

Висновки. Таким чином, особливості липкості СК правильно описуються теорією, викладеною раніше. Це дає підстави припустити, що теорія може бути застосовна і до інших продуктів подібної структури з великим вмістом вологи. При цьому, варто мати на увазі наближений, феноменологічний характер теорії. За великих відступів від прийнятих допущень щодо структури та експериментальних умов теорія не може застосовуватися.

Результати досліджень підтвердили справедливості використання вищенаведеної теорії до всіх СК і можуть бути використані у разі розрахунку переробного устаткування і виборі конструкційного матеріалу для його виготовлення.

Список літератури

1. Рогов, И. А. Новые физические методы обработки мясопродуктов [Текст] / И. А. Рогов, А. В. Горбатов. – М. : Пищевая промышленность, 1966 – 304 с.
2. Николаев, Б. А. Измерение структурно-механических свойств пищевых продуктов [Текст] / Б. А. Николаев. – М. : Экономика, 1964. – 223 с.
3. Реология пищевых масс [Текст] / К. П. Гуськов [и др.]. – М. : Пищевая промышленность, 1970. – 203 с.

Отримано 01.10.2010. Харків.

© О.І. Черевко, В.І. Маяк, М.М. Смілик, Д.В. Постолюк, А.М. Сардоров, 2010.

УДК 664.523.12

М.П. Головки, д-р. техн. наук, проф.

В.О. Захаренко, д-р. техн. наук, доц.

Л.О. Чуйко, канд. техн. наук, доц.

ВПЛИВ ФІЗИЧНИХ ЧИННИКІВ НА КОЕФІЦІЄНТ ДИФУЗІЇ ВОЛОГИ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ ОВОЧІВ

Розглянуто вплив різних видів сушіння та сорбційного гістерезису на коефіцієнт дифузії моркви під час її обводнення. Для знаходження коефіцієнта дифузії використовували явний вид диференціальної функції розподілу (ДФР) пор за радіусами. Показано, що значення коефіцієнта дифузії води для сушеної рослинної сировини можуть бути розраховані за ДФР пор за радіусами і кривою водопоглинання.

Рассмотрено влияние разных видов сушки и сорбционного гистерезиса на коэффициент диффузии моркови во время ее обводнения. Для нахождения коэффициента диффузии использовали явный вид дифференциальной функции распределения (ДФР) пор за радиусами и кривую водопоглощения.

радиусами. Показано, что значение коэффициента диффузии воды для сушеного растительного сырья могут быть рассчитаны по ДФР пор по радиусам и кривой водопоглощения.

Influence of different types of drying and sorbtsyonnogo hysteresis is considered on the coefficient of diffusion of carrot during its irrigation. For finding koeffytsyenta diffusion used the obvious type of DFR of pores after radiuses. It is shown that znachenye coefficient of diffusion of water for the dried vegetable raw material of maggot' to be expected on DFR of pores on radiuses and curve of vodopogloschenyya.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Як показують дослідження якості сушеної продукції, в результаті процесу сушіння з сировиною відбуваються необоротні процеси, які приводять до його істотних змін – воно набуває нових властивостей. Критерієм цих змін і їх якісними характеристиками є залишковий вологовміст, відновлюваність у разі обводнення, вміст вітаміну С і β-каротину. Рослинна сировина – картопля, буряк, гарбуз, петрушка, кріп, як і всі овочі та фрукти, мають малу пористість у свіжому вигляді, а тому за товарознавчо-технологічними характеристиками їх можна зарахувати до капілярно-пористих тіл (вони практично не набрякають). Під час зберігання такі продукти десорбують вологу, тому що відносна вологість навколишнього середовища завжди нижче від максимального.

Аналіз останніх досліджень і публікацій Нами запропонована оригінальна методика визначення сумарного коефіцієнта дифузії вологи в рослинній сировині [1], яка характеризує швидкість відновлення сушеної продукції. Для розрахунку коефіцієнта дифузії використовують явний вид диференціальної функції розподілу (ДФР) пор за радіусами $f(r)$, яку знаходили сорбційним методом з використанням аналітичного виразу для ізотерм сорбції-десорбції та ДФР пор за радіусами. Використання явного виду ДФР для різних видів сушіння та введення прикордонного радіусу мікрокапілярів (умовний радіус, який вважається заповненим до певного моменту часу) дозволяє визначити середній вологовміст у різні моменти часу, а, отже, і коефіцієнт дифузії вологи у разі відновлення сировини.

Мета та завдання статті. Використовуючи дану методика у роботі проведено зіставлення коефіцієнтів дифузії сировини залежно від виду сушіння (після ЗТП-сушіння і конвективного сушіння), а також у разі різних механізмів втрат вологи: сорбції або десорбції продукту. Таке зіставлення важливе, оскільки окремі продукти (овочі, фрукти) під час зберігання десорбують вологу в навколишнє

середовище, а сушені овочі або фрукти її сорбують. Значення коефіцієнта дифузії тут відіграє першорядну роль.

Виклад основного матеріалу дослідження.

1. Вплив виду сушіння сировини на коефіцієнт дифузії під час обводнення. В табл. 1 наведено експериментальні дані кінетики обводнення (через прикордонний радіус капілярів), коефіцієнта дифузії та значення ДФР після конвективного та ЗТП-сушіння. Порівняння значень вологовмісту U (1/г), наведених в табл. 1, показує,

Таблиця 1 – Визначення коефіцієнта дифузії моркви для різних видів сушіння

Радіуси пор r_m , нм	ЗТП-сушіння (десорбція)				Конвективне сушіння (десорбція)			
	U (1/г)	τ , с	$a_m \cdot 10^6$, m^2/c	ДФР, нм	U (1/г)	τ , с	$a_m \cdot 10^6$, m^2/c	ДФР, нм
8	0,46	7,5	0,055	0,020	0,28	15	0,0116	0,024
7	0,48	12	0,052	0,020	0,36	24	0,0210	0,025
6	0,52	20	0,018	0,030	0,386	36	0,0160	0,035
5	0,57	30	0,030	0,045	0,42	60	0,0120	0,050
4	0,63	45	0,025	0,065	0,46	90	0,0098	0,070
3	0,71	72	0,020	0,100	0,48	138	0,0087	0,102
2	0,80	120	0,017	0,140	0,54	240	0,0073	0,165
1,5	0,89	171	0,017	0,235	0,57	342	0,0069	0,260
1	0,93	270	0,017	0,300	0,59	540	0,0018	0,240
0,50	-	-	-	0,28	-	-	-	0,225
0,25	-	-	-	0,13	-	-	-	0,080

що після конвективного сушіння процес відновлення протікає практично удвічі повільніше і ледве досягає значення 0,6, тоді як для ЗТП-сушіння воно дорівнює 0,93. Що стосується значення коефіцієнта дифузії, то воно, в цілому, зменшується із зростанням вологовмісту. Деякі відхилення від цієї тенденції, що спостерігаються в табл. 1 можна пояснити різним характером ДФР, в залежності від виду сушіння. Характерна відмінність ДФР, в залежності від виду сушіння, полягає в тому, що під час конвективного сушіння ми спостерігаємо дещо більше великих мікрокапілярів ($r = 6...8$ нм) і значно менше капілярів з малими радіусами ($r = 1$ нм) – спочатку заповнюються великі капіляри, а потім малі. При цьому, якщо спочатку для конвективного сушіння значення для коефіцієнта дифузії були менше приблизно в 5 разів, то до кінця обводнення ця відмінність складала вже порядок.

Тут основна відмінність пояснюється пористістю зразків після сушіння. Оскільки після ЗТП-сушіння отримуємо високопористий продукт, то маємо значно більший граничний вологовміст ($U_{\infty}=0,95$) для ЗТП-сушіння в порівнянні з конвективним – $U_{\infty} = 0,60$, тобто в 1,58 рази. Проте, необхідно відзначити, що значний внесок у відмінність коефіцієнтів дифузії вносить розподіл пор у мікропоровій зоні (ДФР), оскільки на початку просочення коефіцієнти дифузії відрізняються в 5 разів, а до кінця просочення – у 10. Як впливає з табл. 1, максимум ДФР для зразка ЗТП-сушіння значно більший, ніж у зразка для конвективного сушіння. Таке різке збільшення дрібних пор призводить до гальмування коефіцієнта дифузії табл.1 можна пояснити різним характером ДФР, в залежності від виду – його значення стабілізується, тоді, як для конвективного сушіння продовжує падати.

Таким чином, значення коефіцієнта дифузії води для сушеної рослинної сировини можуть бути розраховані за диференціальною функцією розподілу пор за радіусами і кривою водопоглинання. Знайдені значення коефіцієнта дифузії можуть бути використані для оцінки якості сушеної продукції, тобто їх товарознавчих характеристик, під час вибору оптимальних режимів, порівняння видів сушіння і енерговитрат.

2. Вплив сорбційного гістерезису на значення ДФР рослинної сировини.

Відомо, що колоїдні та капілярно-пористі тіла при сорбції-десорбції утворюють не співпадаючі між собою криві, за винятком двох крайніх точок за відносної вологості повітря $\varphi = 0$ і при $\varphi = 1$. Це неспівпадання ізотерм сорбції-десорбції має назву сорбційного гістерезису. Тому рівноважний вологовміст, що визначається із ізотерм сорбції, завжди менше, ніж із ізотерм десорбції для однієї і тієї ж відносної вологості повітря. Теорії, що задовільно пояснюють гістерезис сорбції капілярно пористих тіл, до цих пір немає. Існує низка гіпотез, одна з яких полягає в тому, що гігроскопічна рівновага настає поволі, і тому спостережувана рівновага не є істинною [202]. У той же час існують експериментальні дані, які показують, що після сушіння, навіть не дуже жорсткого, ми отримуємо абсолютно інший продукт, який не дозволяє у разі обводнення відновити первинні властивості продукту. У цьому плані показовими є дослідження властивостей речовин, що екстрагуються з продукту до сушіння і після. Речовини, що отримуються таким шляхом, надто відрізняються.

З іншого боку, ДФР в мікропоровій зоні ми визначаємо виходячи з виду ізотерм сорбції-десорбції. При цьому особливо не акцентуємо увагу на тому, що було відправною точкою для отримання ДФР: крива сорбції чи десорбції. Враховуючи той факт, що ДФР

сушеної продукції визначає динаміку її відновлення після сушіння, представляє інтерес порівняти вплив ДФР, отриманих з кривих сорбції-десорбції, на швидкість просочення сушеної продукції у разі її відновлення.

На рисунку представлені криві ДФР моркви, отримані із ізотерм сорбції та десорбції для різних видів сушіння, – ЗТП і конвективного, а в табл. 1 (десорбція) і табл. 2 (сорбція) представлені значення коефіцієнтів дифузії для сушеної продукції у разі її відновлення.

Аналіз кривих, представлених на рисунку показує, що сорбційний гістерезис має істотне значення на ДФР сушеної продукції. Так, при порівнянні ДФР отриманих з кривих десорбції методом ЗТП-сушіння, ми бачимо превалювання пор з радіусами $r = 1$ нм (крива У1). Тоді як для конвективного сушіння відбувається зсув максимуму у бік

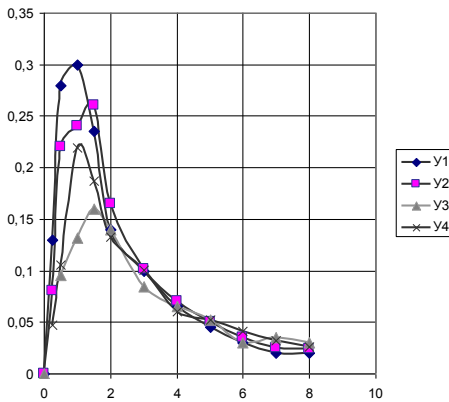


Рисунок – ДФР моркви. Ізотерми десорбції: У1 – ЗТП – сушіння, У2 – конвективне сушіння. Ізотерми сорбції: У3 – ЗТП – сушіння, У4 – конвективне сушіння

крупніших пор, а максимум превалюючих пор має менше значення – $r = 0,75$ нм (крива У2). При розгляді ДФР, отриманих з кривих сорбції, спостерігається зворотна залежність: крива ДФР, отримана із сорбційної ізотерми після ЗТП-сушіння (У3) йде нижче і із зсувом максимуму у бік великих радіусів мікрокапілярів по відношенню до кривої ДФР після конвективного сушіння.

Неоднозначною є поведінка в табл. 1 (десорбція) і табл. 2 (сорбція) значень коефіцієнтів дифузії, залежно від заповнюваних радіусів пор. Порівняння коефіцієнтів дифузії, представлених в табл. 1 і 2, указує на різний характер його залежності від радіусів мікрокапілярів у разі обводнення сушеної продукції. Значення коефіцієнта дифузії, отримане з використанням ізотерми десорбції під час ЗТП-сушіння, зменшується із зменшенням радіусів мікрокапілярів від $r = 8$ нм до $r = 2$ нм, а потім його значення залишається стабільним. Значення коефіцієнта дифузії, отримане з використанням ізотерми сорбції під

час ЗТП-сушіння, поводиться інакше (табл. 2): плавно зменшується до значення радіусу мікрокапілярів $r = 6$ нм, після чого в інтервалі радіусів мікрокапілярів від $r = 6$ нм до $r = 2$ нм залишається стабільним, а потім в інтервалі від $r = 1,5$ нм до $r = 1$ нм приблизно у два рази збільшується.

Під час конвективного сушіння характер поведінки коефіцієнта дифузії, залежно від заповнюваних радіусів мікрокапілярів (табл.2) відбувається практично за однаковим сценарієм для ДФР одержаних із ізотерм десорбції (табл. 1); у всьому діапазоні радіусів пор від 7 нм до 1 нм коефіцієнт дифузії зменшується із зменшенням заповнюваних радіусів мікрокапілярів, але абсолютні значення коефіцієнтів дифузії дещо відрізняються.

Таблиця 2 – Визначення коефіцієнта дифузії для сушеної продукції

Радіуси пор r_m , нм	ЗТП-сушіння (сорбція)				Конвективне сушіння (сорбція)			
	U (1/r)	τ , с	$a_m \cdot 10^6$, m^2/c	ДФР, nm^{-1}	U (1/r)	τ , с	$a_m \cdot 10^6$, m^2/c	ДФР, нм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
8		7,5		0,030	0,280	14		0,0265
7	0,46	12	0,0109	0,035		24	0,0121	0,0324
6	0,48	20		0,030	0,360	36	0,0173	0,0410
5	0,52	30	0,0067	0,052		60		0,0528
4	0,57	45		0,065	0,386	90	0,0138	0,0601
3	0,63	72	0,0048	0,084	0,420	138	0,0103	0,101
2	0,71	120	0,0051	0,140	0,460	240		0,1330
1,5	0,80	171	0,0049	0,124	0,480	342	0,0091	0,1870
1	0,89	270	0,0053	0,132	0,540	540	0,0070	0,2190
0,50	0,93	-	0,0057	0,096	0,570	-	0,0061	0,1060
0,25	-		0,0110		0,590	-	0,0048	0,0470
			0,0136		-		0,0056	
			-		-			

Якщо зіставляти абсолютні значення коефіцієнтів дифузії вологи під час обводнення для різних видів сушіння, то перевагу слід віддати ЗТП-сушінні. Причому, як показує зіставлення коефіцієнтів дифузії в табл. 1 і 2, вирішальне вплив на швидкість відновлення сушеної продукції під час ЗТП-сушінні надає збільшення значень коефіцієнтів дифузії в інтервалі малих радіусів пор: від 1,5 до 1 нм, які відповідають превалюючим радіусам на кривій ДФР.

Висновки. Таким чином, вивчення впливу сорбційного гістерезису на ДФР сушеної продукції показує, що криві ДФР, отримані із ізотерм сорбції-десорбції істотно відрізняються за характером залежності від радіусу мікрокапілярів, що не дозволяє оцінити внесок мікрокапілярів у такий інтегральний показник як коефіцієнт дифузії без точного його розрахунку за запропонованою вище методикою. Як показують проведені дослідження, вплив сорбційного гістерезису на процес відновлення (обводнення) залежить також від способу сушіння: для ЗТП-сушіння вплив сорбційного гістерезису носить складніший характер.

Список літератури

1. Гинзбург, А. С. Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плодов [Текст] / А. С. Гинзбург, М. А. Громов. – М. : Агропромиздат, 1987.–27 с.
2. ГОСТ 28561-90. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги [Текст]. – М. : Издательство Госстан-дартов, 1990. – 14 с.
3. Гинзбург, А. С. Массообменные характеристики пищевых продуктов [Текст] / А. С. Гинзбург, И. М. Савина. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1982.–280 с.

Отримано 01.10.2010. Харків.

© М.П. Головка, В.О. Захаренко, Л.О. Чуйко, 2010.

УДК 664.834.2

М.І. Погожих, д-р техн. наук, проф.

М.М. Цуркан, канд. техн. наук, доц.

ПРОЦЕС СУШІННЯ ЯК ВІДПОВІДНА ЗМІНА ТЕРМОДИНАМІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ МОДЕЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Наведено алгоритм визначення термодинамічного потенціалу модельної системи яку являють собою харчова сировина, яка зневоднюється, та сушильний агент і математичний аналіз його зміни у процесі сушіння.

Приведен алгоритм определения термодинамического потенциала модельной системы, которую представляют собой пищевое сырье, что обезвоживается, с сушительным агентом и математический анализ его изменения в процессе сушки.

The algorithm of determination of thermodynamics potential of the model system which are food raw material, that is dehydrated, with a drying agent and mathematical analysis of his change in the process of drying is resulted in the article.