

6. Ярош Я.Д. Підвищення ефективності пиловловлювання батарейних циклонів за рахунок застосування елементів з жалюзійними решітками: автореф. дис. ... канд.техн. наук: 05.17.08 / Ярослав Дмитрович Ярош. – Тернопіль, 2003. – 21 с.
7. Пат. 62320 А Україна, 7 В04С3/06 Циклон підвищеної ефективності із ступеневим відведенням твердої фази / В.П. Куц, О.М. Марціян, Я.Д. Ярош. Заявник і патентовласник В.П. Куц, О.М. Марціян, Я.Д. Ярош № 2003031933; заявл. 04.03.2003; опубл. 15.12.2003 Бюл. № 12
8. Марціян О.М. Очистка пылогазовых потоков в циклоне с ступеневым отведением пыли: автореф. дис. ... канд.техн. наук: 05.17.08 / Орест Михайлович Марціян. – Тернопіль, 2006. – 18 с.

УДК 664.8.047

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ПЛОДООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ НА СУШЕНУ ПРОДУКЦІЮ

Сисжкін Ю.Ф. докт. техн. наук, професор, чл.-кор. НАН України,  
Шапар Р.О. канд. техн. наук, ст. наук. співр.,  
Воспітаников Г.К. наук. співр.  
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

*Показана доцільність проведення процесу охолодження висушеного матеріалу з метою уникнення термопластичності під час подрібнення і фракціонування та забезпечення якісної роботи відповідного обладнання.*

*Was shown the expediency of the process of cooling the dried material for the prevention thermal plasticity during grinding and fractionation and the ensuring the proper operation of equipment.*

**Ключові слова:** термопластичність, процес детермопластифікації (охолодження), диспергування, фракціонування, порошкоподібні продукти, гігроскопічність.

### Вступ

Виробництво сушених плодоовочевих продуктів характеризується підвищеними вимогами до якості кінцевого продукту. Технологія має забезпечити високий ступінь збереження природних властивостей сировини з одночасною відповідністю мікробіологічним нормам, термінам зберігання, технологічності при подальшому використанні.

Сушені плоди та овочі міцно увійшли у раціон харчування сучасної людини. На їхній основі виготовляють багато різноманітних страв. Сушені продукти, перетворені до порошкоподібного стану, розширюють сферу їхнього використання у кондитерських, молочних, хлібобулочних та інших продуктах.

Для одержання порошкоподібного матеріалу технологією передбачено сушіння плодоовочевої сировини до низької залишкової вологості з подальшим диспергуванням (подрібненням) і фракціонуванням та видаленням дрібнодисперсної фракції. Величина залишкової вологості матеріалу істотно впливає на процес диспергування безводного матеріалу. Згідно з [1] оптимальна величина залишкової вологості в разі одержання харчових порошоків дорівнює 6...8 %. Це та вологість, коли матеріал втрачає пружні-пластичні властивості і перетворюється в крихке тіло. Збезводнення матеріалу до  $W_z < 6\%$  крім збільшення енерговитрат призводить до різкого збільшення міцності матеріалу і зростання величини руйнівного навантаження, що пояснюється появою значної кількості поверхневої енергії при видаленні адсорбційної вологи і тому матеріал, висушений до  $W_z < 6\%$ , вимагає значно більшого руйнівного навантаження.

### Результати експериментальних досліджень

Експериментально встановлено, що по закінченню процесу сушіння матеріал має температуру 55...70 °С. За такої температури сушені продукти набувають термопластичності і тому, при наступному здрібнюванні, схильні до злипання, грудкування і налипання на робочі поверхні подрібнюючих пристроїв. В результаті, безумовно, знижується якість кінцевого продукту, ускладнюється робота відповідного устаткування, збільшується відсоток великодисперсної фракції порошку. Отже, для одержання якісного дрібнодисперсного порошку необхідно здійснювати детермопластифікацію (охолодження) продукту наприкінці процесу сушіння.

З огляду на вищесказане, досліджено процес детермопластифікації (охолодження) висушеного матеріалу у продувному шарі. Висушені зразки із введеними в різні точки шару термоелектричними датчиками, охолоджували у вертикальній камері експериментальної установки до 20 °С в умовах

заданого режиму. Досліди проводили за методом повного факторного експерименту [2]. Позначення факторів і рівні їхнього варіювання представлені в таблиці 1. Матриця планування експериментів з результатами дослідів представлені в таблиці 2. За вихідний параметр прийнятий час охолодження матеріалу до заданої температури.

У результаті обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії

$$y = 211 + 52x_1 - 79x_2 \quad (1)$$

Розрахунок дисперсії відтворюваності зроблено за трьома дослідями, проведеним у центрі плану  $S_y^2 = 25$ .

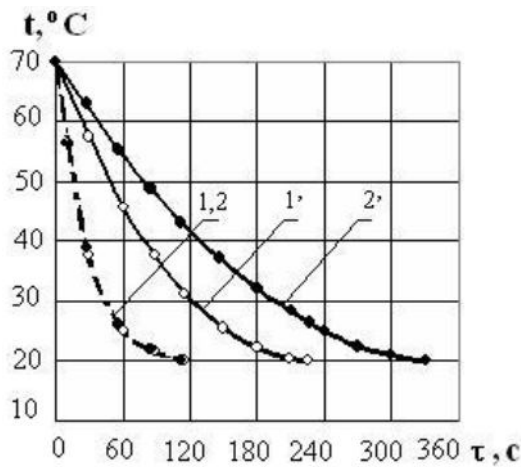
Перевірка значимості коефіцієнтів рівняння регресії за числом Ст'юдента показала, що всі коефіцієнти значимі [3]. Перевірка адекватності моделі по числу Фішера показала, що рівняння (1) адекватно описує процес охолодження шару матеріалу, оскільки дисперсія адекватності  $S_{ад}^2 = 32$ .

**Таблиця 1 – Позначення факторів і рівнів варіювання при дослідженні процесу детермопластифікації**

Найменування факторів	Позначення		Рівні варіювання		
	дійсне	кодове	+	0	–
Висота шару	h, мм	$X_1$	90	60	30
Швидкість повітря	V, м/с	$X_2$	5	3	1

**Таблиця 2 – Матриця планування експерименту**

N дослідів	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$\tau$ , с
1	+	-	-	230
2	+	+	-	350
3	+	-	+	88
4	+	+	+	176
5	0	0	0	135
6	0	0	0	130
7	0	0	0	140



тохол. пов. = 20 °C; V = 1 м/с: 1-1' – h = 30 мм (g = 5 кг/м<sup>2</sup>); 2-2' – h = 90 мм (g = 13,25 кг/м<sup>2</sup>); - - - нижній шар матеріалу; — верхній шар матеріалу.

**Рис. 1 – Темп зниження температури матеріалу в продувному шарі**

верхнього і нижнього шарів на обох прикладах відрізняється більш ніж у три рази.

Вплив швидкості руху охолоджувального повітря і висоти шару представлено на рис. 2. Зменшення висоти шару з 90 до 60 мм за однієї й тієї ж швидкості руху охолоджувального повітря скорочує тривалість процесу охолодження на 30 % (криві 3 і 2). Зростання швидкості повітря з 1 до 3 м/с прискорює темп охолодження на 40 % (криві 4 та 3).

Аналіз рівняння (1) і результатів дослідів показують, що найбільший вплив на процес охолодження у продувному шарі має швидкість руху охолоджувального повітря (коефіцієнт при  $X_2$  максимальний). З рівняння (1) виводимо розрахункову формулу для визначення тривалості процесу охолодження шару матеріалу.

$$\tau_{ок} = 225,5 + 1,73h - 39,5V, \text{ с} \quad (2)$$

Приведене рівняння застосовне в межах тих параметрів які зазначені в таблиці 1. Результати експериментальних досліджень у графічному вигляді наведені нижче. На рис. 1 показано темп зниження температури матеріалу до 20 °C в різних точках продувного шару на прикладі мінімально і максимально досліджених висот шару.

Охолодження верхнього і нижнього шарів відносно набігаючого потоку повітря проходить неоднаково. У той час, як нижній шар досліджуваного матеріалу цілком охолодився, верхній шар, розміщений з протилежного боку стосовно потоку повітря, у випадку охолодження матеріалу заввишки 30 мм охолодився на 50 %, шар висотою 90 мм – на 30 % відносно загального часу (криві 1' і 2'). Тривалість повного циклу охолодження

За результатами досліджень визначено, що домінуючий вплив на процес детермопластифікації має швидкість руху охолоджувального повітря.

Встановлено, що охолодження матеріалу після процесу збезводнення необхідно здійснювати повітрям з відносною вологістю не більше 10 % на протязі 15...20 хв до температури не більшої за 20 °С.

Враховуючи гігроскопічність сушеної продукції, не рекомендовано застосування повітря з відносною вологістю більшою за  $\varphi = 10\%$ . Збільшення температури вище 20 °С призводить до злипання матеріалу під час диспергування через зниження його теплостійкості, охолодження матеріалу нижче 15 °С пов'язано з додатковими енерговитратами. Але, якщо масо одержувати дрібнодисперсний порошок з високосахаровмісних плодів, таких як абрикоси, дині, груші, тощо, то цей крок неминучий.

Дослідженнями встановлено, що режими детермопластифікації та фракціонування таких продуктів в порівнянні з іншими плодами та овочами, наприклад яблуками, картоплею, буряками, гарбузами, знижуються в бік низьких температур, і це призводить до значного росту енергетичної складової всього технологічного процесу, що не завжди виправдовується матеріально. До того ж для забезпечення мікробіологічної стійкості та стабільності органолептичних показників порошок одержаних із високосахаровмісної сировини, рекомендується зберігати за температури не вищою 0...-4 °С. Тому сушіння вказаних матеріалів економічно доцільніше здійснювати до рівноважної з навколишнім середовищем вологості і реалізувати їх в якості сухофруктів.

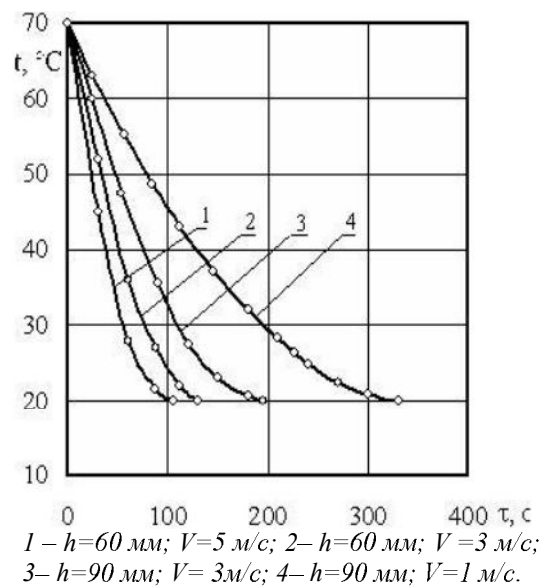
Для детермопластифікації висушеного матеріалу в розроблених нами сушильних установках передбачена зона охолодження, в якій автоматично підтримуються необхідні параметри охолоджувального повітря. Під час здрібнювання спостерігається вивільнення значної кількості енергії, що нагріває матеріал і робочі деталі подрібнюючих пристроїв. Для запобігання цьому робоча камера пристрою обладнується охолоджувальною сорочкою.

Подрібнений до порошкоподібного стану матеріал являє собою мікрогетерогенну систему і складається з суміші частинок різних розмірів і форми, які визначають фізико-хімічні та технологічні властивості плодовоовочевих порошоків. Досвід використання порошоків, мікроструктурний аналіз, показали, що розміри частинок порошоків для використання при виробництві продуктів харчування не повинні перевищувати 0,25 мм, оскільки така тонина помолу забезпечує максимальне витягання барвних, стабілізуючих та інших поживних речовин і сприяє рівномірному розподілу та повному їхньому відновленню у масі харчового продукту. Вихід фракції зазначених розмірів складає від 60 до 75 % в залежності від найменування плодовоовочевих порошоків.

Плодовоовочевим порошкам притаманна висока гігроскопічність, через що відразу після подрібнення та фракціонування за розмірами їх пакують у герметичну вологонепроникну тару, у т.ч. і вакуумну. Під час виробництва продуктів харчування з доданням харчових порошоків на різних етапах технологічного процесу (підготовка до змішування, дозування і т.п.) порошки піддаються механічному і тепловому впливу і це призводить до зміни їхніх технологічних характеристик, а саме, частинки порошку втрачають сипучість, що ускладнює дозування порошоків, змішування, відновлюваність. Тому, в разі непередбачених ситуацій, для уникнення втрати технологічних властивостей, порошки допускається тримати в не упакованому вигляді не більше 10...12 годин. При цьому відносна вологість повітря в приміщенні не повинна перевищувати 60 %, а температура – 20 °С [4].

### Висновки

Отже, на підставі проведених досліджень обґрунтовано доцільність проведення процесу детермопластифікації висушеного матеріалу з метою уникнення термопластичності та забезпечення якісної роботи обладнання для проведення процесів диспергування та фракціонування.



**Рис. 2 – Вплив швидкості повітря та висоти шару на процес охолодження**

### Література

1. Снежкін Ю.Ф. Особливості подрібнення та сепарації пектиновмісних рослинних матеріалів / Ю.Ф. Снежкін, Л.А. Боряк, Р.О. Шапар – К., 2003. – 23 с. Деп. в ДНТБ України 05.05.03. № 60-Ук 2003.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. – М.: Наука, 1976. – 286 с.
3. Зайдель А.Н. Погрешности измерений физических величин. – Л.: Наука, 1985 – 112 с.
4. Снежкін Ю.Ф. Адсорбційні характеристики деяких харчових добавок / Снежкін Ю.Ф., Дабіжа Н.А. // Пріоритетні напрями впровадження в харчову промисловість сучасних технологій, обладнання і нових видів продуктів оздоровчого та спеціального призначення: міжнар. наук.-практ. конф., 23–25 жовт. 2001 р.: наукові праці – К., 2001, №10. – С.63.

УДК 66.047-912

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШКИ СУМІШІ ОВОЧІВ В КОНВЕКТИВНІЙ СУШАРЦІ

Сімороз Д.О., магістрант, Снежкін Ю.Ф., д.т.н., проф., Степанюк А.Р., к.т.н., доц.  
Інститут технічної теплофізики НАН України, м.Київ

*Сушіння являється найкращим способом для зберігання продуктів харчування, також воно дозволяє здешевити їх транспортування, надати їм необхідні властивості [1].*

*Drying is the best method for storage of foodstuffs, also it allows to reduce in price their transporting, give necessary properties to them [1].*

**Ключові слова:** сушіння, вологовміст, температура матеріалу,

Для сушіння овочів та фруктів найкраще застосовувати конвективну сушку, так як вона дозволяє отримати очікувані фізичні та хімічні показники, при правильному, оптимальному виборі режиму сушіння[2].

На даному етапі проекту метою є експериментально дослідити кінетику процесу сушіння моркви, побудувати криві сушіння та зробити висновок щодо оптимального режиму сушіння.

Також є припущення, що при сушінні моркви та квасолі разом відбуватиметься значна інтенсифікація процесу, так як в даному випадку квасоля виступатиме адсорбентом, оскільки вона є більш сухою, тому буде відбирати частину вологи на себе. Такий спосіб дозволить зменшити кількість підведеної енергії, що зробить процес сушки більш м'яким та покращить фізико-хімічні властивості продукту після його відновлення його вологою (колір, смак та т.ін.).

Для дослідження процесу сушки суміші моркви була створена експериментальна установка.

Схема установки подана на рисунку 1, криві сушіння зображено на рисунку 2.

Експериментальний стенд (рисунок 1) складається з системи ізольованих повітряних каналів з пристроями для теплової обробки матеріалів (1) вимірювальних ділянок, вимірювальних пристроїв для заміру величин, які характеризують кінетику сушіння досліджуваного матеріалу. Камера для сушіння представляє собою прямокутний короб, виконаний з листової сталі. Камера має бокові люки з прозорими стінками, а також штуцери для виходу термоелектричних перетворювачів від матеріалу до потенціометру(4) та трубки Піто(10).

Проведені дослідження показали, що в елементарному шарі товщиною в 6 мм при високо інтенсивних режимах процес сушіння протікає в 2 періоди. Перший період спостерігається при більш м'яких режимах сушіння при підвищеному вологовмісті теплоносія. При цьому температура поверхневого шару матеріалу постійна і рівна температурі вологого термометру. Так як, в початковий момент сушіння, коли холодний зразок вноситься в сушильну камеру, на його поверхні конденсується пара, маса його дещо збільшується, а температура матеріалу різко зростає до температури вологого термометру.

На рисунку 2 зображено залежність зміни вологості від часу, прологарифмувавши значення та усереднивши їх, отримали рівняння усередненої кривої сушіння:

$$\ln(W) = 0,3265 \ln^3(\tau) - 3,8028 \ln(\tau) + 12,878 \ln(\tau) - 7,2785.$$