

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**БАХМУТЯН НАТАЛЯ ВІТАЛІЇВНА**

**УДК 664.854:66.047.59-912**

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ФРУКТОВО-ЯГІДНОЇ  
СИРОВИНИ В ЗАВИСЛОМУ ШАРІ**

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових,  
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса – 2007

**Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій

Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор,  
**Грішин Михайло Олександрович**, Одеська національна академія харчових технологій, кафедра технології молока та сушіння харчових виробництв, професор кафедри

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор,  
**Бурдо Олег Григорович**, Одеська національна академія харчових технологій, кафедра процесів і апаратів, завідувач кафедри

кандидат технічних наук,  
**Петрова Жанна Олександрівна**, Інституту технічної теплофізики НАН України, (м. Київ), старший науковий співробітник

Захист відбудеться *26.10.2007 р.* о 13-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 при Одеській національній академії харчових технологій, за адресою: вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій, за адресою: вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039.

Автореферат розіслано *25.09. 2007 р.*

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
д.т.н., професор

К.Г. Іоргачова

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Високий вміст вологи в плодах є причиною їх не стійкості при зберіганні, внаслідок бактеріального, ферментативного та хімічного псування. Проблема найбільш повного збереження нативних властивостей продуктів при їхньому тривалому зберіганні актуальна для виробників продуктів харчування. Відповідальним і вирішальним етапом технологічного процесу переробки рослинної сировини є процес сушіння.

Поліпшення якості сушених харчових рослинних продуктів пов'язане зі скороченням тривалості сушіння, тобто тривалості теплового впливу на продукт і залежить від рівномірності нагріву матеріалу, максимального зниження вологості в процесі сушіння.

У роботі був обраний процес сушіння у завислому шарі, який має ряд переваг: інтенсивний рух і перемішування часток; максимальна поверхня сушіння; невеликий гідравлічний опір шару; рівномірне нагрівання матеріалу, що дозволяє застосовувати високі температури (100 – 120 °С); високе питоме навантаження матеріалу (в 8 – 16 разів вище, ніж у нерухомому шарі).

Крім того, високотемпературне сушіння у завислому шарі дозволяє висушити матеріал до низької залишкової вологості (4 – 8 %) і значно знизити тривалість процесу сушіння. Глибоке сушіння плодів обумовлене тим, що при залишковій вологості нижче 8 % термін зберігання сушеного продукту приблизно подвоюється зі зменшенням вмісту вологи на кожні два відсотки.

Вказані способи сушіння ефективно використовують в різних галузях промисловості. Але впровадження таких технологій сушіння фруктово-ягідної сировини потребує постановки досліджень раціональних режимів сушіння.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана за тематикою держбюджетних досліджень проблемної науково-дослідної лабораторії 6/2000 – П “Розробка науково-технічних основ сушіння рослинної сировини для створення енергоощадного і екологічно безпечного обладнання малої потужності” № державної реєстрації 0100U004570.

**Мета і завдання досліджень.** Мета роботи – створення методів розрахунку та обґрунтування ефективних режимів сушіння фруктово-ягідної сировини в завислому шарі.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі задачі:

- встановити вплив режимних параметрів на кінетику сушіння фруктово-ягідної сировини та зміну її хімічних показників;
- розробити інженерну методику розрахунку і оптимізації сушильної установки;
- оптимізувати процес сушіння в завислому шарі плодів і ягід по ряду параметрів: енерговитратам і хіміко-технологічним показникам.

*Об'єкт досліджень* - процес сушіння в завислому шарі.

*Предмет досліджень* –фруктово-ягідна сировина, яка вирощується на території України.

*Методи досліджень* – комплекс традиційних і сучасних хімічних, фізико-хімічних та математичних методів досліджень.

**Наукова новизна отриманих результатів.** У результаті аналітичних і експериментальних досліджень уперше:

- досліджена кінетика процесу сушіння в завислому шарі нетрадиційної в сушильній промисловості фруктово-ягідної сировини;
- досліджена зміна хімічних показників плодів і ягід при сушінні;
- приведене математичне описання кінетики сушіння, що дозволяє з достатньою точністю розрахувати тривалість сушіння плодів і ягід до будь-якого вологовмісту;
- отримано рівняння в числах подібності для розрахунку коефіцієнта масовіддачі;
- отримана модель сушіння плодів і ягід, що базується на принципі суперпозиції і впливі коефіцієнта активності води на масовіддачу;
- запропоновані режими сушіння плодів і ягід у завислому шарі є науково обґрунтованими;
- експериментально підтверджена висока степінь інтенсифікації процесу сушіння плодів і ягід в завислому шарі. В зрівнянні зі стрічковими та тунельними сушарками, тривалість процесу сушіння в завислому шарі скорочується в 16 – 30 разів залежно від температури сушильного агента;
- значне скорочення тривалості сушіння дозволяють отримати поліпшені органолептичні й

хімічні показники готового продукту при зменшенні витрати теплоти на процес сушіння.

**Практичне значення отриманих результатів.** Теоретичними та експериментальними дослідженнями і виробничими випробуваннями розроблено і практично підтверджено таке:

- розроблена інженерна методика та комп'ютерна програма для розрахунку апарату та тривалості сушіння плодів та ягід;
- розроблена комп'ютерна програма може бути використана для проектування нової сушильної установки;
- розроблено проект нормативної документації на плоди сушені насіннячкові;
- новизна технічних рішень дисертаційної роботи захищена 1 деклараційним патентом України на корисну модель.
- проведена промислова апробація режимів сушіння фруктово-ягідної сировини в завислому шарі на ВАТ "Одесхарчокомбінат".

**Особистий внесок здобувача** полягає у плануванні та проведенні експериментів, виборі об'єктів та методів експериментальних досліджень, обробці та узагальненні отриманих науково обґрунтованих результатів у вигляді формування висновків та пропозицій, підготовці матеріалів досліджень до публікування, виконаних у співавторстві та самостійно, розробці технологій і нормативної документації, промислової апробації розроблених технологій. Особистий внесок здобувача підтверджується представленими документами та публікаціями.

**Апробація роботи.** Основні результати досліджень докладалися і обговорювалися на наукових конференціях професорського-викладацького складу ОНАХТ в 2002 – 2007 р., на Другій Міжнародній науково – практичній конференції "Современные энергосберегающие тепловые технологии (Сушка и тепловые процессы) СЭТТ – 2005, (м. Москва, 2005 г.), на міжнародній конференції "Проблемы промышленной теплотехники", (м. Київ, 2005 р).

**Публікації.** Матеріали дисертації, одержані результати та рекомендації по їх використанню повністю відображені у 8-ми наукових роботах, опублікованих автором, з них 4 публікації у фахових виданнях, 1 стаття у науковому виданні, у тезах 2 доповідей наукових конференцій, 1 деклараційний патент України на корисну модель.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел, що включає 113 найменувань (10 сторінок) та 5 додатків (41 сторінка). Роботу викладено на 123 сторінках, включаючи 59 рисунків (30 сторінок), 22 таблиць (13 сторінок).

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** викладено загальну характеристику роботи – актуальність теми, зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету і завдання досліджень, наукову новизну, практичне значення та особистий внесок автора, представлена апробація дисертаційної роботи та її структура, подана кількість публікацій.

У **першому розділі** "Сучасний стан питання та основні задачі досліджень" на підставі аналізу літературних даних розглянуто стан ринку сухофруктів України та функціонально - технологічні особливості досліджуваних рослинних матеріалів.

Проаналізовано різні способи сушіння та зроблено їхній енергетичний аналіз (рис. 1). Сушарки в завислому шарі, серед відомих конвективних сушарок, мають нижчі показники енерговитрат – 4,8 МДж/кг. Також розглянуті методи розрахунку та математичні моделі тривалості сушіння. У теперішній час існують дві основні проблеми сушіння харчових матеріалів: підвищене енергоспоживання при сушінні та низька якість сушених продуктів. Показано, що способом рішення цих проблем є сушіння в розвинутій стадії завислого шару.

У **другому розділі** "Аналіз об'єктів та методик досліджень" викладені відомості про об'єкти та методи досліджень. Наведено структурну схему, що відображає основні напрямки досліджень, взаємозв'язок етапів рішення поставлених завдань (рис. 2).

Об'єктами дослідження в роботі були насінні плоди і ягоди, що зростають на території України (табл. 1). Для всіх досліджень швидкість сушильного агента була постійною та рівною 5

м/с, питоме навантаження змінювалось від 50÷120 кг/м<sup>2</sup>, температура сушильного агента змінювалась в межах від 80 до 120 °С. Дослідження проводились як за стандартними, так і оригінальними методами з використанням сучасних фізико-хімічних і технологічних методів дослідження. Промислову апробацію проводили на ВАТ “Одесхарчокомбінат”.

Таблиця 1

**Об’єкти досліджень**

Продукти	Сорт досліджуваного продукту	Початковий вологовміст	Форма та розмір
		%	мм
Яблука	Семеринка	700	Кубики 5x5x5
Груші	Кюре	614	Кубики 5x5x5
Айва	Великоплідна	590	Кубики 5x5x5
Чорна смородина	Перемога	567	Ø10÷20
Обліпіха	Вітамінна	355	Ø÷7
Аронія	Чорноплідна	400	Ø15÷20
Горобина	Червона	300	Ø÷12

Наведено методи аналітичного моделювання процесу сушіння в завислому шарі. Це дозволяє використати для розрахунку коефіцієнта масовіддачі  $\beta$  рівняння одного виду з різними коефіцієнтами активності води  $a_w$ . Виходячи з умов рівноваги в системі тверде тіло – вологе повітря коефіцієнт  $a_w$  можливо визначити за законом Рауля, або використовуючи рівняння Кельвіна – Томсона. Залежність  $\beta$  від режимних факторів отримана за допомогою методу аналізу розмірностей. Складено розмірну матрицю (табл. 2), в якій:  $V$  – швидкість повітря, м/с;  $t$  – температура продукту, °С;  $T$  – температура теплоносія, °С;  $L$  – розмір частинки, м;  $v$  – в’язкість повітря м<sup>2</sup>/с;  $\rho$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $P_{np}$  – парціальний тиск водяної пари над продуктом, Па;  $p_v$  – парціальний тиск водяної пари в повітрі, Па.

Таблиця 2

**Розмірна матриця**

	T	L	V	v	t	$P_{np}-p_v$	$\rho$	Рівняння
M	-	-	-	-	-	k6	k7	$k6+k7=0$
T	k1	-	-	-	k5	-	-	$k1+k5=0$
$\tau$	-	-	-k3	-k4	-	-2·k6	-	$-k3 - k4 - 2 \cdot k6 = 1$
L	-	k2	k3	2·k4	-	-k6	-3·k7	$k2 + k3 + 2 \cdot k4 - k6 - 3 \cdot k7 = -1$

Отримане рівняння в числах подібності має вигляд:

$$\beta \cdot V = \left( \frac{t}{T} \right)^{(k1)} \cdot \left( \frac{L \cdot V}{v} \right)^{(k2)} \cdot \left( \frac{P_{np} - p_v}{\rho \cdot V^2} \right)^{(k3)} \quad (1)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт масовіддачі, с/м;  $k_1, k_2, k_3$  - показники степені.

В загальному вигляді рівняння в числах подібності – залежність числа Стантона ( $St$ ) від чисел Гухмана ( $Gu$ ), Ейлера ( $Eu$ ) і Рейнольдса ( $Re$ ):

$$St = f(Gu, Re, Eu) \quad (2)$$

Для розрахунку тривалості сушіння пропонується використати метод Філоненко – Грішина. Рівняння тривалості сушіння має вигляд:

$$\tau = \frac{1}{N} \left[ (W_1 - W_K) + A \cdot 2.3 \cdot \lg \frac{W_K - W_P}{W_2 - W_P} + B(W_K - W_2) \right] \quad (3)$$

де  $N$  – приведена швидкість сушіння, %/хв;  $W_1; W_K; W_2; W_P$  – відповідно початковий, критичний, кінцевий та рівноважний вологовміст;  $A$  та  $B$  - постійні коефіцієнти.

У **третьому розділі** "Експериментальне моделювання" наведені результати експериментальних досліджень. Дослідження проведені на експериментальному стенді кафедри молока та сушіння харчових продуктів ОНАХТ (рис.3).

Дослідження впливу температури сушильного агента та потенціалу сушіння на кінетику сушіння показали, що чим вище температура нагріву повітря в калорифері, тим менше витрати теплоти на видалення вологи з матеріалу і менше витрати повітря в процесі сушіння. Тому сушіння проводили при максимально можливому нагріві повітря для даного матеріалу і даному способі сушіння, з огляду на те, що сушіння не тільки нестационарний процес тепломасообміну, на який витрачається велика кількість теплоти, але і відповідальний технологічний процес виробництва. Досліджувані продукти сушили при температурі сушильного агента 80, 90, 100, 110, 120 °С. Наведені криві сушіння аронії при різних температурах сушильного агента (рис. 4).

З метою оптимізації питомого навантаження проведені дослідження на одиницю поверхні робочої камери 50, 80, 100 кг/м<sup>2</sup> (рис. 5). У періоді постійної швидкості сушіння спостерігається незначне зменшення швидкості сушіння в розвинутій стадії завислого шару зі збільшенням питомого навантаження. Починаючи із критичного вологовмісту, швидкість сушіння практично не залежить від величини питомого навантаження. Використання більших питомих навантажень значно підвищує ефективність процесу. Витрати енергії на роботу радіального вентилятора не збільшуються зі зростанням питомого навантаження матеріалу, тому що швидкість ( $a$ , отже, і кількість) повітря залишається незмінною. У цьому полягає одне з переваг сушіння харчових матеріалів у завислому шарі. Тривалість сушіння досліджуваних матеріалів залежно від температури сушильного агента наведено в табл. 3.

Таблиця 3

**Тривалість процесу сушіння досліджуваних матеріалів \***

Продукти	$W_1 - W_2$	120°C	110°C	100°C	90°C	80°C
Яблука	700-5	50	55	70	90	110
Айва	590-5	50	60	70	85	90
Груші	614-5	45	50	60	70	80
Аронія	400-5	80	100	120	160	180
Чорна смородина	567-5	-	30	35	40	50
Обліпіха	355-5	30	35	40	50	60
Горобина звичайна	300-5	50	60	70	90	110

\* –  $\tau \times 60$ , с

Для режимних параметрів, обраних в експерименті, процес сушіння інтенсифікується в порівнянні з традиційними варіантами сушильного процесу в 3,3÷12 разів (табл. 4). Данні наведені для сушіння яблук.

Таблиця 4

### Ступінь інтенсифікації процесу сушіння

Сушильні установки	Розмір часток, мм	Температура повітря, °С	Тривалість сушіння (τ x 60, с)	Ступінь інтенсифікації
Стрічкова	Кружки	80	180	3,6
Тунельна	Кружки	70	600	12
У завислому шарі	20 x 20 x 20	120	166	3,32
У завислому шарі	5 x 5 x 5	120	50	-

Крім кінетичних характеристик визначені статичні характеристики ряду продуктів, а саме рівноважний вологовміст ( $W_p$ ) як функція температури та відносної вологості повітря ( $\phi$ ) (рис. 6), хімічного потенціалу, питомої термічної вологоємності ( $C' m$ ) (рис. 7).

Коефіцієнти в рівнянні тривалості сушіння по методу Філоненко – Грішина визначались графічним способом. Послідовно визначались коефіцієнти А (рис. 9.), коефіцієнти швидкості постійного періоду сушіння N (рис.8.), коефіцієнти критичного вологовмісту  $W_k$ .

Отримані коефіцієнти в рівнянні тривалості сушіння по методу Філоненко – Грішина зведено в таблицю 5. Коефіцієнти отримані за допомогою програми Microsoft Excel.

Таблиця 5

### Коефіцієнти рівняння тривалості сушіння

Продукти	Коефіцієнти					
	c	d	a	b	k	l
Яблука	380	1.5	0.04	1	621	1.88
Айва	540.14	0.4	5.2	1.3	486	1.63
Груші	401	0.2	7.05	1.2	600	2.07
Аронія	261.32	1.77	1.46	0.3	310	0.96
Чорна смородина	164.38	1.6	12.5	1.3	550	2
Обліпиха	178.48	0.99	7.2	0.6	290	0.81
Горобина	255.33	1.23	2.5	0.7	313	1.73

Вивчено вплив режимних параметрів на зміну хімічного складу досліджуваних продуктів. Доведено, що нетривале сушіння при температурі понад 100 °С дозволяє одержати продукт кращий по кольору і з більшим вмістом поліфенольних речовин, а також знизити втрати термолабільних вітамінів.

Таблиця 6

### Хімічний склад висушених продуктів

Продукт и	Показники (в перерахунку на суху речовину)	Сировина	Температура сушильного агента, °С				
			80	90	100	110	120
Аронія			80	90	100	110	120
	Тривалість сушіння (τ x 60,с)	-	180	160	120	100	80
	Цукри загальні, %	24,6	20,8	21,8	22	24,3	23,5
	Лейкоантоціани, мг/%	4350	2460	2730	3200	3800	2650
	Втрати %	-	43,45	37,24	26,44	12,64	39,08

	Аскорбінова кислота, мг/%	140	70,2	75,9	77,8	81,2	90,3
	Втрати %	-	49,86	45,79	44,43	42	35,5
	Антоціани, мг/%	4980	1730	2210	2450	2600	3000
	Втрати %	-	65,26	55,62	50,8	47,79	39,76
Чорна смородина	Тривалість сушіння ( $\tau \times 60, \text{с}$ )	-	50	40	35	30	-
	Цукри загальні, %	26,84	26,8	26,7	26,71	26,7	-
	Антоціани, мг/%	3200	1420	1660	1680	1740	-
	Втрати %	-	55,63	48,13	47,5	45,63	-
	Аскорбінова кислота, мг/%	190	75,6	125,4	130,5	90	-
	Втрати %	-	60,21	39,26	31,32	52,63	-

Втрати аскорбінової кислоти при сушінні в розв'язаній стадії киплячого шару з температурними режимами 80 – 90°C більше, ніж при 100 – 120°C. Таким чином, значне скорочення тривалості сушіння, при застосуванні високих температур зменшує сумарний вплив теплоти на матеріал.

Узагальнення експериментальних даних проведено в числах подібності.

Вихідними даними для обробки є експериментальні дані, отримані при сушінні груш, айви, яблук. Обробку дослідних даних представлено в логарифмічних координатах. В результаті послідовно отримано вплив кожного комплексу на процес (рис. 11, 12).

Швидкість сушильного агента в досліді не змінювалась. Тому для числа Рейнольдса приймаємо відому степінь 0.5.

Для розрахунку числа Стантона отримане рівняння має вид:

$$St = 10^{-10} \cdot Gu^{2.5} \cdot Re^{0.5} \cdot Eu^{0.39} \quad (4)$$

Розбіжність між розрахунковими та експериментальними даними в межах 12 % (рис.13).

У **четвертому розділі** “Інженерні методи розрахунку та апробація результатів роботи ” наведені результати комп'ютерного моделювання, оптимізації сушильної установки у завислому шарі, пропозиції до впровадження.

Для розрахунку та оптимізації сушильної установки у завислому шарі визначено етапи комп'ютерного моделювання: вплив розміру частинок( $d_p$ ) і температури сушильного агента ( $t_1$ ) на критичну швидкість повітря ( $v_{кр}$ ); вплив вологовмісту продукту і розмірів капілярів ( $R_{max}$ ) на коефіцієнт активності води; вплив температури сушильного агента на тривалість сушіння продукту ( $\tau$ ); визначення кінетичних коефіцієнтів; порівняння розрахункових та експериментальних даних; оптимізація температурних режимів сушіння (рис. 14).

Алгоритм розрахунку сушильної установки в завислому шарі представлено як сукупність окремих блоків. Використовуючи блок 4 алгоритму, одержуємо можливість моделювати гідродинамічні параметри апарату. Критична швидкість для часток продукту різних розмірів змінюється у широкому діапазоні температур сушильного агента (рис. 15). В 5-му блоці проводиться розрахунок кінетичних коефіцієнтів та часу сушіння продуктів, які досліджувались. У розгорнутому виді алгоритм розрахунку представлений на рис. 16. Останній блок алгоритму – перетворене рівняння 6, застосування якого дає можливість отримати не тільки час сушіння, а й кінетичні коефіцієнти. В розрахунку тривалості сушіння процес розглядався як квазістаціонарний. Для визначення властивостей води, тиску водяної пари над продуктом використані апроксимаційні рівняння.

Також одержуємо можливість моделювати такі параметри як активність води (рис. 17) та

коефіцієнт масовіддачі (рис. 18). Ці величини є проміжними результатами комп'ютерного розрахунку по алгоритму рис. 16.

Комп'ютерне моделювання проведено за допомогою програми MathCAD.

В алгоритмі для розрахунку коефіцієнта активності води використане рівняння Кельвіна – Томсона.

Побудовано криву сушіння для груш із використанням алгоритму (рис. 19).

Оптимізація сушильної установки проведена з позиції мінімального енергоспоживання, тобто експлуатаційні витрати є функцією споживаної енергії на процес.

Оптимум функції, що складається з суми експлуатаційних витрат і капітальних витрат для обраного продукту (груш) припадає на 110 °С (рис.20).

Особливість зневоднення продуктів, яка запропонована в роботі, дозволяє зберегти вміст вітамінів і інших біологічно-активних речовин в сухому продукті на високому рівні від початкової сировини. Продукт не містить консервантів і інших сторонніх речовин, що сприяє його споживанню людьми, страждаючими якими-небудь алергічними або іншими реакціями на консерванти і хімічні добавки.

До переваг застосування висушених плодів і ягід слід віднести: здатність надавати кінцевому продукту натуральний смак, колір і аромат; збереження продуктів протягом тривалого періоду без додаткових засобів хімічної обробки та скорочення витрат на транспортування і зберігання.

Сухофрукти можуть бути використані в наступних сферах: виробництво харчових концентратів для солодких блюд; виробництво продуктів швидкого приготування; виробництво продуктів дієтичного харчування; молочне виробництво; кондитерське виробництво; виробництво алкогольних і безалкогольних напоїв; лікувально-профілактичне і оздоровче харчування.

## ВИСНОВКИ

1. Створені теоретично обґрунтовані і експериментально підтвержені методи розрахунку ефективних режимів сушіння фруктово-ягідної сировини в завислому шарі.
2. Встановлено, що висока температура і швидкість сушильного агента інтенсифікує процес сушіння та приводить до зниження питомих енерговитрат. Порівняно з сучасними конвективними сушильними установками питомі енерговитрати при сушінні в завислому шарі зменшуються на 3,0 – 3,7 МДж/кг.
3. Науково обґрунтовано, що застосування високих температур сушильного агента уповільнює зростання температури в центральних шарах за рахунок інтенсивного випаровуванні вологи у всьому об'ємі матеріалу. Підвищення температури і зменшення тривалості процесу сушіння скорочує загальну теплову дію на продукт, що сприяє кращому збереженню біологічної цінності досліджуваних продуктів. Режими сушіння фруктово-ягідної сировини, що рекомендуються: температура сушильного агента 100÷120 °С, швидкість сушильного агента 5 м/с.
4. Проведений комплекс аналітичних і експериментальних досліджень підтвердив можливість істотної інтенсифікації процесу сушіння фруктово-ягідної сировини в завислому шарі. Процес сушіння інтенсифікується від 3,3 до 12 разів.
5. Визначено, що питомі навантаження матеріалу при сушінні в завислому шарі складають до 100 кг/м<sup>2</sup>, що в 12 разів більше в порівнянні із сушінням в стрічкових та тунельних сушильних установках, які використовуються в сушильній промисловості України.
6. Визначені термодинамічні характеристики для аронії, чорної смородини, обліпихи та горобини. Встановлено, що величина хімічного потенціалу і питомої ізотермічної вологості зростає з підвищенням вологовмісту і температури.
7. Розроблена інженерна методика, за допомогою якої можливо проводити розрахунок процесу сушіння для широкого діапазону температур і різної рослинної сировини та оптимізувати температурні режими для продуктів. Оптимальний температурний режим для сушіння груш 110 °С.
8. Отримані в роботі результати дають можливість розширити асортимент сушених плодів

і ягід на Україні за рахунок використання нетрадиційної сировини для сушильної промисловості: айви, чорної смородини, обліпихи, аронії, горобини червоної, підвищити якість сушених продуктів, знизити енерговитрати і інтенсифікувати процес сушіння.

### Список праць, опублікованих за матеріалами дисертації

1. Грішин М.О. Кінетика сушіння ягід чорної смородини в завислому шарі / М.О. Грішин, Н. В. Бахмутян // Холодильна техніка і технологія. – 2004. - № 6. – С. 48 – 50.

*Особистий внесок здобувача: дослідженні технології сушіння чорної смородини та проведена математична обробка кривих сушіння.*

2. Грішин М. О. Кінетика сушіння груш у завислому шарі/ М.О. Грішин, Н. В. Бахмутян // Зб. наук. пр. ОДАХТ. – Одеса, 2004. – Вип. 27. – С. 47 – 50.

*Особистий внесок здобувача: дослідженні технології сушіння груш та проведена математична обробка кривих сушіння.*

3. Бахмутян Н. В. Исследование процесса сушки плодов и ягод во взвешенном слое / Н. В. Бахмутян, И.В. Безбах // Зб. наук. пр. ОДАХТ. Одеса, 2006. – Вип. 28. – С. 112 – 116.

*Особистий внесок здобувача: розроблені та обґрунтовані технологічні параметри сушіння в завислому шарі інтенсифікованим способом:*

4. Бахмутян Н. В. Моделирование процесса сушки плодов и ягод во взвешенном слое / Н. В. Бахмутян, И.В. Безбах // Зб. наук. пр. ОДАХТ. Одеса, 2007. – Вип. 30. – С. 146 – 149.

*Особистий внесок здобувача: запропоновано новий підхід для розрахунку коефіцієнту масовіддачі при сушінні в завислому шарі*

5. ПАТ. 4562. Україна, А23L2/00. Спосіб купажування плодів напівфабрикатів/ М.О. Грішин, О.В. Бочарова, О.Б. Чабанова, Н.В. Бахмутян – №. 96093616. Заявлено 04.06.2004; Опубл. 17.01.2005.

6. *Особистий внесок здобувача: досліджено вплив природних барвників на плодів наповнювачі*

7. Гришин М.А. Биохимические и химические изменения дикорастущих ягод в процессе сушки / М.А. Гришин, Н. В. Бахмутян // Тези доповідей міжн. наук.-практ. конф. “Харчові технології – 2005” 12 – 14 жовтня 2005 р.- ОНАХТ. – Одеса, 2005. – С. 54 – 54.

*Особистий внесок здобувача: дослідженні хімічні та біохімічні зміни складу ягід під час сушіння.*

8. Гришин М.О. Интенсификация процесса сушки семечковых плодов во взвешенном слое./ М.О. Гришин, Н. В. Бахмутян // Материалы II междунауч.-практ. конф. “Современные энергосберегающие тепловые технологии (Сушка и тепловые процессы) СЭТТ – 2005” 11 – 14 октября 2005. – г. Москва, 2005. – С. 295 – 298.

*Особистий внесок здобувача: досліджено вплив питомого навантаження, температури сушильного агента на тривалість процесу сушіння насінневих плодів.*

9. Гришин М.А. Математическое моделирование сушки в кипящем слое/ М.А. Гришин, Н. В. Бахмутян // Тезисы докладов IV междунауч. конф. “Проблемы промышленной теплотехники” 26 – 30 сентября 2005 г, Киев, 2005. – С. 208 – 209.

*Особистий внесок здобувача: отримано критеріальне рівняння для розрахунку процесу сушіння в завислому шарі.*

### АНОТАЦІЯ

Бахмутян Н.В. Інтенсифікація процесу сушіння фруктово-ягідної сировини в завислому шарі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв.

Одеська національна академія харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2007.

Дисертаційна робота присвячена інтенсифікації процесу сушіння фруктово-ягідної сировини в завислому шарі, з метою створення методів розрахунку та обґрунтування ефективних режимів сушіння.

Проведений комплекс аналітичних і експериментальних досліджень підтвердив можливість інтенсифікації процесу сушіння фруктово-ягідної сировини в завислому шарі.

Визначено статичні характеристики висушених продуктів: рівноважний вологовміст як функція температури і відносної вологості повітря, хімічного потенціалу і питомої термічної вологоємності.

Розраховані коефіцієнти в рівнянні тривалості сушіння по методу Філоненко - Грішина для фруктово-ягідної сировини.

Розроблені методи розрахунку сушильної установки для сушіння в завислому шарі. Отримана модель сушки плодів і ягід, заснована на принципі суперпозиції і впливі коефіцієнта активності води на масовіддачу

Встановлений вплив режимних параметрів на зміну хімічних і біохімічних показників. Значне скорочення тривалості сушки дозволяє поліпшити органолептичні і біохімічні показники сушеного продукту при зменшенні витрати теплоти на процес сушіння.

В роботі використано нетрадиційну сировину для сушильної промисловості: айва, чорна смородина, обліпиха, аронія, горобина червона, що дозволяє розширити асортимент сухофруктів, використовуючи “місцеву” сировину, підвищити якість сушених продуктів та зменшити собівартість вітчизняної продукції.

**Ключові слова:** сушіння, завислий шар, криві сушіння, коефіцієнт масовіддачі, інтенсифікація, активність води, фруктово-ягідна сировина.

## АННОТАЦІЯ

Бахмутян Н.В. Интенсификация процесса сушки фруктово-ягодного сырья во взвешенном слое. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук за специальностью 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств.

Одесская национальная академия пищевых технологий Министерства образования и науки Украины, Одесса, 2007.

Диссертационная работа посвящена интенсификации процесса сушки фруктово-ягодного сырья во взвешенном слое, с целью создание методов расчета и обоснования эффективных режимов сушки.

Проведенный комплекс аналитических и экспериментальных исследований подтвердил возможность существенной интенсификации процесса сушки фруктово-ягодного сырья во взвешенном слое. В сравнении с современными конвективными сушильными установками удельные энергозатраты при сушке во взвешенном слое уменьшаются на 3.0 – 3.7 МДж/кг. Степень интенсификации возрастает в 3,3÷12 раза в сравнении с ленточными и туннельными сушильными установками.

Определены статические характеристики высушенных продуктов: равновесное влагосодержание как функция температуры и относительной влажности воздуха, химический потенциал и удельная изотермическая влагоемкость.

Рассчитаны коэффициенты в уравнении продолжительности сушки по методу Філоненко – Грішина для фруктово-ягодного сырья.

Разработаны методы расчета сушильной установки для сушки во взвешенном слое. Получена модель сушки плодов и ягод, основанная на принципе теории суперпозиции и влияния коэффициента активности воды на массоотдачу.

Приведены результаты компьютерного моделирования и оптимизации сушильной установки.

Установлено влияние режимных параметров на изменение химических и биохимических показателей. Значительное сокращение продолжительности сушки позволяет улучшить органолептические и биохимические показатели сушеного продукта при уменьшении затраты теплоты на процесс сушки.

В работе использовано нетрадиционное сырье для сушильной промышленности: айва, черная смородина, облепиха, арония, рябина красная, что позволяет расширить ассортимент сухофруктов, используя “местное” сырье, повысить качество сушеных продуктов и снизить себестоимость отечественной продукции.

Разработана научно-техническая документация на высушенные продукты и полученные продукты предложены к внедрению в пищевую промышленность.

**Ключевые слова:** сушка, взвешенный слой, кривые сушки, коэффициент массоотдачи, интенсификация, активность воды, фруктово-ягодное сырье.

#### ANNOTATION

Bakhmutyan N.V. Intensification of drying process of garden-stuffs and berries raw material in the layer hanging up. – Manuscript.

Dissertation on gaining of scientific degree of candidate of engineering sciences by specialty 05.18.12 – processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical productions.

Odessa national academy of food to technology of Department of education and science of Ukraine, Odessa, 2007.

The dissertation work is devoted to intensification of process of drying of fruit-berry raw material in the weighed layer, with the target of improvement of regime parameters of drying of garden-stuffs and berries.

The conducted complex of analytical and experimental researches confirmed possibility of substantial intensification of process of drying of fruit-berry raw material in the weighed layer.

The coefficients are calculated in equalization of duration of drying on the Filonenko - Grishin method for the fruit-berry raw material.

The results of computer design and optimization of drying installation are resulted.

The influence of regime parameters on the change of chemical and biochemical indexes is set. The considerable abbreviation of duration of drying allows to improve biochemical indexes of the dried product at reduction of expenditure of warmth on the process of drying.

In work untraditional raw material is used for the drying industry: quince, black-currant, sea-buckthorn, aroniya, the mountain ash is red, that allows to extend an assortment of garden-stuffs and berries raw material, using “local” raw material, to promote quality of the dried products and lower a home unit cost.

The scientific and technical documents is developed on the products.

**Keywords:** drying, weighed layer, crooked drying, intensification, activity of water, fruit-berry raw material.

Підписано до друку 20.09.2007 р. Формат 60×90/16. Об'єм 0,9 умовн. друк. арк.  
Замовлення № . Тираж 100 прим.

---

ОНАХТ, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039