

**УДК 66.047.79**

I.В. ДУБКОВЕЦЬКИЙ, канд. техн. наук

I.Ф. МАЛЕЖИК, д-р техн. наук

Т.Є. ВЕСЕЛОВСЬКА, канд. техн. наук

*Національний університет харчових технологій*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ШКУРОК І НАСІННЯ ЯБЛУЧНИХ ВИЧАВОК ІНФРАЧЕРВОНИМИ ПРОМЕНЯМИ**

*Наведено результати досліджень зневоднення шкурок і насіння яблучних вичавок інфрачервоним випромінюванням.*

**Ключові слова:** *сушіння шкурок і насіння, інфрачервоне сушіння, яблучні вичавки.*

Яблучні вичавки складають до 20 % при виробництві соків, що на більшості заводів є відходами виробництва. До складу яблучних вичавок входять: шкурки яблук; насінневі гнізда разом з насінням; м'якоть, яка включає в себе сухий залишок вуглеводів та мінеральних речовин і утворена деформованими тканинами рослинних клітин. Ця сукупність компонентів утворює систему, яка за структурою буде капілярно-пористим тілом, а за своєю природою є колоїдним.

Шкірка яблук, як елемент покривного шару плоду, є стійкою до механічних деформацій. В її склад у великій кількості входять епідермальні клітини з осмотично зв'язаною вологою, яка не є вільною водою, а являє собою розчин пектинових речовин. Наявність періоду сталої швидкості сушіння шкурок яблук пояснюється зміною виду механізму внутрішнього вологоперенесення, який, у свою чергу, пов'язаний із видом форми зв'язку вологи із твердим скелетом. Осмотично зв'язану вологу у покривному шарі плодів називають ще структурною вологою, оскільки вона входить до структури клітин. Цьому виду вологи відповідає мала енергія зв'язку з твердим скелетом.

Осмотично утримувана волога в процесі сушіння дифундує у вигляді рідини через стінки клітин завдяки різниці концентрації вологи всередині і зовні клітини. Дані продукти можна зневоднювати і використовувати в якості добавок для різних галузей харчового виробництва, зокрема для виробництва хліба. З енергетичної точки зору найбільш доцільним для сушіння шкурок і насіння яблучних вичавок є інфрачервоні випромінювання, що дозволяє збільшити термін зберігання та підвищити якість продуктів.

© І.В. Дубковецький, І.Ф. Малежик, Т.Є. Веселовська, 2011

Дослідження кінетики процесу ІЧ сушіння шкурок і насіння яблучних вичавок проводили на лабораторній установці, яка дозволяла вести одночасно автоматично запис витрати маси вологи та температури у шарах зразка.

Експериментальне вивчення кінетики процесу сушіння шкурок і насіння яблучних вичавок при вказаному енергопідведенні полягало у визначенні не тільки тривалості процесу, а і максимальної величини опроміненості  $E$ , яка у свою чергу визначає якість готової продукції. Отже, завдання досліджень зводилось до розробки оптимального режиму сушіння яблучних вичавок при ІЧ енергопідведенні.

У експериментальних дослідженнях витримували умови симетричного двостороннього підведення теплоти до об'єкту висушування при різних величинах (сумарної: зверху і знизу) опроміненості  $E$ :  $2080 \leq E \leq 3660 \text{ Вт/ м}^2$ .

В усій серії проведених дослідів початковий вологовміст  $W_{\text{п}}^{\text{с}}$  був однаковим і досягав  $W_{\text{п}}^{\text{с}} = 500 \%$ , що по вологості  $W$  відповідало  $W = 83,3 \%$ . Процес сушіння завершувався при досягненні зразком вологовмісту  $W_{\text{к}}^{\text{с}} = 12 \%$ , що відповідає кінцевому стандартному значенню сухого продукту.

Для сушіння відбиралася наважка зразка масою  $0,12 - 0,15 \text{ кг}$  і формувався шар товщиною  $0,01 \text{ м}$  на легкому сітчастому піддоні (розмір чарунки сітки  $1,5 \times 1,5 \text{ мм}$  із латунних дротин діаметром  $0,3 \text{ мм}$ ). Вимірювання температури здійснювалось за допомогою трьох мідь — константанових термопар по висоті шару зразка: у центрі і по  $1 \text{ мм}$  від верхньої та нижньої поверхонь шару зразка. Окремою четвертою термопарою вимірювалась

температура повітря у камері сушіння і вона була екранована від прямого попадання на неї ІЧ проміння.

На рис. 1 — представлені криві терморадіаційного сушіння шкурок і насіння яблучних вичавок при різних величинах опроміненості: 2080, 2600, 3200 Вт/м<sup>2</sup>.

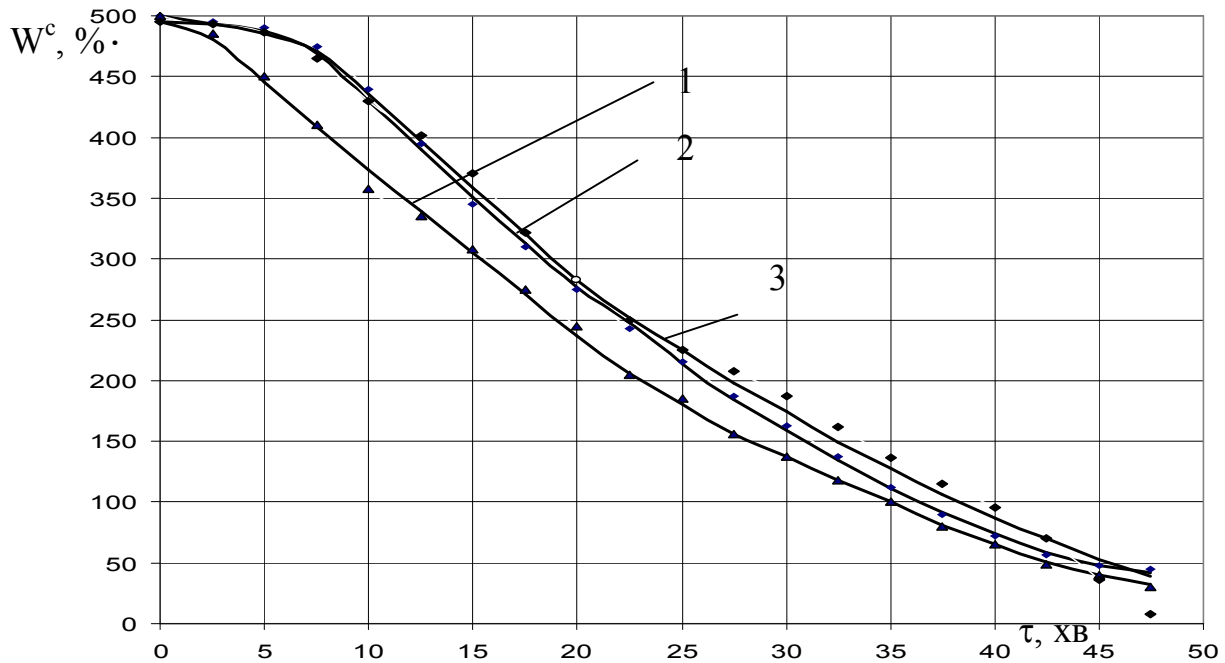


Рис. 1. Криві ІЧ сушіння шкурок і насіння яблучних вичавок при: 1 –  $E = 2080 \text{ Вт/м}^2$ ; 2 –  $2600 \text{ Вт/м}^2$ ; 3 —  $E = 3200 \text{ Вт/м}^2$ .

Криві сушіння характеризують зміну інтегрального вологовмісту  $W$  залежно від часу. Звідси видно, що із зростанням величини  $E$ , тривалість процесу сушіння скорочується на незначну величину для досягнення кінцевої величини вологовмісту  $W^c = 13,65 \%$ .

З рисунку спостерігається період прогріву вичавок протягом 2.5 хвилин. Період сталої швидкості сушіння спостерігається до першої критичної точки.

Апроксимуючи дані першого періоду сушіння, вивели рівняння, що підпорядковуються лінійному закону.

$$\text{Для } E = 2080 \text{ Вт/м}^2 \text{ } W = -15,09\tau + 579 \text{ при } R^2 = 0,991;$$

$$E = 2600 \text{ Вт/м}^2 \text{ } W = -13,69\tau + 512 \text{ при } R^2 = 0,993;$$

$$E = 3200 \text{ Вт/м}^2 \text{ } W = -13,795\tau + 565 \text{ при } R^2 = 0,99,$$

де  $W$  — вологовміст, %;  $\tau$  — час, хв;  $R^2$  — середньоквадратичне відхилення.

Апроксимуючи дані другого періоду сушіння, вивели рівняння, що підпорядковуються логарифмічному закону.

$$\text{Для } E = 2080 \text{ Вт/м}^2 \text{ } W = -282 \ln(\tau) + 1121 \text{ при } R^2 = 0,992;$$

$$E = 2600 \text{ Вт/м}^2 \text{ } W = -228,5 \ln(\tau) + 914 \text{ при } R^2 = 0,9945;$$

$$E = 3200 \text{ Вт/м}^2 \text{ } W = -316,5 \ln(\tau) + 1252,5 \text{ при } R^2 = 0,9744,$$

де  $W$  — вологовміст, %;  $\tau$  — час, хв;  $R^2$  — середньоквадратичне відхилення.

У серії дослідів і, зокрема, що показані на рис. 2, на кривих 1 простежується короткочасна стадія прогрівання об'єкта сушіння. Це пов'язано з тим, що процес сушіння починався не з моменту вмиканням ТЕНів а з часом їх виходу на режими, при яких досягаються відповідні величини опроміненості  $E$ .

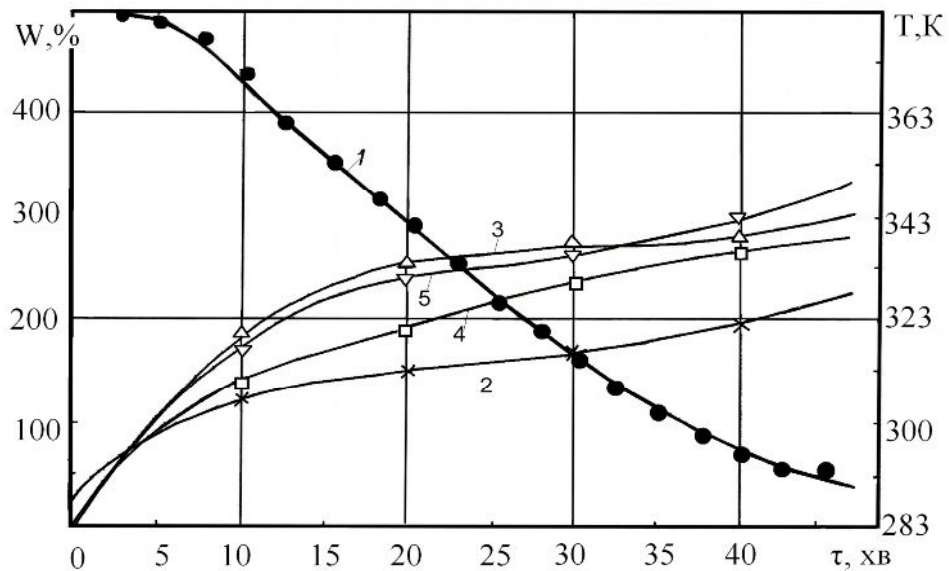


Рис. 2. Криві кінетики ІЧ сушіння шкурок і насіння яблучних вичавок при  $E = 2080 \text{ Вт/м}^2$ : 1 — крива сушіння; 2 — температура повітря у камері; 3, 5 — температура матеріалу на відстані 1 мм від поверхні, відповідно нижньої та верхньої; 4 — центр зразка.

За експериментальними даними кривих сушіння шкурок і насіння яблучних вичавок одержані криві швидкості сушіння,  $(dW^c/d\tau, \%/хв)$  які характеризують зміну вологості зразка за одиницю часу, в залежності від вологовмісту зразка у процесі сушіння. Для побудови кривих швидкості сушіння використаний метод графічного диференціювання кривої сушіння.

Досягаючи вологовмісту зразка  $W_{кр2}^c = 200\%$ , швидкість сушіння різко зменшується, хоча для цього моменту, як видно із кривих 1 і 2 (рис. 3), температура в шарі на відстані 1 мм від верхньої поверхні зразка досить висока. З цього моменту починається другий період сушіння (спадаючої швидкості сушіння), який за тривалістю часу перевищує перший період сушіння (період сталої швидкості сушіння). Під кінець другого періоду швидкість сушіння досягає мінімального значення  $(dW^c/d\tau) = 5,0\%$  при  $W_{кр3}^c = 120\%$ .

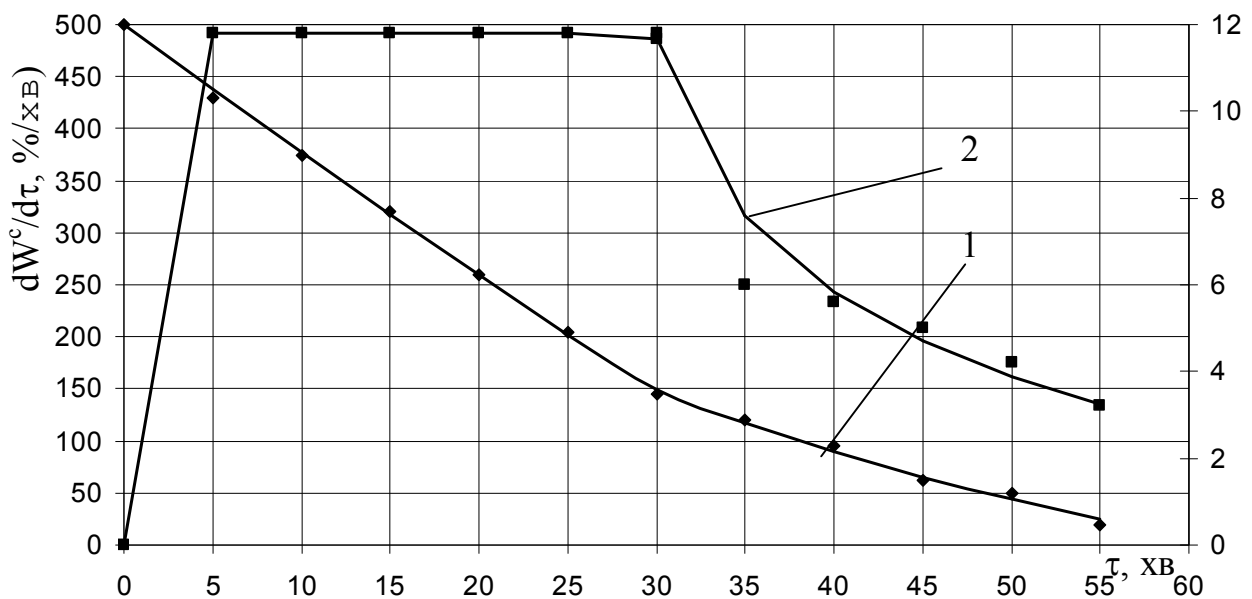


Рис. 3. Криві кінетики ІЧ сушіння шкірок яблучних вичавок при  $E = 3200 \text{ Вт/м}^2$ : 1 — крива сушіння; 2 — швидкості сушіння.

Причиною зменшення швидкості сушіння у інтервалі вологовмісту від  $W_1^c$  до  $W_2^c$ , ми вважаємо, є видалення вологи із мікропор та мікрокапілярів м'якоті. У чистому вигляді (без домішок насінневих гнізд, насіння і дуже дрібних яблучних шкірок) м'якоть являє собою тканини деформованих рослинних клітин. Останні утворюють розгалужену мережу мікропор та мікрокапілярів і володіють високою гідрофільністю. За рахунок цих факторів м'якоть вичавок яблук спроможна утримувати значно більше вологи, ніж у зразку із окремо взятих шкірок яблук. Таке твердження ґрунтується на порівнянні абсолютних значень швидкості сушіння у вказаному інтервалі  $W^c$  на рис.3. і пояснюється тим, що волога, яка залишилася, і яку ще необхідно видалити, пов'язана з м'якоттю найбільш міцно.

У кінці другого періоду сушіння у центральних шарах зразка м'якоті відбулася її деструкція (карамелізація цукрів, пектинових речовин та інших вуглеводів). Внаслідок цього м'якоть набула пастоподібний стан, для її висушування необхідно підводити більшу енергію за рахунок підвищення температури.

У процесі експериментального вивчення кінетики ІЧ сушіння шкурок і насіння яблучних вичавок нами виявлено, що при їх початковому вологовмісту  $W^c = 500 \%$ , величина ІЧ опроміненості не повинна перевищувати  $E = 3660 \text{ Вт/м}^2$ .

Незначне підвищення опроміненості до  $E = 4000 \text{ Вт/м}^2$ , як показали наші дослідження, спричиняє пригорання яблучних шкурок на поверхнях зразка. Очевидно, це пов'язано з тим, що при даній величині опроміненості  $E$  від самого початку процесу ІЧ сушіння вологий зразок інтенсивно нагрівається за рахунок підведеного потужного теплового потоку, а також сильного поглинання ІЧ випромінювання, враховуючи, що здійснюється двостороннє опромінення. За тривалістю часу пригорання зразка почало відбуватися на 23-й хвилині, а середній шар його залишався досить вологим. Температура верхнього шару зразка досягала  $121 \text{ }^\circ\text{C}$ . Отже, за одержаними дослідними результатами, вказане значення величини опроміненості  $E$  не може бути рекомендовано для практичного використання у процесі сушіння яблучних вичавок.

Шкурки яблучних вичавок, як і більшість харчових продуктів, є термолабільними матеріалами і чутливі до відносно високих температур. Їх термообробка при температурі, що перевищує  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ , призводить не тільки до карамелізації цукрів, а й термодеструкція інших компонентів, які містяться у яблуках.

Збільшення величини опроміненості від  $2080$  до  $3200 \text{ Вт/м}^2$  не дає бажаного ефекту за тривалістю процесу сушіння.

**Висновок.** Встановлено доцільність використання інфрачервоного сушіння шкурок і м'якоті яблучних вичавок.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Красников В.В. Кондуктивная сушка / Красников В.В. — М.: Энергия, 1973. — 228 с.
2. Спосіб зберігання яблучних вичавок / Т.Є. Веселовська, І.Ф. Малежик, Л.О. Косоголова // Наук. пр. НУХТ. — 2002. — № 12. — С. 86.

*Одержана редколегією 16.10.2011 р.*

И.В. Дубковецкий, И.Ф. Малежик, Т.Е. Веселовская,

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ КОЖУРЫ И СЕМЯН ЯБЛОЧНЫХ ВЫЖИМОК ИНФРАКРАСНЫМИ ЛУЧАМИ**

*Приведены результаты исследований обезвоживания кожуры и семян яблочных выжимок инфракрасным излучением.*

*Ключевые слова: сушка кожуры и семян, инфракрасная сушка, яблочные выжимки.*

I. Dubkovetsky, I. Malezhik, T. Veselovska,

### **RESEARCH OF THE PROCESS OF DRYING OF HIDES AND SEED OF APPLE SPUES BY INFRA-RED RAYS**

*The results of researches of dehydration of hides and seed of apple spues by infra-red rays are resulted.*

*Key words: drying of hides and seed, infra-red drying, apple spues.*