

**В.О. Потапов**, д-р техн. наук, проф. (ХДУХТ, Харків)

**С.В. Михайлова**, асист. (ХДУХТ, Харків)

**Є.С. Щена** (ХДУХТ, Харків)

**ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ  
КОНЦЕНТРУВАННЯ ТА СУШІННЯ СУМІШЕЙ  
ПОДРІБНЕНИХ ПРЯНИХ ОВОЧІВ  
ПРИ НВЧ-НАГРІВІ ЗА УМОВ ВАКУУМУВАННЯ**

Корені та зелень пряних овочів (петрушки, пастернаку, селери, кріпу) широко застосовують в технологіях виробництва широкого асортименту харчової продукції як цінну сировину з високим вмістом вітамінів С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, каротину, а також ефірних олій, що зумовлюють характерний запах. Одним з найбільш значимих недоліків, що притаманні процесам переробки цієї сировини, є суттєві енерговитрати та втрати цінних компонентів на стадії тепло- і масообмінної обробки (під час варення, концентрування, сушіння тощо). Це підтверджує актуальність досліджень, спрямованих на удосконалення процесів тепло- і масообмінної обробки шляхом цілеспрямованого регулювання визначальних чинників з метою підвищення показників енергоефективності та створення більш безпечних умов для збереження фізико-хімічних властивостей.

Метою досліджень є формулювання рекомендацій щодо підвищення енергоефективності концентрування і сушіння, та якості продукції на основі сумішей подрібнених пряних овочів при застосуванні НВЧ-нагріву.

Досягнення вищезазначеної мети вимагало проведення низки теоретичних та експериментальних досліджень. В основу розробки методологічних принципів підвищення енергоефективності мікрохвильової обробки харчових напівфабрикатів покладено систематизацію наукової інформації відносно генерування електромагнітної енергії, її перенесення та перетворення в теплову, що дозволило розробити принципову схему системного взаємозв'язку визначальних чинників при НВЧ-нагріві, яка дозволяє розширити уявлення про можливі варіанти вдосконалення процесу НВЧ-обробки з метою забезпечення його інтенсифікації та енергоефективності, й отримання продукції високої якості з урахуванням зміни властивостей сировини під час нагріву.

Доведено, що для забезпечення ефективної роботи НВЧ-генератора і отримання продукції високої якості необхідно встановлювати раціональні значення потужності з урахуванням зміни напруженості

електромагнітного поля, яку можна регулювати шляхом змінення потужності НВЧ-генератора та площі поверхні продукту, які визначають потужність внутрішніх джерел теплоти, і, відповідно, інтенсивність тепло- та масообмінних процесів для досягнення заданої якості готового продукту. Для підвищення ефективності застосування НВЧ-енергії необхідно узгоджувати вплив зовнішніх чинників – частоти електромагнітних коливань, вихідної потужності та площі поверхні продукту, з чинниками внутрішнього характеру – діелектричними та теплофізичними характеристиками продукту, глибиною проникнення електромагнітних хвиль.

Проведено розрахунок тривалості процесів НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння при різних значеннях енергетичних чинників (питомої потужності, напруженості електричного поля) та глибини вакуумування робочого середовища. Визначено несуттєвий вплив збільшення глибини вакуумування на тривалість досліджуваних процесів. При цьому висунуто припущення про можливе скорочення тривалості досліджуваних процесів при організації перемішування сировини, що дозволить зменшити опір для виходу утвореної пари у зовнішнє середовище. Шляхом математичного моделювання досліджено кінетику зміни об'єму різноманітних за реологічними властивостями харчових систем - паст, пюре, соусів та порошоків в процесі перемішування, що дозволяє визначати тривалість перемішування до постійного значення об'єму.

Важливим етапом роботи є визначення діелектричних та теплофізичних властивостей сумішей подрібнених коренів та зелені прямих овочів в залежності від насипної щільності, температури та вологості. Визначено, що зменшення насипної щільності та вологості приводить до зниженню діелектричних характеристик, що зумовлено збільшенням порожнеч між частинками. В різних температурних діапазонах зміна діелектричних характеристик відзначається нестабільністю. Коефіцієнт теплопровідності та питома теплоємність мають тенденцію до збільшення при зростанні температури, та зменшення зі зниженням вологості та насипної щільності.

З використанням даних про діелектричні та теплофізичні властивості здійснено розрахунок коефіцієнту швидкості діелектричного нагрівання, глибини проникнення електромагнітного поля та раціонального шару продукту при застосуванні НВЧ-нагріву. Визначено, що коефіцієнт швидкості діелектричного нагрівання суттєво зменшується зі зниженням вологості та незначно зменшується з підвищенням температури. Діапазон глибини проникнення електромагнітного поля залежить від насипної щільності, вологості та

температури продукту і знаходиться в межах  $(2,8-10,8) \cdot 10^{-2}$  м для суміші подрібнених коренів прямих овочів та  $(19-52) \cdot 10^{-2}$  м для суміші подрібненої зелені прямих овочів.

Встановлено, що з метою ефективного використання НВЧ-енергії раціональні значення товщини шару продукту мають складати в середньому 67-79 % від глибини проникнення електромагнітного поля для суміші подрібнених коренів прямих овочів –  $(2,2-7,9) \cdot 10^{-2}$  м, та 42-67 % для суміші подрібненої зелені прямих овочів –  $(13-22) \cdot 10^{-2}$  м. Доведено доцільність коригування питомої потужності в процесі сушіння на підставі отриманих даних про збільшення раціональної товщини продукту в 1,7-2,0 рази при досягненні вологості 40-50 %.

Розрахунковим методом визначено, що напруженість електромагнітного поля можна регулювати шляхом змінення потужності НВЧ-генератора та площі поверхні продукту, які визначають потужність внутрішніх джерел теплоти, й, відповідно, інтенсивність тепло- та масообмінних процесів для досягнення заданої якості готового продукту.

Для забезпечення ефективності застосування НВЧ-енергії необхідно узгоджувати вплив зовнішніх чинників – частоти електромагнітних коливань, вихідної потужності та площі поверхні продукту, з чинниками внутрішнього характеру – глибиною проникнення електромагнітних хвиль та теплофізичними характеристиками продукту.

Шляхом експериментальних досліджень кінетики маси та вологовмісту під час НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння визначено, що збільшення глибини вакуумування сприяє суттєвому зниженню температурного режиму, але практично не впливає на тривалість процесів. В той же час, забезпечення одночасного перемішування сировини дозволяє скоротити тривалість процесів в межах 20-30 %. Встановлено діапазон раціонального значення глибини вакуумування –  $(0,4-0,6) \cdot 10^5$  Па, за якого температура концентрування та сушіння дорівнюватиме 76-86°C, що дозволить більш повно зберегти харчову та біологічну цінність сировини.

Практичними результатами виконаної роботи є розробка чотирьох принципових технологічних схем виробництва продукції на основі сумішей подрібнених коренів та зелені прямих овочів - пасти, порошкоподібного напівфабрикату, гострого соусу та супу-пюре, а також апаратурного оформлення процесу НВЧ-нагріву за умов вакуумування та перемішування. Загальною відрізняючою ознакою для отримання вищевказаної продукції є здійснення тепло- і масообмінної обробки шляхом НВЧ-нагріву за умов вакуумування. У

запропонованому для реалізації цього процесу вакуумному апараті НВЧ-нагріву передбачено можливість змінювати глибину вакууму в робочій камері та проводити процес концентрування та сушіння при одночасному перемішуванні. Отримана продукція відрізняється високим ступенем збереженості харчової цінності продукту та оригінальними органолептичними властивостями, зокрема запахом і смаком.

Таким чином, в результаті проведених досліджень сформульовано деякі рекомендації щодо підвищення енергоефективності мікрохвильової обробки та якості готової продукції. З огляду на несуттєвий вплив зміни температури на глибину проникнення НВЧ-енергії, з метою збереження фізико-хімічних властивостей пряних овочів раціональним є проведення тепло-масообмінної обробки при глибині вакуумування  $(0,4-0,6) \cdot 10^5$  Па, за якого температура концентрування та сушіння дорівнюватиме  $76-86^\circ\text{C}$ , при значеннях товщини шару  $(2,2-7,9) \cdot 10^{-2}$  м для суміші подрібнених коренів пряних овочів та  $(13-22) \cdot 10^{-2}$  м для суміші подрібненої зелені пряних овочів. Питома потужність НВЧ-нагріву для заданого шару продукту має бути відкоригована при досягненні продуктом вологості 40-50 % з урахуванням збільшення раціональної товщини продукту в 1,7-2,0 рази. Збільшувати товщину шару продукту при НВЧ-обробці доцільно при організації його примусового перемішування, що дозволить штучно зменшувати насипну щільність, забезпечити постійну подачу нових порцій продукту до зони впливу НВЧ-енергії та зменшити опір для видалення пари, результатом чого є скорочення тривалості процесів в межах 20-30 %.