

УДК 66.045

## СУШІННЯ СОЛОДУ В УМОВАХ ФІЛЬТРАЦІЇ ТЕПЛОНОСІЯ

Тимо І.Я. пошукувач

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

*Подано експериментальні залежності гідродинаміки та кінетики сушіння дисперсного матеріалу (солоду) у щільному шарі і приведено узагальнення дослідних даних.*

*The experimental results of drying of shallow dispersion warmly isolating materials in a dense layer represented.*

**Ключові слова:** солод, сушіння, гідродинаміка, кінетика

Постановка проблеми.

Сушіння солоду є обов'язковою операцією під час його підготовки до наступних операцій у технології пивоваріння. Метою сушіння є приведення зеленого солоду з високим вмістом води в стабільний, придатний для зберігання стан, а також припинення процесів ферментації і вегетації в зерні і утворення ароматичних і фарбувальних речовин, характерних для певного виду солоду при мінімальних витратах і втратах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Сушіння є однією із лімітуючих стадій виробництва солоду. Існує багато конструкцій і методів зневоднення солоду. Широке розповсюдження знаходять вертикальні сушарки значної висоти (3 – 5 м), коли теплоносії рухається знизу вгору протитечію до руху матеріалу. Однак таке зневоднення має ряд недоліків: великі питомі енергозатрати і значна тривалість процесу [5]. Навіть за незначних висот шару 0,3 – 1 м, швидкостях руху спостерігалось явище зволоження і перезволоження верхніх шарів солоду, де вологість є значно вищою, ніж початкова вологість матеріалу. Причиною такого явища є те, що нагріте повітря контактуючи з нижніми вологими шарами солоду швидко насичується і охолоджується.

Переходячи через шари, розміщені вище зони сушіння, температура теплоносія досягає температури точки роси, при якій волога із теплоносія виконденсовується. Вологість матеріалу у цих шарах значно вища, як уже згадувалось за початкову вологість. Таке явище призводить до повторного випаровування не тільки початкової вологи із матеріалу, але і сконденсованої, що і є причиною росту питомих енергозатрат і тривалості зневоднення.

У промисловості сушіння солоду здійснюється для зменшення змісту води від 40 % до 4 – 5 % (світлий солод), для зупинки вегетаційних процесів, зменшення ензимних процесів і утворення смакової, колірної і окислювально-відновної речовини. Зелений солод відрізняється високим вмістом води і не підлягає зберігання. Необхідно зупинити дію ензимів за допомогою відповідної температурної обробки, частково певної групи ензимів, а також зупинити і забезпечити умови для реакції, що призведе до утворення смакових і забарвлюючих речовин. Під час сушіння солоду регулюється співвідношення між температурою і зменшенням змісту води в зерні, завдяки чому забезпечуються оптимальні властивості солоду. Розрізняють три етапи сушіння солоду:

– На першому етапі «зростання» зерна здатні продовжувати рости, вміст води в них вище 20 %, а температура солодосушарки в межах 40 °С.

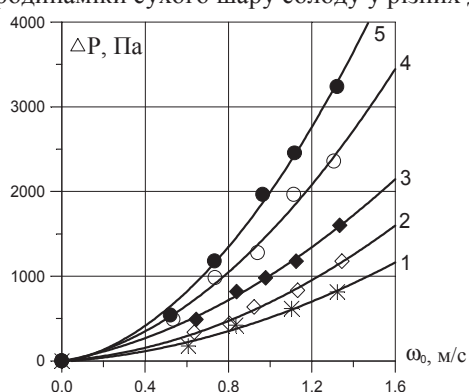
– Наступний етап – «ензимний», під час якого зміст води падає нижче 20 %, температура солодосушарки збільшується до 40 – 60 °С, і зупиняються вегетаційні процеси, але ензимні процеси продовжуються.

– Третій етап – «хімічна реакція» відрізняється низьким вмістом води (менше 10 %), температурою сушіння вище 60 °С, і зупиняються ензимні реакції. Проте продовжують проходити хімічні реакції, що ведуть до утворення фарбувальних і смакових речовин.

Метою нашого дослідження є зміна традиційної технології сушіння солоду на сушіння в умовах фільтрації теплоносія, у випадку коли теплоносії рухається з поверхні шару солоду у напрямку до перфорованої решітки, на якій він розміщений. Висота шару при цьому зменшується, уникається конденсації вологи по висоті шару, а в разі виникнення явища конденсації, сконденсована волога механічно виноситься теплоносієм, що рухається через шар солоду у напрямку до перфорованої решітки.

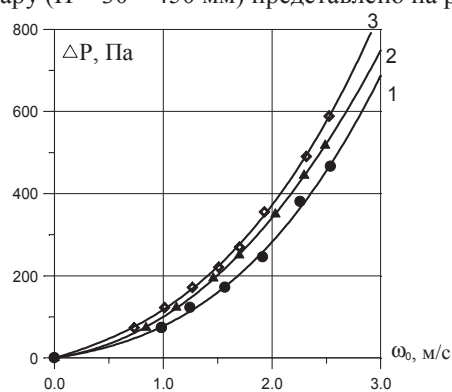
Метою дослідження також є вивчення можливості інтенсифікації процесу сушіння в умовах фільтрації теплоносія. Шар солоду є нерухомими, а рухомою є решітка, на якій він розміщений. Для реалізації поставленої мети нами проведені дослідження гідродинаміки та кінетики сушіння солоду описаним методом.

Вивчення гідродинаміки процесу дозволяє прогнозувати затрати енергії. Результати дослідження гідродинаміки сухого шару солоду у різних діапазонах шару ( $H = 30 - 450$  мм) представлено на рис. 1, 2.



1 –  $H = 100$  мм; 2 –  $H = 200$  мм; 3 –  $H = 250$  мм;  
4 –  $H = 350$  мм; 5 –  $H = 450$  мм

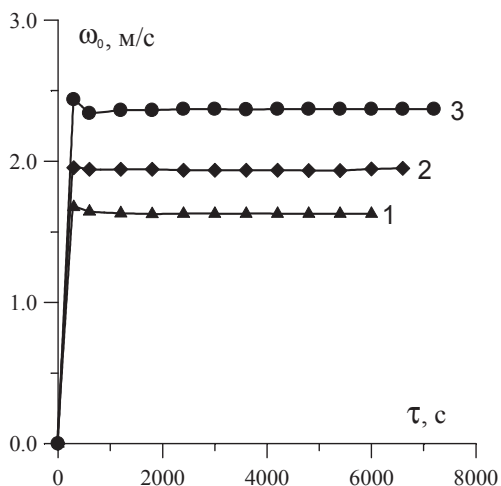
**Рис. 1 – Залежність гідравлічного опору сухого шару солоду від фіктивної швидкості теплоносія за різних висот шару матеріалу**



1 –  $H = 30$  мм; 2 –  $H = 52$  мм; 3 –  $H = 70$  мм

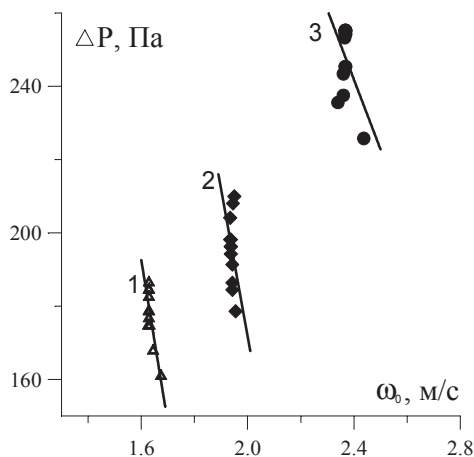
**Рис. 2 – Залежність гідравлічного опору сухого шару солоду від фіктивної швидкості теплоносія за різних висот шару матеріалу**

Результати вивчення гідродинаміки процесу під час сушіння в умовах фільтрації теплоносія (рис. 3, 4) показали, що процес супроводжується не значними перепадами гідравлічного опору та сталим значенням швидкості профільовування теплоносія крізь шар, незважаючи на те, що спостерігалось ущільнення шару солоду за рахунок перепаду тиску.



1 –  $\Delta P = 185$  Па; 2 –  $\Delta P = 200$  Па;  
3 –  $\Delta P = 250$  Па.  
За умов:  $t = 60^\circ\text{C}$ ;  $H = 70$  мм

**Рис. 3 – Залежність фіктивної швидкості теплоносія крізь шар солоду під час сушіння у нерухомому шарі**

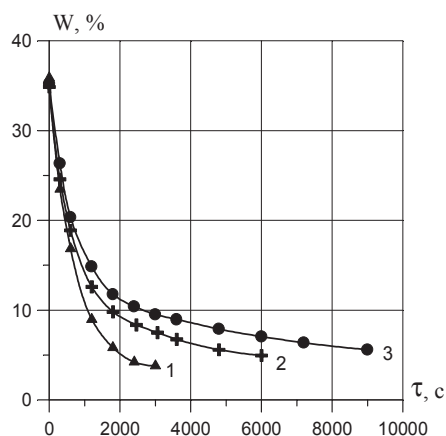


1 –  $\omega_0 = 1,63$  м/с; 2 –  $\omega_0 = 1,94$  м/с;  
3 –  $\omega_0 = 2,34$  м/с.  
За умов:  $t = 60^\circ\text{C}$ ;  $H = 70$  мм

**Рис. 4 – Залежність гідравлічного опору шару солоду від фіктивної швидкості теплоносія крізь шар матеріалу під час сушіння у нерухомому шарі**

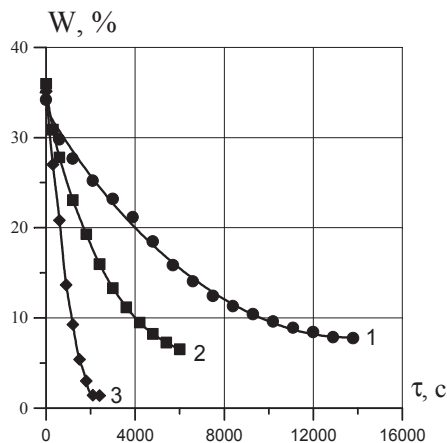
З метою дослідження поведінки кінетичних кривих солоду залежно від температури, була вивчена кінетика процесу сушіння за різних температур теплоносія ( $t = 40 - 85^\circ\text{C}$ ), а також досліджено зміни температур теплоносія над шаром матеріалу та під ним (рис. 8).

Як показали дослідження висота шару матеріалу та температура теплоносія впливають на кінетику процесу (рис. 5, 6), зміна ж швидкості профільовування теплоносія крізь шар – не має помітного впливу на кінетику.



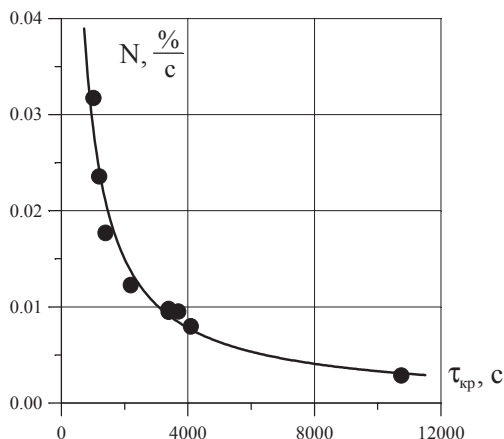
1 —  $H = 30$  мм; 2 —  $H = 52$  мм; 3 —  $H = 70$  мм.  
 За умов: температура теплоносія —  $t = 80^{\circ}\text{C}$ ;  
 швидкість руху теплоносія  
 крізь шар —  $\omega_0 = 2,36$  м/с

**Рис. 5** – Кінетика сушіння солоду у нерухомому шарі за змінних висот шару матеріалу

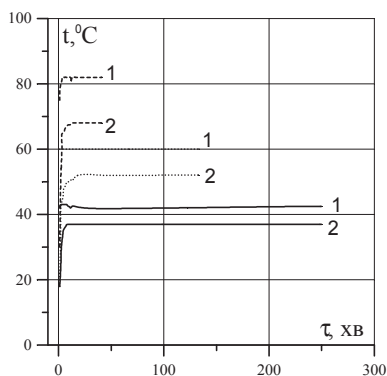


1 —  $t = 40^{\circ}\text{C}$ ; 2 —  $t = 60^{\circ}\text{C}$ ; 3 —  $t = 85^{\circ}\text{C}$ .  
 Висота шару матеріалу  $H = 70$  мм, швидкість  
 руху теплоносія крізь шар —  $\omega_0 = 2,36$  м/с

**Рис. 6** – Кінетика сушіння солоду у нерухомому шарі за змінної температури теплоносія



**Рис. 7** – Залежність критичного часу сушіння від швидкості сушіння  $N$  у першому періоді для зневоднення солоду в умовах фільтрації теплоносія



$$\tau_{кр} = \frac{22,68}{N^{1,06}} \quad (1)$$

$t = 85^{\circ}\text{C}$   
 $t = 60^{\circ}\text{C}$   
 $t = 40^{\circ}\text{C}$

**Рис. 8** – Температури теплоносія над шаром матеріалу (крива 1) та під шаром матеріалу (крива 2) під час сушіння солоду у нерухомому шарі після попереднього заморожування за різних температур теплоносія. Шар матеріалу  $H = 70$  мм, фіктивна швидкість теплоносія крізь шар:  $\omega_0 = 2,37$  м/с

Результати дослідження показують, що процес протікає як у першому, так і другому умовних періодах. За результатами кінетики сушіння побудована залежність швидкості сушіння у першому періоді від тривалості першого періоду (рис. 7) та знайдена відповідна аналітична залежність (1).

Кінетичні залежності показують, що час сушіння запропонованим методом у 1,3 – 2 рази зменшуються порівняно із сушінням, коли теплоносієм рухається в напрямку «перфорована решітка – зовнішня поверхня шару матеріалу».

### Висновок

Експериментально досліджено гідродинаміку та кінетику сушіння, доказано доцільність використання запропонованого методу сушіння солоду, отримані кінетичні коефіцієнти процесу і розрахункові залежності для прогнозування протікання процесу зневоднення солоду.

### Література

1. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 528 с.
2. Аэров М.Э., Годес О.М., Наринский Д.А. Аппараты со стационарным зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы работы. – Л.: Химия, 1979. – 176 с.
3. Ханик Я. М., Станіславчук О. В., Дулеба В. М. Сушіння пастоподібних матеріалів у щільному шарі //Науковий вісник: «Збірник науково-технічних праць». Вип. 13.1 Львів: УДЛТУ, 2003. – С. 147 – 150.
4. Романков П. Г. Рашковская Н. Б. Сушка во взвешенном состоянии. – Л.: Химия, 1968. – 358 с.
5. Ханик Я. М., Станіславчук О. В. Термолабільні матеріали. Кінетика конвективного сушіння. //Науково-виробничий журнал «Хімічна промисловість України» №2 (67), 2005 – С. 36 – 38.
6. Лыков А. В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
7. Тимофеев И.Л. Исследование процесса сушки солода и реконструкция двухъярусной солодосушилки. Автореферат дисс... канд. техн. наук, Киев – 1979, с. 22

УДК 664.661.12.021.3

## ВПЛИВ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОЗЧИНІВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ЕКСТРАГУВАННЯ ОРГАНОПРЕПАРАТІВ

Білонога Ю.Л. д-р техн. наук, професор, Драчук У.Р. асистент  
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій  
імені С.З. Гжицького

*Додавання поверхнево – активних речовин (ПАР) до розчинів екстрагентів при виробництві хонсуриду і гепарину змінюють гідродинамічні умови. Це призводить до мінімізації середньої товщини приповерхневого ламінарного шару і зменшення дифузійного опору, який впливає на інтенсифікацію виходу екстракту в потік екстрагента в системі тверде тіло – рідина. Розраховано числові значення поверхневого критерію і показано його зменшення під впливом ПАР при виробництві органічних препаратів.*

*Addition superficially – active matters (PAIR) to solutions of extractants at the production of honsurid and heparin change hydrodynamic terms. It brings to minimization of middle thickness of superficial layer of laminar diminishing over of diffusive resistance which influences on intensification of output of extract in the stream of extractant in the system a solid is a liquid. The numerical values of superficial criterion are expected and shown his diminishing under act of PAIR at the production of organic preparats.*

**Ключові слова:** хонсурид, гепарин, поверхневий критерій, приповерхневий ламінарний шар, коефіцієнт поверхневого натягу, екстрагент.

Для інтенсифікації процесів екстрагування субстанцій хонсуриду і гепарину в розчині екстрагентів доцільно додавати ПАР [1,2]. Застосування таких речовин у розчинах екстрагентів сприяє зміні гідродинамічних умов.

Додавання ПАР до промислових екстрагентів при виробництві хонсуриду і гепарину суттєво зменшує коефіцієнт поверхневого натягу, коефіцієнт динамічної в'язкості, не суттєво зменшує густину розчинів, а косинус кута змочування дещо збільшує. Зменшення коефіцієнта поверхневого натягу дозволяє зменшувати дифузійний опір [2], що виникає у приповерхневому шарі, а також, як наслідок, середню величину товщини приповерхневого ламінарного шару [1,2]. При цьому зменшується поверхневий критерій, що є відношенням сил поверхневого натягу до сил інерції в приповерхневому ламінарному шарі. Додавання ПАР у промислові розчини екстрагентів послаблює дію приповерхневих сил і зменшує значення поверхневого критерію [3].

Розраховуємо, значення поверхневого критерію та числові значення критеріїв Архімеда, Ейлера і Рейнольдса в приповерхневому Л шарі за екстрагування субстанцій хонсуриду і гепарину. Такі критерії