

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ  
УКРАЇНИ

ПРАЦІ

Таврійської  
державної  
агротехнічної  
академії



Випуск 44

Наукове фахове видання



Мелітополь – 2006

УДК 621.86.067.2:621.565:664.8.037

## ВПЛИВ ВОЛОГОВІСТУ ПРОДУКТУ НА РЕЖИМИ ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ ФЛЮЇДИЗАЦІЙНОГО ШВИДКОМОРОЗИЛЬНОГО АПАРАТУ

Ломейко О. П., інженер\*

Таврійська державна агротехнічна академія

Тел. (0619) 42-13-06

**Анотація** - робота присвячена проблемі енерговитрати флюїдизаційного швидкоморозильного апарату та рекомендації щодо їх зниження за рахунок оптимізації режиму псевдозрідженого заморожування плодової, овочевої та шкваркової продукції з урахуванням вологовмісту продукту.

**Ключові слова** – флюїдизаційний апарат, енерговитрати, вологовміст, псевдозрідження, швидкість повітря.

**Постановка проблеми.** Ефективним шляхом збереження продукції і скорочення її втрат, а, отже, збільшення обсягу виробництва продовольчих ресурсів, є розширення виробництва швидкозаморожених продуктів, напівфабрикатів і готових блюд новою технологією швидкої або шокової заморозки. У порівнянні з іншими методами консервування харчових продуктів застосування холоду викликає мінімальні зміни їхньої живильної цінності, маси і органолептичних показників.

В умовах ринкової економіки в Україні доцільно переробляти рослинну продукцію безпосередньо на місцях її виробництва. Для заморожування плодів, овочів, ягід найбільш раціонально використовувати флюїдизаційні апарати. У той же час існуючі в сьогоднішній день флюїдизаційні апарати мають істотні енерговитрати, що стримує розвиток технології заморожування в сільськогосподарських переробних підприємствах.

**Аналіз останніх досліджень.** Загальні принципи підходу до вибору режимів охолодних систем, які забезпечують зменшення усушки продуктів, сформулювали Г.Б.Чижов і С.Г.Чуклін [1]. Дослідження в області заморожування м'ясої або подрібненої рослинної сировини у псевдозрідженому шарі проводили А.Финнін, А.М.Войтко, В.П.Чепурненко, Ю.А.Мирончук й ін. Згідно відомим даним, при розрахунку флюїдизаційного швидкоморозильного

\* Науковий керівник – к.т.н., доцент Стручасв М.І.

апарату заданої продуктивності необхідно визначити оптимальну швидкість повітря у вантажному відсіку апарату [2].

Оптимальну швидкість руху повітря у вантажному відсіку флюїдизаційного апарату визначають по формулі:

$$w_{opt} = 2,25 + 1,95 \times \lg G_{ed}, \quad (1)$$

де  $w_{opt}$  - оптимальна швидкість руху повітря у вантажному відсіку флюїдизаційного апарату, м/с;

$G_{ed}$  - маса одиничного продукту, г.

При цьому для стійкої роботи флюїдизаційного апарату повинна виконуватися умова [2]:

$$w'_{кр} < w_{opt} < w''_{кр}, \quad (2)$$

де  $w'_{кр}$  - початкова швидкість флюїдизації, м/с;

$w''_{кр}$  - критична швидкість флюїдизації або швидкість, при якій можливий винос частинок продукту з шару, м/с.

Згідно з результатами Ю.А.Мирончука досліджень режимів псевдозрідження з різним ступенем вологості поверхні плодової, ягідної і овочевої продукції округлої форми, початкова критична швидкість флюїдизації для сухих частинок [3]:

$$w'_{кр} = 0,147 \cdot w_{fly}, \quad (3)$$

для вологих частинок:

$$w'_{кр} = 1 + 0,147 \cdot w_{fly}, \quad (4)$$

де  $w_{fly}$  - швидкість витання продукту, м/с;

$$w_{fly} = 2 \cdot \sqrt{\frac{d \cdot (\rho_{pr} - \rho_a)}{3 \cdot \xi \cdot \rho_a}}, \quad (5)$$

де  $d$  - діаметр продукту, м;

$\rho_{pr}$  - густина продукту, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_a$  - масовий об'єм повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$\xi$  - коефіцієнт гідродинамічного опору.

Крім того, при проведенні експериментальних досліджень А.Фікіна, А.М.Войтко, Ю.А.Мирончука були зроблені допущення, що за короткий проміжок часу заморожування продукту волога виморожується тільки з його поверхні [3,4,5].

*Постановка завдання.* Основною метою досліджень було обґрунтування оптимальних режимів заморожування у псевдозрідженому шарі плодової, овочевої та ягідної продукції з урахуванням вологовмісту продукту, що дозволяє зменшити енерговитрати флюїдизаційного швидкоморозильного апарату.

*Основна частина.* Враховуючи, що вологість плодової, овочевої і ягідної продукції складає 75-85% (при цьому остаточно виморожується з продукту всього 3-4% вологи), а час заморожування 3-10 хвилин, можна припустити, що маса одиничного продукту  $G$ , в процесі заморожування змінюватиметься, тобто відбуватиметься усушка. Таким чином, підтримка постійної швидкості флюїдизації розрахованої по формулі (1) не є оптимальним режимом всього процесу, а дана швидкість оптимальна тільки для початкового періоду псевдозрідження. Підтримання швидкості флюїдизації постійною протягом всього процесу приводить до додаткових витрат електроенергії, а при збільшенні часу заморожування продукту неможливо досягти критичної швидкості флюїдизації, при якій можливі вилітати частинки продукту з шару, що суперечить умові (2).

Для визначення кількісних параметрів усушки, і перш за все маси вологи, що виморожується, використовується формула: [1]

$$dg = 0,622 \cdot \frac{\alpha}{\mu \cdot C_p} \cdot \frac{P_{cm} \cdot (t_{cm}(\delta)) - \varphi \cdot P_{нас}(t_{x1})}{P} \cdot S \cdot \frac{d\tau}{d\delta} \cdot d\delta, \quad (1)$$

де  $g$  - кількість вимороженої вологи, кг;

$\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м<sup>2</sup> К;

$\mu$  - коефіцієнт опору виморожуванню;

$C_p$  - теплоємність, кДж/кг К;

$P_{cm}(t_{cm}(\delta))$  - тиск біля стінки, Па;

$\varphi$  - відносна вологість повітря, частки;

$P_{нас}(t_{x1})$  - тиск насиченої водяної пари, Па;

$S$  - площа поверхні тіла, м<sup>2</sup>;

$\tau$  - час заморожування продукту, с;

$\delta$  - безрозмірна товщина промерзлого шару.

Температура стінки для плодів і ягід, які мають округлу форму [1]

$$t_{cm}(\delta) = t_{x1} + \frac{(t_{xp} - t_{x1}) \cdot (1 - \delta)}{1 - (Bi - 1) \cdot \delta}, \quad (2)$$

де  $t_{cm}(\delta)$  - температура стінки °С;

$t_{x1}$  - температура середовища °С;

$t_{xp}$  - криоскопічна температура °С;

$Bi$  - критерій Біо.

$$\frac{d\tau}{d\delta} = \frac{q \cdot \rho \cdot R^2}{t_{xp} - t_{x1}} \left[ \frac{1}{\lambda} + \left( \frac{1}{\alpha \cdot R} - \frac{1}{\lambda} \right) \cdot (1 - \delta) \right] \cdot (1 - \delta), \quad (3)$$

де  $q$  - кількість теплоти, що виділяється одиницею маси при заморожуванні, кДж/кг;

$\rho$  - густина продукту, кг/м<sup>3</sup>;

$R$  - характерний розмір, м;

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності, Вт/м К.

Тиск насиченої водяної пари можна знайти з формули Філоненко:

$$\ln p_{\text{нас}}(t_{x1}) = 23,7 - \frac{4110}{T - 35}, \quad (9)$$

де  $T$  - температура навколишнього середовища °С.

Підставивши (7), (8) і (9) у формулу (1) отримаємо диференціальне рівняння для визначення кількості води, що виморожується:

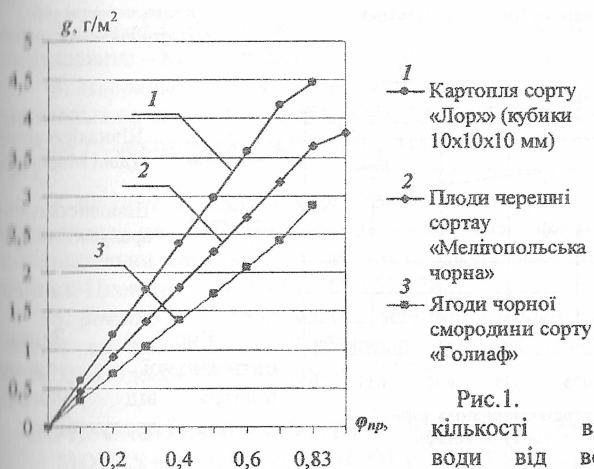


Рис. 1. Залежність кількості вимороженої води від вологовмісту рослинної продукції

$$dg = 0,622 \cdot \frac{\alpha}{\mu \cdot C_p} \cdot \frac{p_{\text{см}} \cdot t_{x1} + \frac{(t_{\text{кр}} - t_{x1}) \cdot (1 - \delta)}{1 - (Bi - 1) \cdot \delta}}{p} \cdot \varphi \cdot e^{23,7 - \frac{4110}{T - 35}} \times (10)$$

$$\times S \cdot \frac{q \cdot \rho \cdot R^2}{t_{\text{кр}} - t_{x1}} \left[ \frac{1}{\lambda} + \left( \frac{1}{\alpha \cdot R} - \frac{1}{\lambda} \right) \cdot (1 - \delta) \right] \cdot (1 - \delta) d\delta,$$

В результаті інтегрування чисельним методом диференціального рівняння (1) по  $\delta$  в межах від 0 до 1, визначені значення маси води, що виморожується, і отримані залежності усушки продукту від його вологовмісту при заморожуванні у невідзрізному шарі флюїдизаційного апарату (Рис.1).

Запропонована методика розрахунку маси вимороженої води при заморожуванні плодової, овочевої і ягідної продукції поєднує

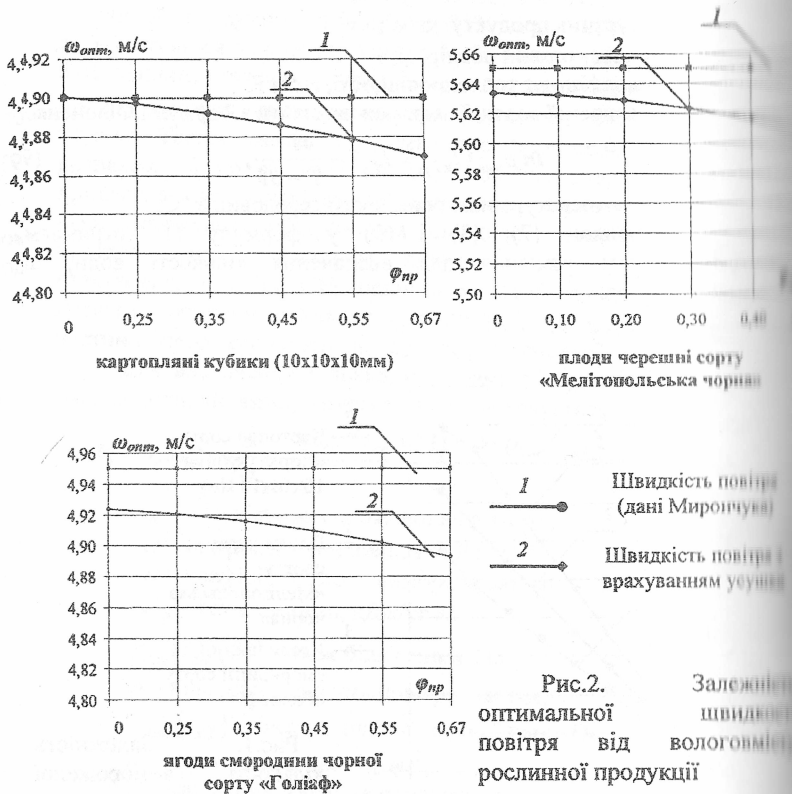


Рис.2. Залежність оптимальної швидкості повітря від вологовмісту рослинної продукції

чисельні методи рішення диференціальних рівнянь і бази даних вхідних параметрів, дозволяє отримати достовірні результати. Результати показують, що втрата маси істотна, що впливає на оптимальні параметри і режими псевдозрідження продукції. На підставі отриманої залежності (10) і з урахуванням формули (9) встановимо вплив вологовмісту продукту режим псевдозрідження при заморожуванні у флюїдизаційному швидкокоморозильному апараті (Рис.2).

Аналіз графіків показує, що швидкість повітря, необхідна для процесу флюїдизації в апараті, в результаті виморожування вологої продукції може бути зменшена, що дозволить знизити енергетичні витрати на привід відцентрових вентиляторів флюїдизаційного швидкокоморозильного апарату.

**Висновки.** Аналіз приведеної методики розрахунку оптимальної

швидкості руху повітря у вантажному відсіку флюїдизаційного апарату дозволяє зробити висновок, що вологовміст продукту має суттєвий вплив на режими псевдозрідження продукту при його заморожуванні у флюїдизаційному апараті, а швидкість флюїдизації повинна змінюватися по мірі виморожування вологи з продукції. Це дозволить зменшити енерговитрати на привід відцентрових вентиляторів морозильного апарату.

#### Література:

1. *Рогов И.А., Куцакова В.Е., Филлипова В.И., Фролов С.В.* Консервирование пищевых продуктов холодом. – М.: Колос, 1999. – 168 с.
2. *Голянд М.Д., Малеванный В.Н.* Холодильное технологическое оборудование – М.: Пищевая промышленность, 1977. – С. 92-268.
3. *Мирончук Ю.А.* Замораживание мелкоизмельченного растительного сырья в псевдоожигеном слое: Дис. канд. техн. наук: 05.04.03 / Одесский ин-т низкотемп. техники и энергетики. – 1993. – 155 с.
4. *Фикиин А., Кузманова Е., Банев Б.* Испаряване за влага при замразаване на плодове и зеленуци чрез флуидизация и в замразувателни камери // Труды ин-та Выssh. ин-т хранит. и вкус. пром-ст. Пловдив. - 1973. -№1.-С. 123-128.
5. *Войтко А.М.* Тепломассообмен при замораживании плодов и овощей во флюидизационных аппаратах.: Дис...канд. техн. наук: 05.04.03. – Одесса: ОИНТЭ, 1989. – 127 с.

## INFLUENCE OF CONTENTS OF PRODUCT MOISTURE ON MODES OF OPERATION OF QUICKFREEZING DEVICE

A. Lomejko

### Summary

Article is devoted to the problem of power consumption of fluidization quickfreezing device and recommendations of its decline due to optimization of the mode of the freezing of fruit, vegetable and berry products taking into account a of contents of product moisture.

## Зміст

<i>Берник П.С., Цуркан О.В., Герасимов О.О.</i> Оптимізація ресурсозберігаючої технології вібраційного сушіння високовологого насіння	3
<i>Ялпачик Ф.Ю., Тильний С.А., Олексійко В.О.</i> Теоретичні дослідження складного руху молотка кормодробарки з шарнірними закріпленням на роторі	14
<i>Арендаренко В.Н., Дубова Г.Є.</i> Виробництво фруктових паст, соусів і приправ з використанням солоду	19
<i>Богомолов А.В., Шаповаленко О.И., Денисенко С.А., Зинченко А.М., Мохир А.П., Сахаревич В.Д.</i> Элементы теории работы фрикционного сепаратора.	22
<i>Гвоздев В.О., Гвоздев О.В.</i> Метод функціонального опису технологічних систем переробних підприємств	29
<i>Ялпачик В.Ф., Буденко С.Ф., Тарасенко В.Г.</i> Дослідження змінень показників якості гарбуза в процесі заморожування та зберігання	35
<i>Кирпа М.Я., Черних С.А.</i> Напрямки розвитку технологій первинної обробки та зберігання зернової продукції	42
<i>Самойчук К.О.</i> Вплив відстані між соплами форсунок на параметри протитечійно-струменевого гомогенізатора молока	49
<i>Гвоздев В.О.</i> Методологічні основи дослідження процесу змішування сипких компонентів	54
<i>Фучаджи Н.О.</i> Визначення оптимальної схеми процесу виробництва круп з власнокруп'яних культур	59
<i>Кондратюк Д.Г., Гуменюк О.Ю.</i> Оцінка якості роботи машин для ворущіння, згрібання та перевертання скошених трав	64
<i>Больбатенко В.А., Вировець В.Г., Ляліна Н.П.</i> Стан коноплярства в Україні	69
<i>Колтунов В.А., Пузік Л.М., Вакуленко Л.М.</i> Збереженість дині, кабачків, огірків залежно від сортових особливостей та умов зберігання	74
<i>Колтунов В.А., Бородай В.В., Рябченко А.П.</i> Сучасний стан заготівлі і зберігання коренеплодів моркви в Україні	81
<i>Найченко В.М., Осокіна Н.М.</i> Дослідження природи вологоутримуючої здатності заморожених плодів чорної смородини	87
<i>Ялпачик Ф.Ю., Шпиганович Т.О.</i> Пошук	



- конструктивного рішення дробарки зерна прямого удару 96  
*Вербицький О.М., Калінський Є.О.* Інтенсифікація процесу переробки луб'яної сировини шляхом електромагнітного опромінювання 101  
*Ломейко О. П.* Вплив вологовмісту продукту на режими псевдозрідження флюїдизаційного швидкокоморозильного апарату 106  
*Клевцов К.Н.* Методика определения качественных характеристик лубяных культур 112  
*Тіхосова Г.А., Калінський Є.А., Рой О.О.* Фізико-хімічні основи мікробіологічного процесу одержання лляної трести розстилом 121  
*Кузьміна Т.О.* Дослідження впливу різних способів модифікації на структурні зміни лляного волокна 126  
*Степаненко Д.С.* Динаміка вмісту сахарів у плодах черешні сорту дачниця при зберіганні у електроіонізованому повітряному середовищі 134  
*В.А. Мунтян, Г.М. Галкина, С.В. Адамова.* Аналіз методів неразрушаючого контролю состояния биологических веществ, подвергшихся воздействию информационных электромагнитных полей 139  
*Синіцина А.С., Богданова О.Ф., Ляліна Н.П.* Оцінка якості селекційних сортів конопель для виробництва целюлозних матеріалів 147  
*Дідора В. Г., Орловський М. Й.* Агроекологічне обґрунтування та застосування комплексного добрива під цукрові буряки 151  
*Дідора В.Г., Дербон І. Ю.* Виробництво екологічно чистої льонопродукції в радіоактивно забрудненій зоні полісся України 156  
*Путінцева С. В., Богданова О.Ф.* Вивчення способів механічної обробки різних сортів льону-кучерявцю для одержання волокнистих напівфабрикатів 163  
*Кузьміна Т.О., Бабіч С.С.* Прогнозування якісних показників продуктів переробки лляного волокна статистичними методами 166  
*Войцешина Н.І., Колтунов В.А.* Вплив сорту картоплі на його збереженість та якість картоплепродуктів 175  
*Яцух О.В.* Холодильне зберігання яблук із застосуванням хлориду кальцію та поліетиленової плівки в умовах ар крим 181  
*Литовченко О.М., Токар А.Ю., Каричковський В.Д.* Інтенсивність бродіння сусел як показник контролю за