

2. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сорокова Н.Н. Кинетика и динамика тепломассопереноса при сушке слоя диспергированного коллоидного капиллярно-пористого материала // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса. – 2006. – Вип. 28. – Т.2. – С. 140 – 146.
3. Бурдо О.Г., Мілінчук С.І., Зиков О.В. Нові теплотехнології зерносушіння. // Наук.-вироб. журнал – Випуск 3 – Одеса: Одеська національна академія харчових технологій. – 2006. – С. 16 – 21.
4. Безбах И.В., Бурдо О.Г. Термомеханический агрегат для дисперсных продуктов // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса. – 1999. – Вип. 21. – С. 234 – 237.
5. Воскресенська О.В. “Кінетика процесу сушіння зернових культур в термосифонно – механічному агрегаті”. – Одеса. – Наукові праці ОНАХТ. – вип.36. – том 1. – 2009 р. – 79 – 82 с.
6. Антипов С.Т. Исследование и анализ гигроскопических свойств семян амаранта // С.Т. Антипов, А.В. Журавлев, И.М. Черноусов, Е.С. Буни. – сборник статей «Вопросы современной науки и техники». – университет им. В.И. Вернадского. – Воронеж. – № 4 (14). – 2008. – Том

УДК 66.047

## ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ КРАПЕЛЬ БІЛКОВО-МІНЕРАЛЬНОГО ЕКСТРАКТУ

Шаркова Н.О. пров. наук. співр., к.т.н., Жукотський Е.К. ст. наук. співр., Авдєєва Л.Ю. ст. наук. співр., к.т.н., Турчина Т.Я. к.т.н, Козак М.М. мол. наук. співр., Костянець Л.О. пров. інж., Ткаченко О.В. пров. інж.  
Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, м. Київ

*Досліджено вплив температурних режимів на кінетику та інтенсивність сушіння крапель екстракту.*

*Influence of temperature conditionals on kinetics and intensity drying of the extract droplets were investigated.*

Ключові слова: кінетика сушіння, температура теплоносія, білково-мінеральний екстракт, час сушіння.

Виробництво білково-мінеральних продуктів з природної сировини є актуальним для України у зв'язку з ростом захворювань опорно-рухового апарату. В Інституті технічної теплофізики НАН України розроблено оригінальну технологію отримання природного білково-мінерального концентрату з вторинної сировини птаховиробництва, який містить до 75 % білка та 10 % мінеральних речовин, з яких 50-60 % складає кальцій у цитратній біологічно активній формі [1, 2]. Такі високовологі продукти швидко псуються та втрачають свої первинні якості, а порошкова форма є більш зручнішою для зберігання, транспортування, дозування та швидкого відновлення. Тому доцільно білково-мінеральний продукт отримувати у формі сухого концентрату методом розпилювального сушіння.

*Мета роботи.* Для визначення раціональних параметрів процесу сушіння продукту в умовах розпилювальної сушарки дослідити кінетику сушіння крапель білково-мінерального екстракту з вмістом сухих речовин 10 % у різних температурних режимах.

Дослідження проводились в системі «крапля-парогазове середовище» на експериментальному стенді в потоці теплоносія [3], швидкість якого складала 0,5 м/с, що відповідає середній швидкості двофазного потоку – теплоносія та диспергованого продукту у факелі розпилу в розпилювальних сушарках. Краплі екстракту розміром ~ 1,5 мм висувувались при температурах теплоносія: 140, 160 та 180 °С.

На рис. 1 представлено термограми сушіння крапель білково-мінерального екстракту. Аналіз термограм показує, що підвищення температурних режимів сушіння впливає на характер кінетичних кривих та тривалість окремих їх стадій. Сам процес сушіння складається з періоду постійної швидкості сушіння до відмітки на термограмі кр. 1, при якій відбувається випаровування вологи з вільної поверхні при температурі, близькій до температури «мокрого» термометру (табл. 1), та періоду падаючої швидкості сушіння, який у свою чергу складається з трьох стадій: кіркоутворення – поміж відмітками на термограмі кр. 1 та кр. 2; кипіння – поміж кр. 2 – кр. 3 та заключної стадії досушування – від кр. 3... і до повного висушування.

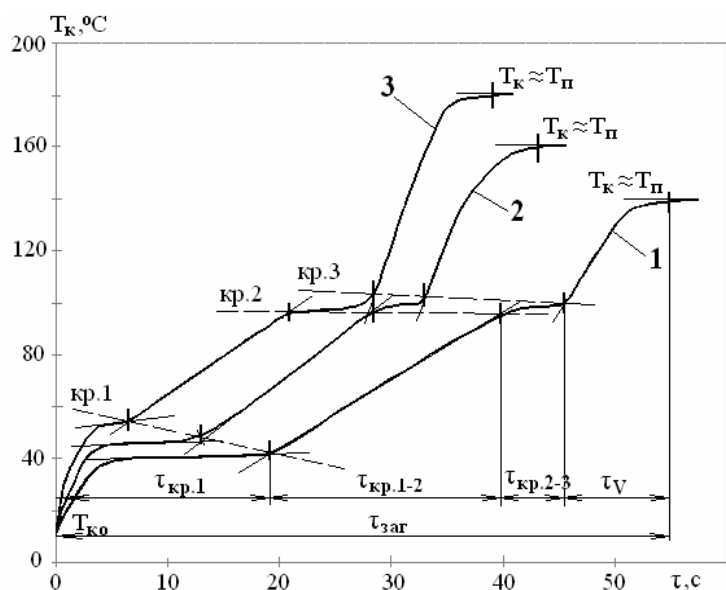


Рис. 1. Термограми сушіння крапель білково-мінерального екстракту при температурі повітря: 1 – 140 °С; 2 – 160 °С; 3 – 180 °С

Таблиця 1 – Експериментальні дані кінетики сушіння крапель білково-мінерального екстракту

Температура, °С				Час сушіння, с					Розмір краплі (частки), мм	
$T_{\text{п}}$	$T_{\text{м.т.}}$	$T_{\text{кр2}}$	$T_{\text{кр3}}$	$\tau_{\text{кр1}}$	$\tau_{\text{кр1-2}}$	$\tau_{\text{кр2-3}}$	$\tau_{\text{V}}$	$\tau_{\text{заг}}$	$\delta_0$	$\delta_{\text{кін}}$
140	40	95	100	18,0	22,0	5,5	10,5	56,0	1,50	0,70
160	44	96		13,5	15,0	4,5	10,5	43,5		0,80
180	46	96		7,5	13,5	6,5	14,5	42,0		0,85

За експериментальними даними (табл. 1), отриманими при обробці термограм (рис. 1), були розраховані залежності тривалості сушіння крапель білково-мінерального екстракту у періоді постійної швидкості сушіння, у стадіях кіркутворення та досушування, а також загального часу сушіння від температури теплоносія, представлені на рис. 2.

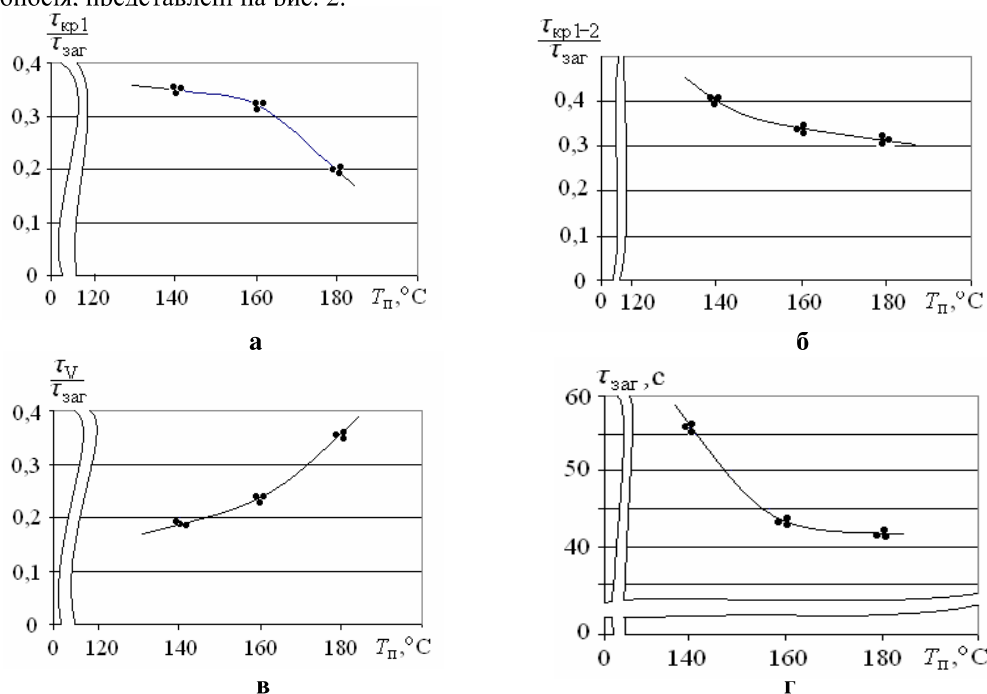


Рис. 2. Вплив температурних режимів на тривалість сушіння крапель білково-мінерального екстракту у різних стадіях процесу: а) у періоді постійної швидкості сушіння – до кр. 1; б) у стадії кіркутворення; в) у стадії досушування; г) на загальний час сушіння.

Аналіз цих залежностей показує, що при збільшенні температури сушіння із 140 до 180 °С час сушіння у періоді постійної швидкості ( $\tau_{кр.1}/\tau_{зар}$ ) скорочується майже у 2 рази (рис. 2, а), у стадії кіркоутворення ( $\tau_{кр.1-2}/\tau_{зар}$ ) – лише на 20-23 % (рис. 2, б), в той час, як стадій кипіння ( $\tau_{кр.2-3}/\tau_{зар}$ ) та досушування ( $\tau_v/\tau_{зар}$ ) збільшується у 1,5-2 рази (рис. 2, в). Загальний час сушіння крапель скорочується лише в 1,3 рази (рис. 2, г), що вказує на складний характер процесів тепловологопереносу за умов підвищеного дифузійного опору процесу вологопереносу утвореної на поверхні краплі кірки з розчинних речовин.

На основі експериментальних даних сушіння крапель білково-мінерального екстракту (рис. 2, г) було визначено формулу розрахунку тривалості їх сушіння в залежності від температури теплоносія:

$$T_{зар} = 0,0138 T^2 - 4,75T + 451,5$$

Значення тривалості сушіння крапель даного продукту, розраховані за отриманою формулою для значень температури теплоносія 140...180 °С, співпадають з експериментальними даними (рис. 2, г) з похибкою до 2 %.

За результатами обробки термограм (рис. 1) отримані залежності швидкості прогрівання крапель екстракту від температури повітря (рис. 3), які показують, що при збільшенні температури повітря із 140 до 180 °С швидкість прогрівання крапель в періоді постійної швидкості випаровування до кр. 1 (крива 1) зростає у 3 рази (з 0,6 до 1,8 °С/с), у стадії кіркоутворення (крива 2) мало змінюється, а у стадії досушування (крива 3) за умов зниження густини парів води над поверхнею краплі швидкість її прогрівання зростає майже на порядок у порівнянні з кривою 1, що вказує на необхідність обов'язкового зниження температури висушуваної частки у цій стадії процесу для уникнення зайвої термічної дії на термолабільні складові продукту.

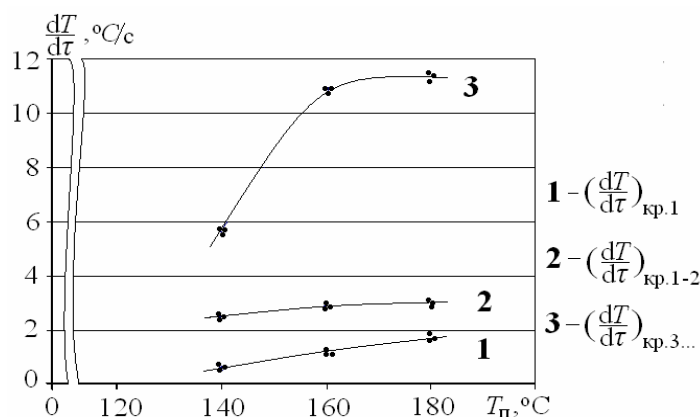


Рис. 3. Графічні залежності швидкості прогрівання крапель білково-мінерального екстракту у різних стадіях процесу зневоднення від температурних режимів

Дослідження кінетики сушіння крапель білково-мінерального екстракту в системі «крапля-парогазове середовище» проводились з застосуванням засобів цифрової фото- і кінозйомки динаміки змінення форми та розміру крапель в процесі їх зневоднення. З наведеної на рис. 4 кінограми для температури 180 °С видно, що в процесі зневоднення крапля поступово зменшується у розмірі до повного висушування, що свідчить про відсутність дифузійного опору процесу вологопереносу з боку утвореної на поверхні краплі кірки.

Дослідження показали, що висушені при температурі 140 та 160 °С частки не проявляли термопластичних та адгезійних властивостей в потоці теплоносія та після їх охолодження до 20 °С. У висушених при 180 °С частках в потоці теплоносія виявився в'язко-пластичний стан та адгезійні властивості. Після охолодження частки ставали міцними і втрачали адгезійні властивості, що необхідно урахувати при розробці принципової схеми установки для розпилювального сушіння даного продукту.

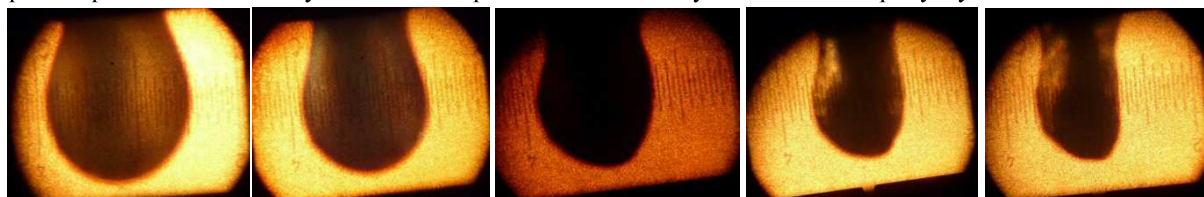


Рис. 4. Кінограма сушіння краплі білково-мінерального екстракту при температурі теплоносія 180 °С

За результатами проведених досліджень встановлено раціональні температурні параметри сушіння білково-мінерального екстракту в розпилювальній сушарці: температура теплоносія на вході в камеру має складати  $\geq 180$  °С, а висушений порошок доцільно перед вивантаженням охолоджувати до температури  $\leq 35-40$  °С, що забезпечить кращу його сипкість, підвищення виходу продукту та кращі умови його зберігання.

#### **Література**

1. Пат. 42407 України. Спосіб отримання білково-мінерального концентрату / Жукотський Є.К., Шаркова Н.О., Терлецька Я.Т., Грищенко Г.В., Козак М.М., Ципріян В.І.; заявник і патентовласник Інститут технічної теплофізики НАН України, заявл. 22.10.2009.
2. ТУ У 15.8-05417118-039:2008. Концентрат сухий харчовий «Білково-мінеральний».
3. Долинский А.А. Кинетика и технология сушки распылением / А.А. Долинский, К.Д.Малецкая, В.В. Шморгун. – К.: Наукова думка. – 1987. – 224 с.