

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА ТА УМОВ ЗНЕВОДНЕННЯ НА КІНЕТИКУ ВОЛОГООБМІНУ¹

ГУСАРОВА Олена Віталіївна 

кандидат технічних наук, старший науковий співробітний
Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

ШАПАР Раїса Олексіївна 

кандидат технічних наук, старший науковий співробітний,
провідний науковий співробітний
Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

УКРАЇНА

Анотація: З метою інтенсифікації сушіння проведено дослідження по впливу швидкості та напрямку руху сушильного агента на процес конвективного зневоднення плодовоовочевої сировини до вологості не більше 6 %. Діапазон зміни швидкості сушильного агента - від 0,5 до 3 м/с. Дослідження показали, що на початковому етапі, під час видалення вільної вологи, швидкість руху доцільно підтримувати рівні 2...2,5 м/с, а далі знижувати до 1,5 м/с при підтримці температури матеріалу впродовж всього зневоднення, яка не перевищує гранично допустиму величину. Доведено, що такий розподіл параметрів сушильного агента у поєднанні з тепловими режимами забезпечує високу інтенсивність вологовіддачі та скорочення енерговитрат до 20 %.

ВСТУП.

Відомо, що на процес тепломасообміну під час зневоднення впливають параметри сушильного агента, такі як температура, швидкість і вологовміст, а також умови сушіння: форма, розміри, питоме навантаження матеріалу на сушильну поверхню та напрям руху потоку

¹ Ця робота опублікована повторно [без змін]. Першопублікація: Гусарова, О., & Шапар, Р. (2021). ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА ТА УМОВ ЗНЕВОДНЕННЯ НА КІНЕТИКУ ВОЛОГООБМІНУ. *Грааль Науки*, (1), 204-208. DOI 10.36074/grail-of-science.19.02.2021.041

У 2022 році пішла з життя видатна винахідниця, винахідник, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник, автор численних патентів – Шапар Раїса Олексіївна. Редакція видання висловлює щирі співчуття рідним і близьким з нагоди тяжкої втрати. Вічна пам'ять.

теплоносія стосовно об'єкту зневоднення. Встановлення оптимальних параметрів процесу сушіння ґрунтується на результатах теоретичних і експериментальних досліджень.

Під час сушіння плодоовочевої сировини, яка є термолабільним матеріалом, якість готового продукту безпосередньо пов'язана з тепловологісними параметрами зневоднення та його тривалістю [1,2].

У роботах [3–6] наведено результати досліджень процесу сушіння плодоовочевої сировини залежно від температури сушильного агента. Дослідження доводять, що підвищення температури з метою інтенсифікації процесу для термолабільної сировини, можливе лише до моменту досягнення матеріалом температури, яка не перевищує гранично допустиму величину. При використанні стадійних режимів на початку процесу сушіння, на стадії видалення вільної вологи, застосовують високу температуру сушильного агента, а при досягненні матеріалом гранично допустимої температури її знижують. Вибір теплового режиму залежить від хімічного складу та величини гранично допустимої температури конкретної сировини. Показано, що розроблені стадійні режими зневоднення підвищують інтенсивність процесу на 10...20 %, забезпечують скорочення енерговитрат за рахунок зменшення тривалості до 20 % та дозволяють отримувати якісний продукт з максимальним збереженням вітамінів, мінералів, корисних речовин, аромату та кольору вихідної сировини.

У представленій роботі розглянуто вплив швидкості та напрямку руху сушильного агента стосовно зневоднюваного матеріалу й інтенсивність підведення теплоти до поверхні матеріалу та відводу водяної пари.

Мета роботи – визначення оптимального діапазону швидкості сушильного агента під час зневоднення плодоовочевої сировини для підвищення інтенсифікації та економічності процесу.

Завдання дослідження – узагальнюючи результати власних теоретичних й експериментальних досліджень, обґрунтувати оптимальні параметри швидкості та напрямку руху сушильного агента під час конвективного сушіння як одного із методів інтенсифікації процесу вологообміну.

ОСНОВНА ЧАСТИНА.

Визначення впливу швидкості руху сушильного агента здійснювалось в діапазоні від 0,5 до 3 м/с з інтервалом зміни параметру

0,5 м/с в режимі стадійного зневоднення за температури 80...60 °С, вологовмісту – 10 г/кг сухого повітря. Дослідження з впливу напрямку руху сушильного агента на кінетику вологообміну проводились за температури 80 °С, швидкості руху – 2,0 м/с, вологовмісту – 10 г/кг сухого повітря. На підставі отриманих даних проводили порівняльний аналіз кінетичних і швидкісних закономірностей сушіння зневоднюваного матеріалу, характер яких властивий колоїдним капілярно-пористим матеріалам.

Результати експериментальних досліджень у вигляді кривих кінетики сушіння $W_c = f(\tau)$ та $dW_c/d\tau = f(W_c)$ (рис. 1 та 2) на прикладі одиничних зразків яблук завтовшки 3...4 мм, показують, що видалення вологи з матеріалу проходить тільки у другому періоді, збільшення швидкості руху сушильного агента в дослідженому інтервалі інтенсифікує процес вологообміну, підвищення швидкості до 3 м/с скорочує тривалість процесу в 3,2 рази порівняно з 0,5 м/с [7,8].

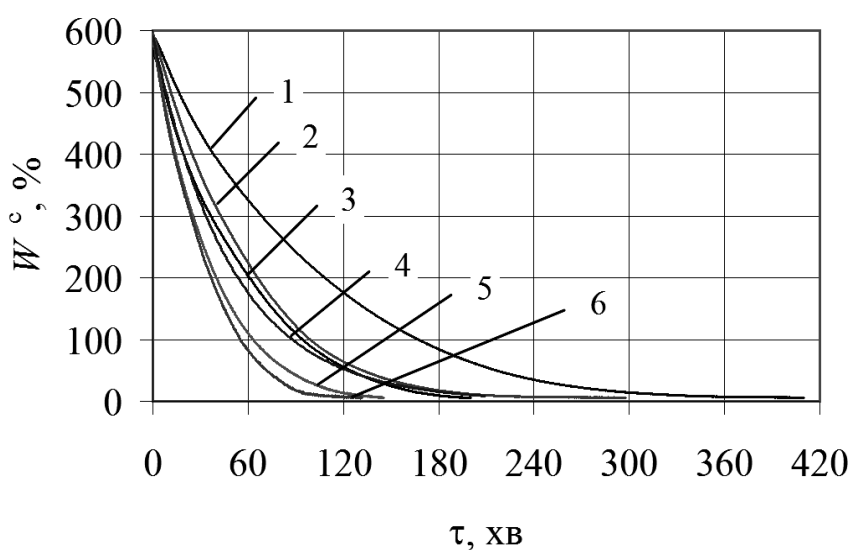


Рис. 1. Вплив швидкості руху сушильного агента на кінетику зневоднення яблук

$\delta = 3...4$ мм; $t = 80...60$ °С; $d = 10$ г/кг с.п. [7]: 1 – $V = 0,5$ м/с; 2 – $V = 1,0$ м/с; 3 – $V = 1,5$ м/с; 4 – $V = 2$ м/с; 5 – $V = 2,5$ м/с; 6 – $V = 3$ м/с.

Збільшення швидкості сушильного агента прискорює нагрівання матеріалу і його зневоднення. За умов підвищенні швидкості сушіння до 3 м/с і вище, температура матеріалу скоріше піднімається до гранично допустимого рівня, тобто зростання його температури випереджає вологовидалення.

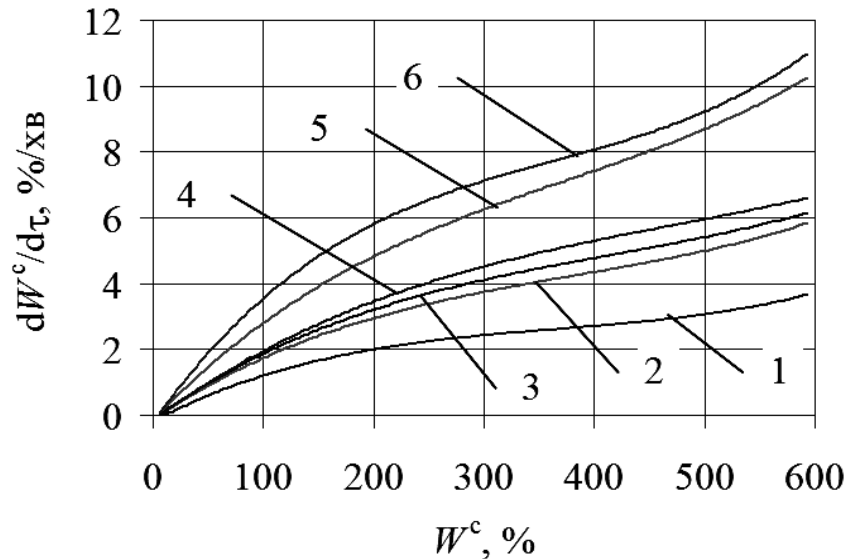


Рис. 2. Криві кінетики швидкості зневоднення
в координатах $dW^c/d\tau = f(W^c)$

$\delta = 3...4$ мм; $t = 80...60$ °С; $d = 10$ г/кг с.п.: 1 - $V = 0,5$ м/с;
2 - $V = 1,0$ м/с; 3 - $V = 1,5$ м/с; 4 - $V = 2$ м/с;
5 - $V = 2,5$ м/с; 6 - $V = 3$ м/с.

Зниження швидкості сушильного агента до 0,5 м/с призводить до суттєвого збільшення тривалості процесу зневоднення яблук до кінцевої вологості 6 %, а отже і енергетичної складової процесу, а також негативно позначається на органолептичних показниках готового продукту.

У міру видалення вологи з яблук вплив швидкості руху сушильного агента на процес зменшується, тому наприкінці зневоднення використовувати високу швидкість недоцільно.

Враховуючи, що збільшення величини швидкості призводить до зростання потужності вентиляційного обладнання сушильної установки, а також до винесення частинок підсушеного матеріалу поза зону зневоднення, швидкість руху сушильного агента має бути не більше 2,5 м/с.

Із аналізу кривих кінетики швидкості сушіння $dW^c/dt = f(W^c)$ (рис. 2), витікає, що тривалість зневоднення за таких швидкостей руху теплоносія скорочується на 45...65 %, швидкість видалення вологи вища в 1,5...2,5 рази ніж за швидкості 0,5 м/с [7,8]. Зазначена швидкість руху забезпечує необхідну інтенсивність зневоднення при невеликих енерговитратах.

На підставі отриманих результатів розроблено практичні

рекомендації відповідно до яких, на початковому етапі, під час видалення вільної вологи швидкість сушильного агента дорівнює 2...2,5 м/с, далі знижується до 1,5 м/с при підтримці температури матеріалу впродовж всього зневоднення не вище гранично допустимої величини. Такий розподіл швидкості сушильного агента забезпечує високу інтенсивність вологовіддачі, знижує тривалість процесу. Скорочення тривалості процесу тотожне зниженню енерговитрат на процес.

На рис. 3 наведено криві кінетики $W^c = f(\tau)$ і криві швидкості процесу сушіння $dW^c/d\tau = f(W^c)$ шару яблук залежно від розташування зразків у потоці сушильного агента, тобто: при русі теплоносія впоперек шару матеріалу (продувний шар) і вздовж зразку (обдувний шар). Питоме навантаження на сушильну поверхню в обох випадках однакове і дорівнює 20 кг/м².

Як видно з рис. 3, на кривих швидкостей сушіння чітко визначається період постійної швидкості, що завершується при досягненні матеріалом критичної вологості, яка для продувного шару становить $W_{кр}^c = 325\%$, для обдувного $W_{кр}^c = 305\%$.

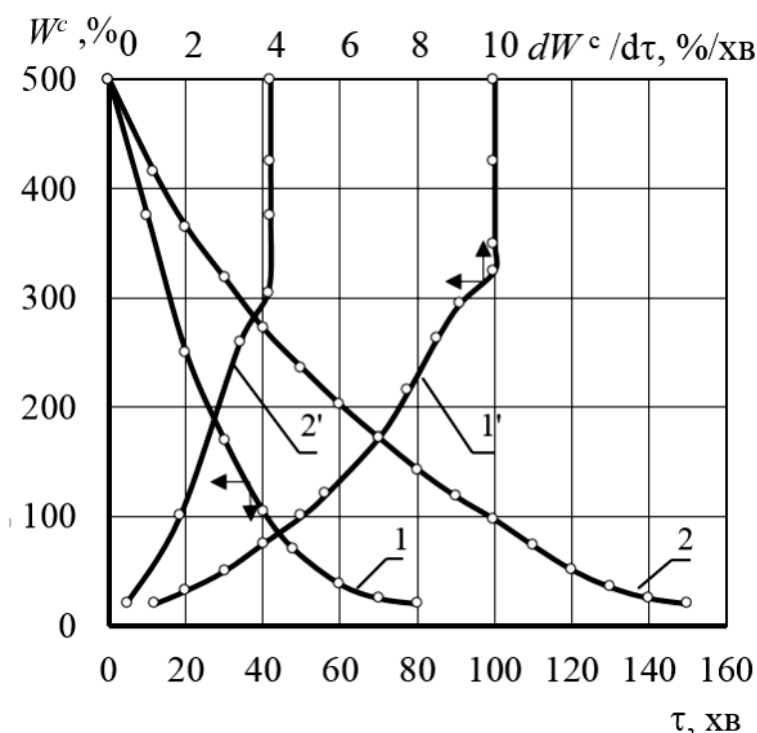


Рис. 3. Вплив напрямку руху сушильного агента на процес зневоднення яблук
 $t = 80\text{ }^\circ\text{C}; V = 2,0\text{ м/с}; d = 10\text{ г/кг с. п.}; g = 20\text{ кг/м}^2$ [9]:
1 - продувний шар; 2 - обдувний шар.

У першому періоді за умов продувного шару процес більш інтенсивний, максимальна швидкість зневоднення дорівнює 10,0 %/хв проти 4,2 %/хв у обдувному шарі. При цьому, тривалість процесу скорочується від 150 до 80 хв, а саме на 45 %. Далі зневоднення проходить із спадною швидкістю, поверхня випаровування переміщується всередину матеріалу [9].

Отже, порівняння швидкості процесу й тривалості зневоднення показує, що за рахунок організації сушіння зневоднюваного матеріалу у продувному шарі досягається інтенсифікація процесу та істотне скорочення тривалості сушіння, а отже, і економія енерговитрат. Використання продувного шару можливе на стрічкових сушильних установках, обдувного – на установках тунельного типу.

ВИСНОВКИ З ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Обґрунтування результатів експериментальних досліджень показали, що під час видалення вільної вологи швидкість сушильного агента доцільно підтримувати на рівні 2...2,5 м/с, а далі знижувати до 1,5 м/с при підтримці температури матеріалу впродовж всього зневоднення не вище гранично допустимої величини. Сушіння у продувному шарі інтенсифікує процес зневоднення порівняно з обдувним на 45 %.

Такий розподіл швидкості та напряму руху сушильного агента у поєднанні з тепловогісними режимами забезпечує високу інтенсивність вологовіддачі та скорочення енерговитрат до 20 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Лыков А.В. (1968). Теория сушки. Москва: Энергия, 1968, 472 с.
- [2] Сажин Б.С., Сажин В.Б. (1997). Научные основы техники сушки. Москва: Наука, 448 с.
- [3] Снежкин Ю.Ф., Шапарь Р.А. (2009). Особенности процесса сушки пектиносодержащих материалов. Промышленная теплотехника, 28 (3), с. 25 – 28.
- [4] Снежкин Ю.Ф., Шапар Р.О., Сорокова Н.М. & Гусарова О.В. (2015). Розробка технології виробництва нових форм сушених продуктів. Промышленная теплотехника, 37 (6), с. 29 – 37. DOI: <https://doi.org/10.31472/ihe.6.2015.04>
- [5] Шапар Р.О., Сорокова Н.М. & Гусарова О.В. (2020). Ресурсо- та енергозбереження у переробленні термолабільних рослинних матеріалів на сушені продукти. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, 31 (70), Ч. 2 (3), с. 79 – 84. DOI: <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.3-2/14>.

- [6] Шапар Р.О. & Гусарова О.В. (2018). Розробка енергоефективних режимів сушіння крохмалевмісної сировини. *ScienceRise*, (8), с. 36 – 41. DOI: <https://10.15587/2313-8416.2018.141156>.
- [7] Снежкін Ю.Ф. & Гусарова О.В. (2017). Обґрунтування режимів зневоднення яблук під час виробництва фруктових чипсів. Збірник наукових праць „Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі”, 2 (26), с. 55 – 63. DOI: [10.5281/zenodo.1108530](https://zenodo.org/record/1108530).
- [8] Шапар Р.О. & Гусарова О.В. (2017). Дослідження впливу швидкості сушильного агенту на процес зневоднення яблук. Хімічна технологія та інженерія: міжнародна науково-практична конференція. (Україна, Львів, 26 – 30 червня, 2017), Львів, с. 84.
- [9] Снежкін Ю.Ф. & Шапар Р.О. (2018). Тепломасообмінні технології переробки пектиновмісної сировини. Київ: Сік Груп Україна, 228 с.