

УДК 664.834.2

# ВНУТРІШНІ ЧИННИКИ ПРОЦЕСУ ГІДРОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ КРУП З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИНЦИПІВ ЗТП-СУШІННЯ

**М.І. Погожих**

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри\*

E-mail: drpogozhikh@mail.ru

**А.О. Пак**

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: pak\_andr@mail.ru

**Т.В. Міщенко**

Асистент\*

E-mail: Mishenko2707@ukr.net

**М.В. Жеребкін**

Пошукувач

\*Кафедра енергетики та фізики

Харківський державний університет харчування та торгівлі

вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна

Контактний тел. (057) 349-45-86

E-mail: Zherebkin.maxim@gmail.com

*Досліджено внутрішні чинники процесу гідротермічної обробки круп з використанням принципів ЗТП-сушіння: вид сировини, тривалість замочування та проварювання сировини, температура проварювання*

*Ключові слова: сушіння змішаним теплопідводом, функціональна ємність, проварювання*

*Исследованы внутренние факторы процесса гидротермической обработки круп с использованием принципов ЗТП-сушки: вид сырья, продолжительность замачивания и варки, температура варки*

*Ключевые слова: сушка смешанным теплоподводом, функциональная емкость, варка*

*The intrinsic factors (primary commodities, duration of steep and cooking, temperature of cooking) of hydrothermal processing of grain with application of principles of mixed heat transfer drying were researched*

*Key words: heat mixed transfer drying, functional capacity, cooking*

## Постановка проблеми у загальному вигляді

В Харківському державному університеті харчування та торгівлі розроблено спосіб гідротермічної обробки круп з використанням принципів сушіння змішаним теплопідводом (ЗТП-сушіння), де кінцевою продукцією є швидковідновлювані каші [1].

Для отримання швидковідновлюваних каш розробленим способом використовуються особливості ЗТП-сушіння, а саме, можливість «запуску» або «зупинки» даного процесу за виконання або невиконання необхідних умов для зневоднення вологої сировини в спеціальному масообмінному модулі \_ функціональній ємності (ФЄ).

Спосіб гідротермічної обробки полягає у наступному. Вологу сировину протягують через ФЄ, виконану із паронепроникного матеріалу, з визначеною швидкістю. У першій частині ФЄ, в якій відсутні масообмінні зазори, проводиться проварювання крупи до готовності, в другій (з масообмінними зазорами) – сушіння. Оскільки друга частина функціональної ємності виконана таким чином, що площа масообмінних зазорів принаймні на порядок менша, ніж площа теплообмінних поверхонь, то зневоднення сировини проводиться згідно умов для ЗТП-сушіння [2].

Як показали дослідження, виконані авторами [2, 3], ЗТП-сушіння є складним технологічним і фізичним процесом. «Запуск» ЗТП-сушіння можливий за виконання визначених необхідних умов, а керувати характером процесу зневоднення можливо умовно виділеними зовнішніми та внутрішніми чинниками ЗТП-сушіння. Причому варіюванням зовнішніми та внутрішніми чинниками можна або трансформувати ЗТП-сушіння в конвективне, або зупинити процес сушіння та проварити сировину.

## Мета та завдання статті

Метою роботи є дослідження внутрішніх чинників процесу гідротермічної обробки круп з використанням принципів ЗТП-сушіння, до яких віднесено вид сировини, тривалість замочування та проварювання сировини, температура проварювання.

## Виклад основного матеріалу дослідження

Сировина під час гідротермічної обробки з використанням принципів ЗТП-сушіння знаходиться всередині ФЄ, виконаної із паронепро-

никого матеріалу з високою теплопровідністю. Основними вимогами до сировини під час її обробки є те, що вона не повинна змінювати свій об'єм більше ніж на 5...7 % та величина частинок сировини не повинна бути менша за ширину масообмінного зазору (1-2 мм).

Сировиною, яку використовували в роботі для виробництва швидковідновлюваних каш, були крупы із суцільного ядра: гречана, пшоняна, ячмінна та пшенична. Оскільки обрана сировина має велику кількість сухих речовин (понад 90%), то зміни об'єму під час гідротермічної обробки з використанням принципів ЗТП-сушіння не спостерігалось. Величина частинок сировини була більша за 1 мм. Таким чином, обрана сировина відповідає всім вимогам, що висуваються до сировини для реалізації ЗТП-процесу.

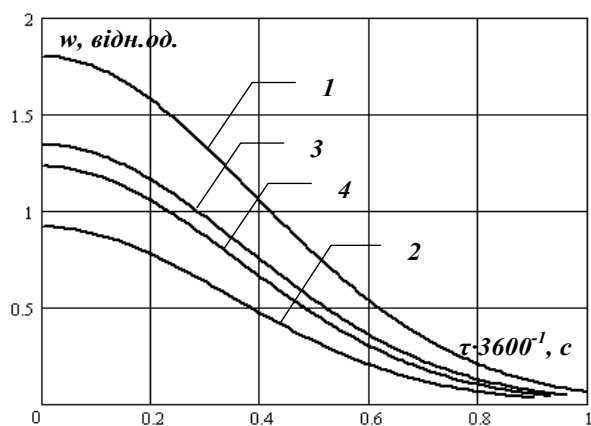


Рис. 1. Кінетика сушіння крупы із суцільного ядра: 1 – гречана; 2 – пшоняна; 3 – ячмінна; 4 – пшенична

На рис.1 наведено кінетику сушіння обраної сировини. Сировина перед сушінням витримувалась у воді протягом трьох годин та проварювалась до готовності. Кінетика сушіння визначалась шляхом періодичного зважування ФЄ з сировиною під час зневоднення. Особливість даного результату – кінетики мають практично однакову тривалість (відрізняються не більше ніж на 10%), але різний початковий вологовміст.

Попередніми дослідженнями ЗТП-сушіння [2, 3] встановлено, що характер процесу зневоднення визначається у більшому ступені не видом сировини, а її тепло- та масообмінними характеристиками. Оскільки досліджувана сировина, як раніше було відмічено, має велику кількість сухих речовин, тепломасообмінні характеристики яких близькі за значеннями, то процес зневоднення даних видів сировини триває практично однаковий час.

Для виявлення причин того, чому сировина має різну здатність поглинати або віддавати вологу були проведені дослідження розподілу пор сировини за радіусами.

Визначення диференціальної функції розподілу пор за радіусами проводилось за ізотермами сорбції досліджуваної сировини наступним чином. Тензометричним методом отримувались ізотерми сорбції для круп із суцільного ядра: гречаної, пшоняної, ячмінної та пшеничної. Зразки поміщались в екскатори з визначеною концентрацією сірчаної кислоти та витримувались в них до досягнення постійної маси за

постійної температури (20...23°C). Ізотерми сорбції досліджуваних зразків наведено на рис.2.

Апроксимація експериментальних даних проводилась функцією [4] виду:

$$\phi = \frac{w^{A_3}}{A_1 + A_2 w^{A_3}}, \quad (1)$$

де  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  – апроксимаційні коефіцієнти;  $w$  – вологовміст.

Використання даної апроксимаційної функції дає можливість отримувати таку важливу структурно-фізичну характеристику як диференціальна функція розподілу пор за радіусами  $f_n(R^*)$ .

Диференціальна функція розподілу пор за радіусами визначається наступним чином:

$$f_n(R^*) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_R R^*} \exp\left(-\frac{(\ln(R^*) - m_R)^2}{2\sigma_R^2}\right), \quad (3)$$

де  $m_R$  та  $\sigma_R$  – параметри логарифмічно нормального розподілу;  $R^*$  – безрозмірний радіус пори  $R^* = (R - d_0)/d_0$ ;  $R$  – радіус пори, м;  $d_0 = 0,3 \cdot 10^{-9}$  м –

радіус молекули води.

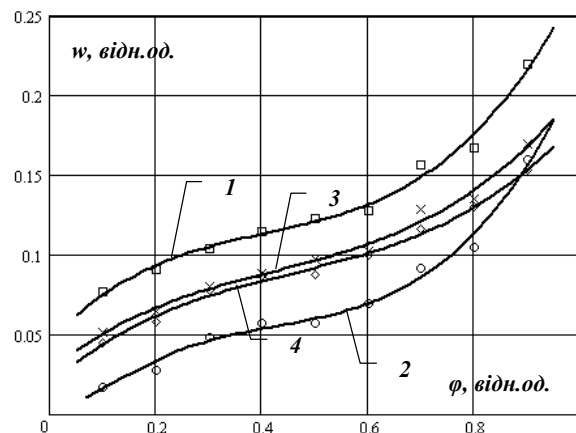


Рис. 2 – Ізотерми сорбції крупы із суцільного ядра: 1 – гречана; 2 – пшоняна; 3 – ячмінна; 4 – пшенична

Параметри логарифмічно нормального розподілу розраховуються [4] за формулами:

$$m_R = \left(\frac{A_2}{0,433}\right)^{1,247}, \quad (4)$$

$$\sigma_R = -\frac{\ln(6,12A_1)}{0,625} \left(\frac{A_3 - 0,957}{0,223}\right)^{-0,6}. \quad (5)$$

Функції розподілу пор за радіусами для гречаної, пшоняної, ячмінної та пшеничної круп, розраховані за ізотермами сорбції даної сировини з використанням формул (1)-(5), представлені на рис.3.

За визначеним аналітичним видом функцій розподілу пор за радіусами були визначені середній:

$$\bar{R} = d_0 \left[ 1 + \exp(m_R + \sigma_R^2 / 2) \right] \quad (6)$$

та найбільш ймовірний радіус пор (центр розподілу)

$$R_m = d_0 \left[ 1 + \exp(m_R - \sigma_R^2) \right] \quad (7)$$

Середній та найбільш ймовірний радіус пор розраховані за формулами (6) та (7) наведені в табл.1.

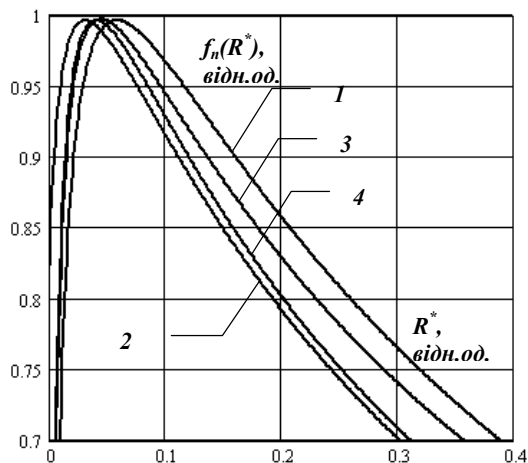


Рис.3 – Функції розподілу пор за радіусами для круп із суцільного зерна: 1 – гречана; 2 – пшона; 3 – ячмінна; 4 – пшенична

Таблиця 1

Середній та найбільш ймовірний радіус пор

Зразок круп:	$\bar{R} \cdot 10^{-8}$ , м ( $\delta=10\%$ )	$R_m \cdot 10^{-10}$ , м ( $\delta=10\%$ )
гречана	12,0	3,2
пшона	3,1	3,1
ячмінна	8,4	3,1
пшенична	7,7	3,1

Отримані функції розподілу мають схожий характер та близькі положення максимумів відносно осі, на якій відкладено безрозмірний радіус пор, що підтверджують і найбільш ймовірні радіуси наведені в таблиці: розкид їх значень знаходиться в межах похибки. Щодо ширини лінії, то найбільша ширина у функції розподілу пор за радіусами для гречаної круп, а найменша – для пшона. Внаслідок цього найбільший середній радіус у гречаної круп, а найменший – у пшона.

Чим більший середній радіус пор має матеріал, тим більше води він може поглинути відразу після занурення в змочуючу рідину. Визначені значення середніх радіусів пор пояснюють характер поведінки ізотерм сорбції, представлених на рис.1, – ізотерма сорбції для гречаної круп, яка має найбільший середній радіус ( $12,0 \cdot 10^{-8}$  м), знаходиться вище за інші зразки, а ізотерма для пшона – найнижча, оскільки для даного зразка середній радіус найменший ( $3,1 \cdot 10^{-8}$  м). Наслідком та-

кого перерозподілу є різний початковий вологовміст на графіку вологовмісту з часом в процесі сушіння (Рис.1).

Таким чином, досліджувані види сировини мають різні функції розподілу пор за радіусами і, як наслідок, по-різному та в різній кількості поглинають вологу, але оскільки тепломасообмінні характеристики досліджуваних зразків близькі за значеннями, то характер процесу ЗТП-сушіння не залежить від того яка саме сировина обрана.

Гідротермічну обробку сировини за розробленим способом можна розділити на два етапи: проварювання всередині ФЄ за відсутності масообмінних зазорів на її поверхні та зневоднення всередині ФЄ з масообмінними зазорами за принципами ЗТП-сушіння.

Під попередньою підготовкою сировини до проварювання мається на увазі замочування. Замочування сировини проводили у воді з температурою  $20...23^\circ\text{C}$  до досягнення нею постійної маси.

З метою визначення раціональної тривалості замочування була отримана кінетика набухання на пристрої Догадкіна за стандартною методикою.

На рис.4 наведено кінетику набухання круп із суцільного ядра: гречаної, пшона, ячмінної, пшеничної. Кінетика набухання представляє собою зміну вологовмісту сировини ( $w$ ), яка замочується у воді, від тривалості замочування ( $\tau$ ).

Із наведених залежностей видно, що основна частина процесу набухання всіх досліджуваних зразків проходить у перші 40 хв. Досягнення кінцевого вологовмісту також для всіх зразків практично одночасне, при цьому криві виходять на горизонтальну ділянку паралельну осі, на якій відкладено тривалість замочування. При подальшому замочуванні сировини збільшення вологовмісту не відбувається. Тривалість процесу замочування, за якої досягається зразками кінцевий вологовміст, вважається раціональною тривалістю замочування. Вона дорівнює для всіх зразків 120 хв.

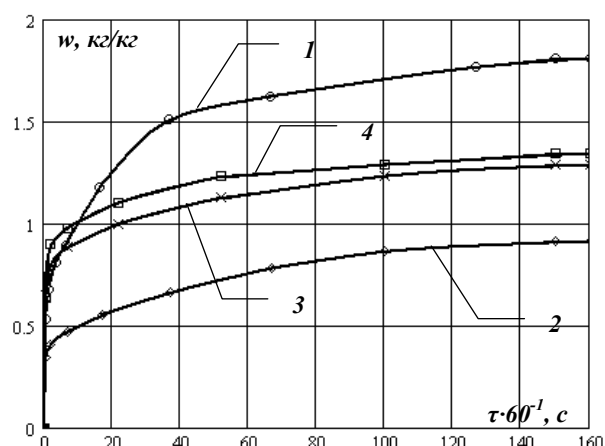


Рис.4 – Кінетика набухання круп із суцільного зерна: 1 – гречана; 2 – пшона; 3 – ячмінна; 4 – пшенична

Необхідно відмітити, що кінцевий вологовміст для досліджуваних зразків різний: для гречаної круп він дорівнює 1,81 кг/кг; для пшона – 0,92 кг/кг; для ячмінної – 1,29 кг/кг; для пшеничної – 1,34 кг/кг.

Різний кінцевий вологовміст, як було відмічено вище, є наслідком різної пористості досліджуваних зразків.

Під попередньою підготовкою сировини до сушіння розуміється тривалість проварювання.

Сировина для проварювання завантажується у ФЄ без масообмінних зазорів, виконану із паронепроникного матеріалу. Середовищем, яке оточує частинки сировини у ФЄ під час проварювання є повітря. Ззовні ФЄ омивається сушильним агентом з відповідною температурою. Сировина крізь стінки ФЄ, які мають високу теплопровідність, прогривається до температури сушильного агента і проварюється, якщо температура сушильного агента не менша за визначену величину. Температура, менше якої проварювання не можливе, – 80°C, оскільки температура клейстеризації крохмалю 60...80, а коагуляції білків 70...75°C [5].

Оскільки середовищем, яке оточує сировину, є повітря, то вологою для її проварювання є лише та, яку сировина поглинула під час замочування. Ця кількість є достатньою для проварювання, але важливо, щоб дана кількість не зменшувалась. Одним із чинників, через який кількість води може зменшуватись, є температура сушильного агента. За збільшення температури відносно певного значення відбувається інтенсивне пароутворення і, як наслідок, викид води у виді пари крізь завантажувальний бункер. В результаті цього, кількості води, що залишилась у сировині, буде не достатньо для її проварювання. Такою температурою є температура 100°C.

Таким чином, для того щоб сировина проварилась, при цьому води, поглинутої під час замочування, було достатньо, а крохмаль, який утримується в сировині, клейстеризувався, температура сушильного агента, який омиває ФЄ та передає крупі теплоту для проварювання, повинна бути обрана із діапазону від 80 до 100°C.

Рациональна тривалість проварювання визначалась шляхом періодичної органолептичної оцінки досліджуваної сировини під час даного процесу у ФЄ без масообмінних зазорів за температури сушильного агента 90 та 100°C. В табл.2. наведено тривалості проварювання за даних температур круп із суцільного ядра: гречаної, пшоняної, ячмінної, пшеничної.

Таблиця 2

Тривалість проварювання круп із суцільного ядра

Зразок крупи:	Тривалість проварювання, хв. ( $\delta=10\%$ )	
	90°C	100°C
гречана	50	45
пшоняна	45	40
ячмінна	60	55
пшенична	65	60

З отриманих результатів витікає, що тривалість проварювання досліджуваних круп не перевищує 65 хв. за температури сушильного агента 90°C та 60

хв. за температури 100°C. Необхідно відзначити, що дана операція триває майже у два рази довше, ніж обробка гострою парою за традиційною технологією, але кількості теплоти на даний процес витрачається менше, оскільки основні її витрати відбуваються лише на стадії підігрівання до температури проварювання (80...100°C), а після цього температура лише підтримується на визначеному значенні. Під час же обробки гострою парою енергія на підігрів води до температури 130...150°C витрачається впродовж всього процесу гідротермічної обробки.

Таким чином, оскільки в даній роботі зроблено спробу розробити універсальну установку для гідротермічної обробки круп із суцільного ядра різних видів, то рациональною тривалістю проварювання слід вважати 65 хв. за температури обробки 90°C та 60 хв. за температури 100°C.

## Висновки

Таким чином, відзначено, що крупі із суцільного ядра, а саме: гречана, пшоняна, ячмінна та пшенична, відповідають всім вимогам, що висуваються до сировини для реалізації ЗТП-процесу. Дослідженнями кінетики сушіння цих круп встановлено, що процес зневоднення даних видів сировини триває практично однаковий час.

За ізотермами сорбції знайдено диференціальні функції розподілу пор за радіусами досліджуваних круп із суцільного ядра, за якими визначено середній та найбільш імовірний радіуси пор. Встановлено, що досліджувані види сировини мають різні функції розподілу пор за радіусами і, як наслідок, по різному та в різній кількості поглинають воду, але оскільки тепломасообмінні характеристики досліджуваних зразків близькі за значеннями, то характер процесу ЗТП-сушіння не залежить від того яка саме сировина обрана.

Дослідженнями кінетики набухання круп визначено, що рациональна тривалість замочування, за якої зразками досягається кінцевий вологовміст, дорівнює 120 хв. Встановлено, що для того щоб поглинутої під час замочування води було достатньо для проварювання сировини, а крохмаль, який в ній утримується, клейстеризувався, температура сушильного агента, який омиває ФЄ без масообмінних зазорів, повинна бути обрана із діапазону від 80 до 100°C.

Визначено, рациональну тривалість проварювання шляхом періодичної органолептичної оцінки досліджуваної сировини під час даного процесу: 65 хв. за температури обробки 90°C та 60 хв. за температури 100°C.

Роботу виконано в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи №06-11-13Б «Наукові обґрунтування енергоефективних процесів харчової промисловості».

## Література

1. Установка для гидротермической обработки и сушки крупы [Текст] : пат. №48230 Украина, МПК А 23 L 3/00. / Черевко О.І., Погожих М.І., Цуркан М.М., Жеребкін М.В., Пак А.О.; заявник та патентовласник ХДУХТ. - Оpubл. 10.03.2010 Бюл. №5 - 4 с.

2. Погожих, Н. И. Научные основы теории и техники пищевого сырья в массообменных модулях [Текст] : дис. ... доктора техн. наук / Н. И. Погожих. – Харьков, 2002. – 331 с.
3. Пак, А. О. Розробка процесу сушіння плодово-ягідної сировини змішаним теплопідводом зі штучним пороутворенням [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / А. О. Пак. – Харьков, 2008. – 153 с.
4. Потапов, В.О. Структурно-енергетичний метод аналізу ізотерм сорбції-десорбції харчової сировини [Текст] / В.О.Потапов // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства та торгівлі: Зб. наук. пр. Харків: ХДУХТ, 2005. - Вип.1. - С. 313 - 322.
5. Марх, А. Т. Биохимия пищевых продуктов [Текст] / А. Т. Марх. – М. : Пищевая промышленность, 1973. – 371с.

*Розглянуто методи дисперсійного аналізу, стосовно харчових порошків. Наведено функції розподілу об'єму частинок за розмірами, що дозволяє зробити найбільш об'єктивний аналіз харчових порошків*

*Ключові слова: дисперсійний аналіз, розподіл частинок, харчові порошки*

*Рассмотрены методы дисперсионного анализа, применительно к пищевым порошкам. Приведены функции распределения объема частиц по размерам, что позволяет сделать более объективный анализ пищевых порошков*

*Ключевые слова: дисперсионный анализ, распределение частиц, пищевые порошки*

*The methods dispersion analysis as applied to food powders. Listed distribution function of the volume of the particle size that allows to make more objective analysis of food powders*

*Key words: dispersion analysis, distribution of particles, food powders*

УДК 664-492.2:531.717.1

## ВИКОРИСТАННЯ МІКРОСКОПІЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ЗНАХОДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ОБ'ЄМУ ЧАСТИНОК ХАРЧОВИХ ПОРОШКІВ ЗА РОЗМІРАМИ

Ж.В. Воронцова

Кандидат педагогічних наук, доцент \*

E-mail: zhvorontsova@mail.ru

І. М. Павлюк

Асистент

\*Кафедра енергетики та фізики

Харківський державний університет харчування та торгівлі  
вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051

Контактний тел.: (057) 3494-500

### Постановка проблеми у загальному вигляді

Порошкоподібні матеріали застосовуються в багатьох галузях промисловості. Властивості порошків у значній мірі залежать від дисперсності. Аналіз дисперсного складу є обов'язковим методом контролю у всіх технологічних процесах, пов'язаних з виготовленням і переробкою порошкоподібних матеріалів. Не є винятком і харчова промисловість. У зв'язку із цим стає зрозумілим велике значення аналізу дисперсного складу порошків для науки, техніки й технології.

Найпоширенішими методами експрес-аналізу дисперсного складу порошків є ситовий та мікроскопічний. У результаті ситового аналізу одержують гістограми розподілу маси частинок за розмірами, у результаті мікроскопічного – гістограми розподілу кількості часток за розмірами.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Чимале значення при аналізі дисперсного складу харчових порошків є правильне підготування проби порошків для дослідження. Для цього пробу досліджуваного порошку після ретельного перемішування розміщують у вигляді монослою на предметне скло. Для уникнення агрегування частинок і їхнього злипання допускається легке механічне розтирання. У якості диспергуючої рідини може бути вода або рослинна олія.

Із проби для дослідження готують два препарати й порівнюють їх під мікроскопом. Якщо вони співпадають, тоді вимірювання проводять на одному з них. Вважають, що підготовлені мікроскопічні препарати співпадають, якщо у полі зору, обмеженому полем основного прямокутника або кола, перебуває:

- від 6 до 30 частинок при безпосередньому візуальному спостереженні мікроскопічного зображення;