

РОЗРОБКА СУШАРКИ З ТЕРМОРАДІАЦІЙНИМ ЕНЕРГОПІДВЕДЕННЯМ

Малежик І.Ф., д-р техн. наук, професор,
Дубковецький І.В., канд. техн. наук, доцент,
Веселовська Т.Є.

Національний університет харчових технологій, м. Київ

Наведено результати досліджень зневоднення яблучних вичавок інфрачервоним випромінюванням.

Broughted results of the studies of the dehydration of the thin apple infrared radiation.

Ключові слова: терморадіаційне енергопідведення, інфрачервоне сушіння, яблучні вичавки.

Одним з основних і найбільш енергоємним технологічним процесом при переробці яблучних вичавок є їх сушіння. Традиційними методами теплової обробки все важче досягнути суттєвого прискорення виробничих процесів, оскільки можливості цих методів часто вичерпані. Прискорення процесу при радіаційному енергопідведенні досягається за рахунок інтенсифікації внутрішнього тепло- і масообміну, обумовленого проникненням інфрачервоних променів всередину продукту.

Інфрачервоне сушіння яблучних вичавок, як технологічний процес, основане на тому, що інфрачервоні випромінювачі з довжиною хвиль, що лежать у інтервалі від 2,0 мкм до 4,0 мкм, активно поглинаються водою яка міститься в вичавках, але не поглинається тканиною висушеного продукту (і матеріалами, з яких виготовлено обладнання сушарки), тому видалення вологи можливе при невисокій температурі (40...60 °С), що дозволяє практично повністю зберігати вітаміни, біологічно активні речовини, звичайний колір, смак і аромат яблучних вичавок. Сушіння харчових продуктів ІЧ-променями має переваги:

- можливість прискорити процес термообробки за рахунок збільшення потужності теплового потоку;
- розширення зони нагріву і випаровування за рахунок поглинання променевої енергії шаром матеріалу відповідної товщини;
- специфічний вплив радіації на матеріал в процесі обробки;
- порівняно легке регулювання інтенсивності теплового потоку;
- більш сприятливі санітарні умови.

На сьогоднішній день сушильне обладнання, що базується на використанні інфрачервоного випромінювання, представляють собою найбільш перспективний напрямок розвитку сушильної техніки. Саме інфрачервоне випромінювання, що застосовується в сушильному обладнанні є нешкідливе для навколишнього середовища і людей. На основі цього була створена експериментальна установка для сушіння яблучних вичавок з використанням нагріву ІЧ-променями.

Схема установки представлена на рисунку 1.

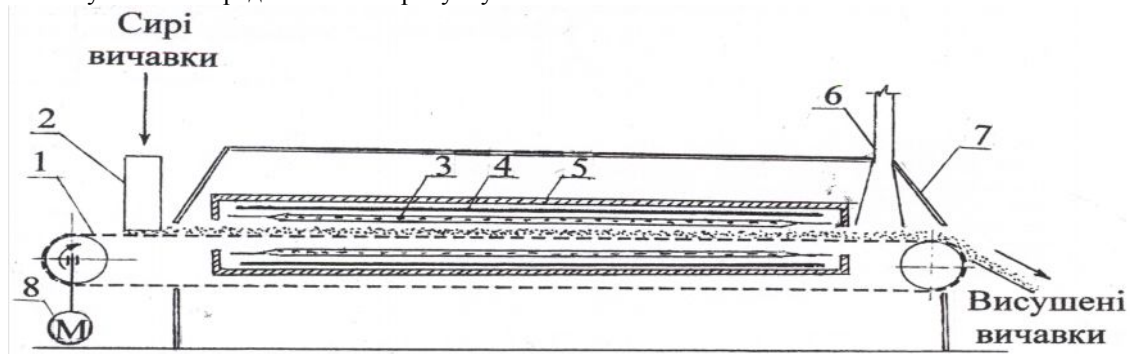


Рис. 1. Експериментальна сушарка з терморадіаційним енергопідведенням:

1 – сітчастий конвеєр; 2 – вирівнювач шару продукту; 3 – трубчасті змійовикові випромінювачі ТЕН 210Б 13/3,2 Т220; 4 – відбивачі ІЧ-променів; 5 – теплова ізоляція; 6 – витяжний пристрій; 7 – корпус; 8 – привод.

Свіжі сирі яблучні вичавки одразу з преса шнековим конвеєром подаються на висушування. Для забезпечення шару вичавок 10-13 мм завантажувальним пристроєм (2) здійснюється вирівнювання

© Малежик І.Ф., Дубковецький І.В., Веселовська Т.Є. 2008

вичавок по стрічці сушарки. Конвеєрна стрічка сушарки (1) складається з поперечних тонких прутків (дротин), з'єднаних кількома рядами повздовжніх швів із більш тонких кручених трійних тросиків. Матеріал стрічки мідно-нікелевий сплав, який не кородує і не притягається магнітом. Приводна станція складається з електродвигуна трьохфазного струму (220/380В) потужністю 0,8 кВт, який дає 920 об/хв. Двигун з'єднаний клинвою ремінною передачею з варіатором швидкості, шків якого виконує 350 об/хв. За допомогою варіатора можна плавно змінювати швидкість конвеєрної стрічки від 0,1 до 0,7 м/хв.

Для сушіння використовували трубчасті зміювикові випромінювачі-тени ТЭН 210Б 13/3,2 Т220 (3), закріплені в поперечних напрямках хомутами-клемами. Тени розміщені над і в середині конвеєрної стрічки, так, щоб забезпечити рівномірність опромінення продукту, оскільки поглинання випромінювання здійснюється в межах полоси поглинання продукту. Перших 4 м. терморадіаційної сушарки тени розміщені на відстані 0,1 м. один від одного, що відповідає першому періоду сушіння. Наступних два метра тени розміщені на відстані 0,2 м. один від одного, що відповідає другому періоду сушіння. Для покращення умов створення рівномірного опромінення над тенами встановлені відбивачі ІЧ-променів (4) з листів полірованого алюмінію і теплоізоляція (5). Випарена волога відводиться через витяжний пристрій (6).

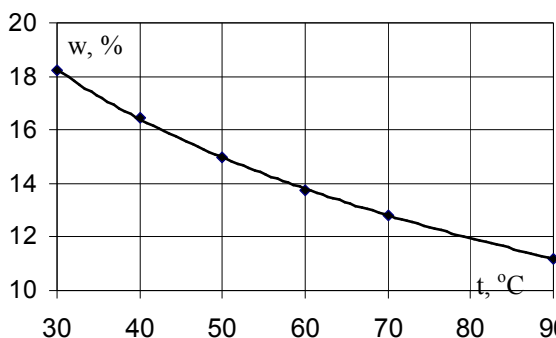


Рис. 2. Залежність вологості яблучних вичавок від температури теплоносія

Для зберігання порошку яблучних вичавок вирішальне значення має набути кінцева вологість. Вплив температури теплоносія на кінцеву вологість одержаного нами порошку наведено на рис. 2. Зволоження продукту більше 15% різко знижувало його якість: спостерігали залежування, комкування часток порошку, що призводило до труднощів при вигрузці готового продукту з терморадіаційної сушарки, а при зберіганні – до збільшення гігроскопічності.

Після апроксимації одержаних даних рівняння має вигляд:

$$w = -6,41 \cdot \ln(t) + 40 \quad (1),$$

СКВ складає $R^2 = 0,99$.

Залишкова вологість закваски після висушування наведена в табл. 1.

Таблиця 1.

Вологість сухої закваски при різних температурах висушування

	Температура висушування					
	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	90°C
Вологість сухої закваски, %	18,23	16,43	15	13,75	12,83	11,2

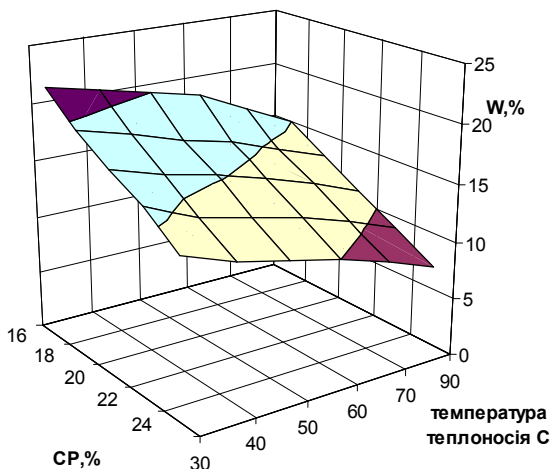


Рис. 3. Визначення кінцевої вологості яблучних вичавок в залежності від вмісту сухих речовин в діапазоні від 16...24% , і температурах теплоносія 30...90 °C.

Проведені дослідження по визначенню кінцевої вологості яблучних вичавок для різних сортів яблук, що мають різний вміст сухих речовин в діапазоні 16...24% і температурах теплоносія в діапазоні від 30 до 90 °C (рис. 3). Встановлено, що з зростанням вмісту сухих речовин на один відсоток перед сушінням кінцева вологість зменшується за лінійною залежністю в середньому на 1,05%. Встановлено, що з зростанням температури теплоносія кінцева вологість зменшується за лінійною залежністю в середньому на 0,11%.

Проведені дослідження по визначенню витрати енергії за одиницю часу яблучних вичавок, при тривалості сушіння в діапазоні 16...66 хвилин і температурах теплоносія в діапазоні від 30 до 90 °C (рис. 4).

Встановлено, що при збільшенні тривалості сушіння, що призводить до зменшення швидкості руху стрічки конвеєра терморадіаційної сушарки (табл. 2), витрати енергії за одиницю часу зменшуються в залежності від часу за степеневою залежністю і описуються рівняннями: при температурах: $30^{\circ}\text{C} - N = 95 \cdot \phi^{-0,45}$; $40^{\circ}\text{C} - N = 97 \cdot \phi^{-0,42}$; $50^{\circ}\text{C} - N = 114 \cdot \phi^{-0,42}$; $60^{\circ}\text{C} - N = 142 \cdot \phi^{-0,44}$; $70^{\circ}\text{C} - N = 159 \cdot \phi^{-0,42}$; $90^{\circ}\text{C} - N = 156 \cdot \phi^{0,34}$. СКВ складає $R^2 = 0,99$. Де N – витрати енергії, кВт; ϕ – тривалість сушіння, хв.

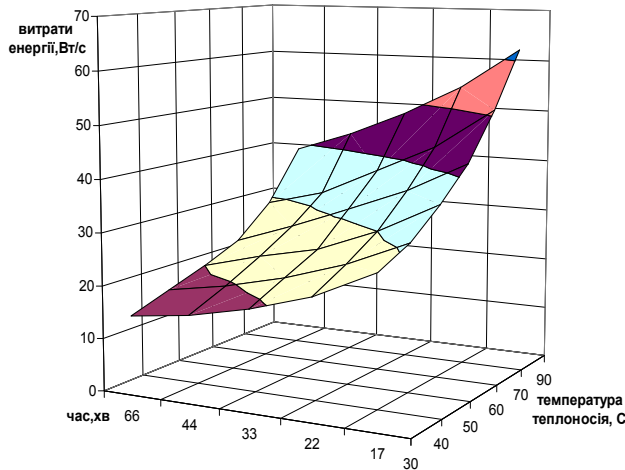


Рис. 4. Витрати енергії за одиницю часу в залежності від температури теплоносія і тривалості перебування яблучних вичавок в сушарці

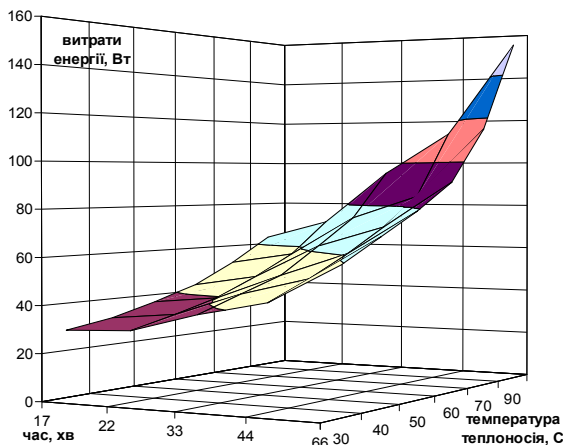


Рис. 5. Загальні витрати енергії в залежності від температури теплоносія і тривалості перебування яблучних вичавок в сушарці

результатами органолептичних і фізико-хімічних показників доцільно застосовувати вичавки висушені при температурі $50 \dots 60^{\circ}\text{C}$ і тривалості сушіння $33 \dots 35$ хв.

Якісні характеристики продукту залежать від товщини шару яблучних вичавок, що подаються на конвеєрну стрічку терморадіаційної сушарки.

Показано, що загальні витрати енергії збільшуються в залежності від температури за експоненціальною залежністю і описуються рівняннями: при товщині шару яблучних вичавок 5 мм – $N = 10,86 \cdot e^{0,015 \cdot t}$; 10 мм – $N = 11,9 \cdot e^{0,0159 \cdot t}$; 15 мм – $N = 14,5 \cdot e^{0,0157 \cdot t}$; 20 мм – $N = 19,5 \cdot e^{0,0154 \cdot t}$. СКВ складає $R^2 = 0,98$. Де d – товщина шару рідини. При збільшенні товщини шару вичавок на конвеєрній стрічці, витрати енергії збільшуються в залежності від часу за лінійною залежністю і описуються рівняннями: при температурах: $30^{\circ}\text{C} - N = 13,5 \cdot e^{0,039 \cdot d}$; $40^{\circ}\text{C} - N = 14,95 \cdot e^{0,042 \cdot d}$; $50^{\circ}\text{C} - N = 17,92 \cdot e^{0,039 \cdot d}$; $60^{\circ}\text{C} - N = 21,4 \cdot e^{0,0403 \cdot d}$; $70^{\circ}\text{C} - N = 25,9 \cdot e^{0,0409 \cdot d}$; $90^{\circ}\text{C} - N = 32,2 \cdot e^{0,041 \cdot d}$. СКВ складає $R^2 = 0,96$. Встановлено, що найдоцільніше висушування проводити при товщині шару вичавок 10 мм, оскільки при більшому шарі

Таблиця 2.

Тривалість сушіння при різній швидкості руху стрічки конвеєра терморадіаційної сушарки

	Швидкість руху				
	0,001	0,0015	0,002	0,003	0,004
Тривалість сушіння, хв	66	44	33	22	17

Витрати енергії за одиницю часу збільшуються в залежності від температури за експоненціальною залежністю і описуються рівняннями: при тривалості перебування яблучних вичавок $17 \text{ хв} - N = 18,22 \cdot e^{0,0139 \cdot t}$; $22 \text{ хв} - N = 14,39 \cdot e^{0,015 \cdot t}$; $33 \text{ хв} - N = 11,86 \cdot e^{0,0159 \cdot t}$; $44 \text{ хв} - N = 10,28 \cdot e^{0,016 \cdot t}$; $66 \text{ хв} - N = 9,11 \cdot e^{0,0161 \cdot t}$. СКВ складає $R^2 = 0,99$. Де t – температура теплоносія, $^{\circ}\text{C}$.

Для визначення техніко-економічних характеристик, крім витрат енергії за одиницю часу, необхідно знати енергію, що витрачається на процес сушіння вичавок. Загальні витрати енергії на процес сушіння знаходили як добуток витрат енергії за одиницю часу і часу перебування яблучних вичавок в терморадіаційній сушарці (рис. 5).

Встановлено, що загальні витрати енергії збільшуються в залежності від температури за експоненціальною залежністю і описуються рівняннями: при тривалості перебування яблучних вичавок $17 \text{ хв} - N = 18,6 \cdot e^{0,014 \cdot t}$; $22 \text{ хв} - N = 19 \cdot e^{0,015 \cdot t}$; $33 \text{ хв} - N = 23 \cdot e^{0,0159 \cdot t}$; $44 \text{ хв} - N = 27 \cdot e^{0,016 \cdot t}$; $66 \text{ хв} - N = 36 \cdot e^{0,0161 \cdot t}$. СКВ складає $R^2 = 0,99$. При збільшенні тривалості сушіння, витрати енергії збільшуються в залежності від часу за лінійною залежністю і описуються рівняннями: при температурах: $30^{\circ}\text{C} - N = 0,64 \cdot \phi + 16,5$; $40^{\circ}\text{C} - N = 0,78 \cdot \phi + 18$; $50^{\circ}\text{C} - N = 0,88 \cdot \phi + 21,2$; $60^{\circ}\text{C} - N = 0,99 \cdot \phi + 27$; $70^{\circ}\text{C} - N = 1,28 \cdot \phi + 28,8$; $90^{\circ}\text{C} - N = 1,87 \cdot \phi + 31,5$. СКВ складає $R^2 = 0,99$. За

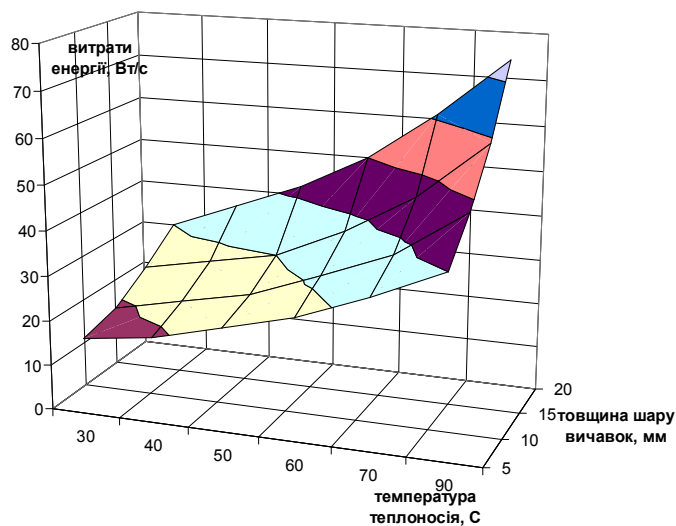


Рис. 6. Витрати енергії за одиницю часу в залежності від температури теплоносія і товщини шару яблучних вичавок.

різко зростають витрати енергії за рахунок збільшення температури теплоносія (рис. 6). Продукт отримали на поверхні обгорівшим, а в середині недосушеним. При меншому шарі, вичавки необхідно зневоднювати при низьких температурах теплоносія, що економічно не вигідно.

Висновки:

1. За рахунок використання ІЧ-енергії значно зросли кінетичні і якісні параметри сушіння;
2. Забезпечується високий відсоток знімання вологи, так як вичавки прогріваються в тонкому шарі по всьому об'єму;
3. Невелика тривалість сушіння;
4. Сушарка проста в експлуатації.
5. Результати мікробіологічного аналізу на загальну мікробіологічну обсіаність вичавок, сушених ІЧ-сушінням, вказують на значне її зменшення (в 500-600 разів).

Література.

1. Красников В.В. Кондуктивная сушка. – М.: Энергия, 1973. – 228 с.
2. Дослідження кінетики процесу інфрачервоного сушіння і зберігання порошку яблучних вичавок. / Малежик І.Ф., Дубковецький І.В., Веселовська Т.Є., Луцик Ю.П. // Наук. пр. ОНАХТ. – 2007. – № 31, том 2. – С. 67.
3. Спосіб зберігання яблучних вичавок. / Т.Є. Веселовська, І.Ф. Малежик, Л.О. Косоголова // Наук. пр. НУХТ. – 2002. – № 12. – С. 86.