рахунок теплопровідності, а і за рахунок масоперенесення. Те саме відноситься і до коефіцієнта температуропровідності, який впродовж дослідів знизився на 30 %. Емпіричні формули для розрахунку коефіцієнтів теплопровідності й температуропровідності пивної дробини з вологістю 9 % (мас.) в діапазоні температур 30...70 °С мають вигляд:

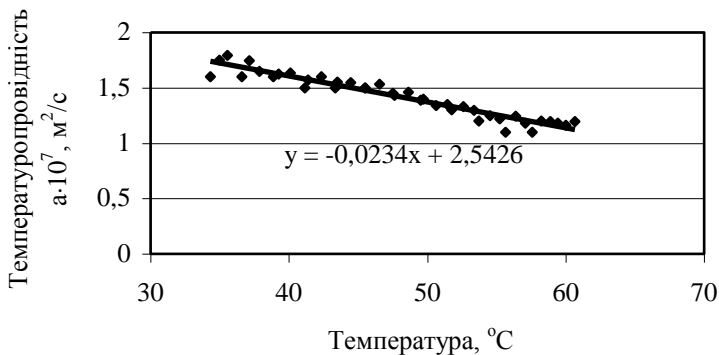
$$\lambda = 0,0629 - 0,0002 \cdot t, \quad (6) \quad \dot{\lambda} = 2,543 - 0,0234 \cdot t \quad (7)$$



**а**



**б**



**в**

**Рисунок 2 - Графіки залежності теплоємності (а) та коефіцієнтів теплопровідності (б) й температуропровідності (в) пивної дробини вологістю 9 % (мас.) від температури.**

Розбіжність між величинами розрахованими за формулами (5), (6), (7) і величинами, що отримані експериментальним шляхом не перевищувала  $\pm 6,9\%$ , та  $\pm 12,7\%$ .

**Висновки.** На підставі проведених дослідів знайдено залежність теплоємності та коефіцієнтів теплопровідності й температуропровідності для дробини пивної з вологістю 9 % (мас.) від температури в діапазоні 30...70 °С. Отримані залежності показують, що за своїми ТФХ пивна дробина споріднена з сипкими матеріалами рослинного походження, що пройшли гідротермічну обробку як, наприклад, крупи [2].

Отримані значення і залежності ТФХ пивної дробини можуть бути використані на практиці при розрахунках теплообміну в процесі сушіння пивної дробини.

**Перспективами подальших досліджень у даному напрямі є** визначення оптимальних параметрів процесу сушіння пивної дробини зі збереженням її харчової цінності.

#### Список літератури

1. Вторичные материальные ресурсы пищевой промышленности. Справочник. – М.: Экономика, 1984. – 563с.
2. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. Справочник. – М.: Пищ. пром., 1980. – 289с.
3. Домарецький В.А. Технологія солоду та пива. – К.: Урожай, 1999. – 542с.
4. Кретов И.Т. Определение коэффициентов переноса влаги в пивной дробине// Пищ. технология. – 1962. - № 2. – с. 139- 143.
5. Федоров В.Г. Основы тепломассометрии. – К.: Вища шк., 1987. – 184с.
6. Чудновський А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. – М.: Физматгиз, 1962. – 455 с.