

**14th International Specialized
Scientific and Practical Conference**

**Trends in LEAN food production
and packaging**

**14-а Міжнародна спеціалізована
науково-практична конференція**

**Тренди Lean-виробництва та
пакування харчових продуктів**

Київ 2025 Київ

Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine
Ministry of Education and Science of Ukraine
National University of Food Technologies
Institute of Food Resources of the National Academy
of Agricultural Sciences of Ukraine
AKKO International

**14th International Specialized
Scientific and Practical Conference**

**Trends in LEAN food production
and packaging**

Conference's title in 2012-20:
Resource and Energy Saving Technologies of Production and Packing of Food
Products as the Main Fundamentals of Their Competitiveness

**September 23, 2025
AKKO International Exhibition Centre
Kyiv, Ukraine**

Міністерство аграрної політики та продовольства України
Міністерство освіти і науки України
Національний університет харчових технологій
Інститут продовольчих ресурсів Національної академії аграрних
наук України
ТОВ «АККО Інтернешнл»

**14-а Міжнародна спеціалізована
науково-практична конференція**

**Тренди Lean-виробництва
та пакування харчових продуктів**

Назва конференції у 2012–20 р.:
Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової
продукції – основні засади її конкурентоздатності

23 вересня 2025 р
Виставковий центр «АССО International»
Київ, Україна

Trends in Lean Food Production and Packaging: Proceedings of the 14th International Specialized Scientific and Practical Conference, September 23, 2025. Kyiv, National University of Food Technologies, 2025.

ISBN 978-966-612-302-5 © NUFT, 2025

Тренди Lean-виробництва та пакування харчових продуктів: матеріали 14-ї Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції, 23 вересня 2025 р., Київ. – Київ, НУХТ, 2025. – 200 с.

ISBN 978-966-612-302-5© НУХТ, 2025

Визначення впливу потужності джерела НВЧ-енергії й глибини вакуумування на тривалість нагріву нвч-концентрування та НВЧ-сушіння суміші зелені пряних овочів

Бабанова О.І.

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Михайлов В.М., д.т.н., Прасол С.В., к.т.н., Шевченко А.О., к.т.н., Мальцева А.Є.

Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна

Вступ

За умов впливу підвищеної температури під час тепло-масообмінної обробки, наприклад під час концентрування, сушіння харчової сировини, відбуваються зміни її харчової та біологічної цінності. Для певних її різновидів, зокрема зелені пряних овочів, характерними недоліками також є втрати природних ароматичних та смакових властивостей, що негативно відбивається на споживних властивостях готової продукції [1]. До того ж, унаслідок значної тривалості вищезазначені процеси є досить енергозатратними. Враховуючи це, одним з важливих напрямів підвищення ефективності концентрування та сушіння харчової сировини, а також забезпечення її якості під час переробки є впровадження новітніх енерго- та ресурсозберігаючих процесів та прогресивного обладнання для їх реалізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій дозволив установити, що процеси концентрування та сушіння харчової сировини можна вважати ідентичними за своєю суттю, оскільки ними передбачається досягнення однакової мети – видалення вологи за рахунок теплового впливу, і різняться вони між собою досягненням різних кінцевих значень вологовмісту продукту. Використовуючи традиційні методи теплового впливу (конвективний, контактний), у поверхневих шарах продукту існує ймовірність локального перегрівання, внаслідок чого погіршується його якість. Цей недолік особливо властивий завершальній стадії процесу, коли швидкість видалення вологи істотно знижується внаслідок зменшення її концентрації та збільшення дифузійного опору зневодненого матеріалу [2].

До перспективних методів тепло-масообмінної обробки належить обробка в НВЧ-полі, за якої не лише прискорюється нагрівання продукту, але й значно інтенсивніше відбувається перенесення вологи з глибинних шарів до поверхні, суттєво скорочується тривалість процесу та відмічається більш високий рівень збереженості харчових речовин [3].

У малих харчових підприємствах, зокрема закладах ресторанного господарства, харчова продукція виробляється у невеликих обсягах, тому застосовується переважно універсальне малогабаритне обладнання, що здійснює чисельні технологічні операції. Проте для реалізації процесів концентрування та сушіння таке спеціалізоване обладнання, зокрема з використанням НВЧ-нагрівання, у вищевказаних підприємствах практично відсутнє. У той же час у закладах ресторанного господарства існує значна потреба у виготовленні широкого спектру концентрованих та сушених напівфабрикатів, наприклад супових заправок на основі рослинної сировини у вигляді концентратів та порошків тощо.

Аналізуючи закономірності процесів тепло-масоперенесення під час зневоднювання харчової сировини, слід вважати раціональним комбінування НВЧ-нагріву з вакуумуванням робочого середовища з точки зору зниження температури кипіння води в продукті й, відповідно, збереженості фізико-хімічних властивостей його складових компонентів. Але, незважаючи на об'ємний характер нагрівання під час НВЧ-обробки, зневоднювання продукту ускладнюється не лише за рахунок збільшення глибини вакууму, але й унаслідок високого дифузійного опору між частинками продукту, що вказує на доцільність організації постійного перемішування під час перебігу НВЧ-концентрування або НВЧ-сушіння за умов вакуумування.

Відповідно до робочої гіпотези, під час перемішування сировини, що обробляється в НВЧ-полі за умов вакуумування, збільшується проникна здатність НВЧ-енергії та зменшується дифузійний опір продукту, що сприятиме збільшенню швидкості вологовидалення та зміни маси за відносно невисоких значень температури та, відповідно, підвищенню ефективності використання НВЧ-енергії. У цьому випадку виникає необхідність у вивченні режимів концентрування та сушіння з використанням НВЧ-енергії за умов вакуумування та перемішування.

Матеріали і методи

Об’єктом досліджень є процеси НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння за умов вакуумування. Як предмет досліджень використовували суміш подрібненої зелені пряних овочів – петрушки, пастернаку, селери, кропу. Зміну маси зразка досліджували шляхом контрольного зважування за допомогою лабораторних ваг ВЛР1000. Фіксація зміни температури зразка здійснювалась термопарою за допомогою пірометричного мілівольметра Ш-4501. Вміст вологи визначали за допомогою рефрактометра та висушуванням до постійної маси.

Результати і обговорення

Початкова маса зразків складала 1 кг, а їх товщину обрано в межах 18–20 см, що відповідає раціональному значенню для НВЧ-обробки досліджуваної суміші [4]. Під час експерименту визначали температуру нагріву зразка до температури кипіння рідини, тривалість процесу концентрування в межах зміни вологості сировини від $\omega_{\text{п}}=85\%$ до $\omega_{\text{к}}=50\%$, а також сушіння попередньо сконцентрованої суміші в межах зміни вологості сировини від $\omega_{\text{п}}=50\%$ до $\omega_{\text{к}}=10\%$. При цьому на етапі концентрування втрати маси відповідали 70% від початкового значення, а на етапі висушування – 45%.

Результати досліджень тривалості нагріву зразка до температури кипіння рідини за заданих параметрів вакуумування й потужності нагріву, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Тривалість нагрівання зразка до постійної температури ($\tau \cdot 60^{-1}$, с)

Тиск P, кПа	Кінцева температура, °C	Потужність нагрівання, кВт			
		0,5	1,0	1,5	2,0
НВЧ-концентрування					
80	93	15,5±0,8	7,8±0,4	5,1±0,3	3,8±0,2
60	86	14,0±0,7	7,1±0,4	4,7±0,2	3,5±0,2
50	81	13,0±0,7	6,7±0,3	4,3±0,2	3,2±0,2
40	76	12,0±0,6	5,9±0,3	4,0±0,2	3,0±0,2
НВЧ-сушіння					
80	93	11,5±0,6	5,6±0,3	3,8±0,2	2,9±0,1
60	86	10,2±0,5	5,1±0,3	3,3±0,2	2,6±0,1
50	81	9,3±0,5	4,6±0,2	3,2±0,2	2,4±0,1
40	76	8,6±0,4	4,4±0,2	2,9±0,1	2,2±0,1

Із наведених даних виходить, що температура зразка внаслідок поглинання НВЧ-енергії зростає достатньо інтенсивно. За нестационарного режиму вакуум істотно знижує кінцеву температуру зразка – від 93°С при 80 кПа, до 76°С при 40 кПа.

Зі збільшенням потужності нагріву з 0,5 кВт до 2 кВт скорочується тривалість досягнення кінцевої температури під час НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння в 3,9–4,1 рази. Зокрема, при НВЧ-концентруванні тривалість даного етапу скорочується при 80 кПа – із 15,5 до 3,8 хв., при 60 кПа – із 14,0 до 3,5 хв., при 50 кПа – із 13,0 до 3,3 хв., при 40 кПа – із 8,6 до 2,2 хв. При НВЧ-сушінні тривалість етапу скорочується в таких межах: при 80 кПа – з 11,5 хв. до 2,9 хв., при 60 кПа – з 10,2 хв. до 2,6 хв., при 50 кПа – із 9,3 до 2,4 хв., при 40 кПа – із 8,6 до 2,2 хв.

Також слід відзначити, що зі збільшенням глибини вакуумування з 80 кПа до 40 кПа при НВЧ-концентруванні та НВЧ-сушінні скорочується тривалість досягнення вищевказаних значень температури в межах 21–25%. Так, наприклад, при потужності 0,5 кВт тривалість цього етапу при НВЧ-концентруванні знижується із 15,5 до 12,0 хв., при 1,0 кВт – із 7,8 до 5,9 хв., при 1,5 кВт – із 5,1 до 4,0 хв., при 2,0 кВт – із 3,8 до 3,0 хв. При НВЧ-сушінні відмічається зниження тривалості етапу в таких межах: при потужності 0,5 кВт – із 11,5 до 8,6 хв., при 1,0 кВт – із 5,6 до 4,4 хв., при 1,5 кВт – із 3,8 до 2,9 хв., при 2,0 кВт – із 2,9 до 2,2 хв.

Дані експериментальних досліджень щодо тривалості НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння суміші подрібненої зелені прямих овочів за різних значень потужності та глибини вакуумування наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Тривалість процесів НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння суміші подрібненої зелені прямих овочів

Тиск P, кПа	Потужність нагріву, кВт			
	0,5	1,0	1,5	2,0
тривалість НВЧ-концентрування $\tau \cdot 60^{-1}$, с ($\omega_n=85\%$, $\omega_k=50\%$)				
80	112±6	64±3	40±2	31±2
60	118±6	70±4	43±2	34±2
50	122±6	73±4	45±2	36±2
40	125±7	76±4	47±2	37±2
тривалість НВЧ-сушіння $\tau \cdot 60^{-1}$, с ($\omega_n=50\%$, $\omega_k=10\%$)				
40–80	70±4	40±2	27±1	19±1

Із наведених даних видно, що зі збільшенням потужності нагрівання в межах 0,5–2,0 кПа тривалість НВЧ-концентрування зменшується в 3,4–3,7 рази, а тривалість НВЧ-сушіння – у 4,1 рази. При цьому зі збільшенням глибини вакуумування в межах від 80 до 40 кПа тривалість НВЧ-концентрування збільшується в межах 12–19%, а НВЧ-сушіння практично не змінюється. Так, наприклад, тривалість НВЧ-концентрування за потужності 0,5 кВт у діапазоні глибини вакуумування 80–40 кПа дорівнює 112–125 хв, за потужності 2,0 кВт – 31–37 хв, а тривалість НВЧ-сушіння – 70 хв та 12 хв відповідно.

Дані про середню швидкість процесів НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння за потужності нагріву 1 кВт за різних значень глибини вакуумування наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Розрахункові дані середньої швидкості НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння суміші подрібненої зелені прямих овочів (P=1 кВт)

Глибина вакуумування, кПа	Швидкість зміни маси $(\Delta m/\Delta t) \cdot 10^3$, %/с	
	НВЧ-концентрування	НВЧ-сушіння
80	18,2	18,8
60	16,7	18,8
50	16,0	18,8
40	15,4	18,8

У випадку НВЧ-концентрування спостерігається несуттєве зменшення швидкості зміни маси при збільшенні глибини вакуумування, що зумовлено зниженням температурного режиму. Так, якщо при глибині вакуумування 80 кПа швидкість зміни маси складає $18,2 \cdot 10^{-3}\%/с$, то при 40 кПа – $15,4 \cdot 10^{-3}\%/с$. На етапі НВЧ-сушіння глибина вакуумування практично не впливає на середню швидкість процесу і складає $18,8 \cdot 10^{-3}\%/с$.

У ході досліджень спостерігали, що за умов вакуумування під час НВЧ-енергопідведення знижується ефект вологовіддачі й, відповідно, швидкість зміни маси зразка, що у першу чергу, очевидно, можна пояснити зниженням температури нагріву. Крім того, інтенсивність видалення вологи також залежить від процесів внутрішнього вологоперенесення. Вихід вологи у вигляді рідини та пари спричиняє структура продукту, яка під час зневоднювання постійно змінюється. Тому наступним етапом досліджень є визначення тривалості процесів НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння суміші подрібненої зелені прямих овочів під час одночасного перемішування, що забезпечує руйнування утворюваної структури (табл. 4).

Таблиця 4

Тривалість процесів НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння суміші подрібненої зелені прямих овочів під час перемішування

Потужність нагріву, кВт	Тривалість процесу (під час вакуумування 80–40 кПа)	
	НВЧ-концентрування $\tau \cdot 60^{-1}$, с ($\omega_n=85\%$, $\omega_k=50\%$)	НВЧ-сушіння $\tau \cdot 60^{-1}$, с ($\omega_n=50\%$, $\omega_k=10\%$)
0,5	88±4	52±3
1,0	52±3	30±2
1,5	32±2	21±1
2,0	25±1	14±1

Проведені дослідження з використанням постійного перемішування під час НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння не дозволили виявити розбіжностей результатів залежно від глибини вакуумування та показали, що ефект скорочення тривалості процесів на етапі НВЧ-концентрування знаходиться в межах 28–32%, а на етапі НВЧ-сушіння – у межах 22–26%, що пояснюється як підвищенням ефективності використання НВЧ-енергії внаслідок безперервної подачі нових порцій продукту в зону її впливу, так і зменшенням дифузійного опору частинок при руйнуванні утворюваної структури зневоднюваного продукту під час перемішування.

Висновки

Під час нестационарного режиму НВЧ-нагріву в межах глибини вакуумування 80–40 кПа кінцеве значення температури знижується в межах від 93 до 76 °С. Тривалість досягнення кінцевої температури під час НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння суміші подрібненої зелені прямих овочів скорочується зі збільшенням потужності нагріву з 0,5 до 2 кВт – у 3,9–4,1 рази, а зі збільшенням глибини вакуумування з 80 до 40 кПа – в межах 21–25%. Зі збільшенням потужності нагріву в межах 0,5–2,0 кВт тривалість НВЧ-концентрування зменшується у 3,4–3,7 рази, а тривалість НВЧ-сушіння – у 4,1 рази. Зі збільшенням глибини вакуумування в межах від 80 до 40 кПа тривалість НВЧ-концентрування збільшується в межах 12–19%, а НВЧ-сушіння практично не змінюється. У випадку НВЧ-концентрування спостерігається несуттєве зменшення швидкості зміни маси при збільшенні глибини вакуумування, а на етапі НВЧ-сушіння глибина вакуумування практично не впливає на середню швидкість процесу. Визначено, що в разі організації механічного перемішування сировини тривалість НВЧ-концентрування скорочується у межах 28–32%, а НВЧ-сушіння – в межах 22–26%. Цими результатами підтверджено вірогідність робочої гіпотези щодо збільшення швидкості вологовидалення і зміни маси при застосуванні перемішування сировини під час її обробки в НВЧ-полі за умов вакуумування. Із точки зору

збереженості фізико-хімічних властивостей сировини найбільш раціональним є залишковий тиск 40–60 кПа, за якого процес зневоднювання здійснюється в температурному інтервалі 76–86°C, що має сприяти несуттєвим змінам фізико-хімічних властивостей сировини.

Література

1. Льовщина, Л. Д. Товарознавство плодовоовочевих товарів, пряно-ароматичних рослин та прянощів : навчальний посібник / Л.Д. Льовщина, В.М. Михайлов, О. В. М'ячиков. К. : Ліра. К., 2010. 388с.
2. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник / О.І. Черевко, А. М. Поперечний. Х. : ХДУХТ, 2002. 420 с.
3. Черевко О. І. Переробка дикорослої та пряно-ароматичної рослинної сировини / О. І.Черевко, Ю. І. Єфремов, В. М. Михайлов. ХДУХТ, 2007. 229 с.
4. Потапов В. О. Визначення глибини проникнення електромагнітного поля та раціональної товщини шару подрібнених прямих овочів для НВЧ-обробки / В. О. Потапов, С. В. Михайлова. Харків : ХІМЕСХ, 2012. Вип. 131. с. 80–87.