

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 664.8.047

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.6.1/37>

Дмитренко Н.В.

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

Гусарова О.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

ВПЛИВ НВЧ-ОБРОБКИ НА ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПАРЕНХІМНИХ ТКАНИН ЯБЛУК, КОНВЕКТИВНЕ СУШІННЯ ТА ОРГАНОЛЕПТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ЧИПСІВ

У статті розглянуто вплив технічних параметрів НВЧ-обробки на приведену питому теплоту випаровування води з тканин яблука, конвективне сушіння, коефіцієнт набухання, відновлюваність та органолептичні показники чипсів. За останні роки стали популярними дослідження присвячені використанню НВЧ-хвиль в технологіях сушіння рослин, зокрема яблук. Нові способи обробки викликають значний інтерес, а використання в технологіях сушіння електромагнітних хвиль високої (ВЧ) і надвисокої частоти (НВЧ) вважається перспективним.

Метою статті є визначення впливу попередньої НВЧ-обробки на теплоту випаровування вологи з паренхімних тканин яблук, технологічні параметри процесу конвективного сушіння та якість одержаних чипсів.

Як об'єкт досліджень було використано яблука сорту «Ренет Симиренко». Потужність впливу НВЧ-хвиль варіювали в діапазоні від 400 до 800 Вт, а час – в діапазоні 15...30 с. Процес сушіння яблук досліджували на експериментальному конвективному сушильному стенді при швидкості сушильного агента 1,5 м/с, вологовмісті 7 г/кг сухого повітря, при ступеневому режимі зневоднення 80...60 °С.

Після НВЧ-обробки спостерігається суттєве підвищення витрат теплоти на випаровування (на 8...16% по відношенню до теплоти випаровування чистої води), що свідчить як про зміну водоутримуючої здатності рослинної тканини, так і про видалення всієї вільної води з сировини ще на стадії НВЧ-обробки через різке послаблення гідратних зв'язків. Поєднання попередньої НВЧ-обробки нарізаних скибок яблук з подальшим двохстадійним конвективним сушінням зменшило загальну тривалість процесу на 14%, що тотожне зменшенню енергетичних витрат на процес. Короткочасна НВЧ-обробка вирівняла та стабілізувала колір паренхімних тканин яблук: підготовлені до сушіння скибки та готові чипси не окислювались протягом значного часу. Відбулося суттєве підвищення відновлюваності яблучних чипсів (до 96,7% проти 64,7% для необроблених). Одержані чипси набули вираженого смаку, легкої ламкості та ніжного хрускоту.

Ключові слова: НВЧ-обробка, теплофізичні властивості, конвективне сушіння, відновлюваність, чипси з яблук, енергоефективність.

Постановка проблеми. В останні роки в харчовій промисловості та ресторанному господарстві набули широкого використання фруктові чипси, як самостійний продукт і для приготування різноманітних страв. Основним завданням їх одержання стало створення теплотехнологій, які б дозволяли отримати продукт з низькою залишковою вологістю (6...8%) при мінімальних витратах енергії та часу. Для підвищення ефективності процесу сушіння та якості продукту

використовують різні способи, зокрема попередню обробку сировини перед сушінням, бо певні фактори впливу здатні викликати зміни у складі та внутрішній морфологічній структурі рослинних тканин. Це відбивається на стані води в тканинах, кінетиці сушіння та змінах у витратах енергії на їх зневоднення.

Перед сушінням більшість рослинної сировини попередньо механічно обробляють: миють, чистять, подрібнюють. Вже при цьому відбува-

ються складні фізичні, фізико-хімічні, структурні та біохімічні процеси, які змінюють природні та технологічні властивості продуктів.

Наприклад, при очищенні та подрібненні картоплі, деяких овочів і фруктів спостерігається їхнє потемніння на повітрі, викликане окисненням тиразину. Тому, використовують їх додаткову попередню обробку парою, гарячим повітрям, гарячою або киплячою водою, водними розчинами органічних кислот, лугів, харчових речовин (розсоли, сиропи) [1, 2].

Останнім часом використовують також обробку інфрачервоним промінням (ІЧ), струмами високої (ВЧ) та надвисокої частоти (НВЧ) [1-3].

За останні роки відбулось значне за об'ємом патентування та публікування статей присвячених використанню НВЧ-хвиль в технологіях сушіння рослин, зокрема яблук [3-7]. Проте, публікацій присвячених дослідженню впливу НВЧ випромінювання на теплофізичні властивості рослинних тканин та технологічні параметри їх сушіння досить мало.

Нові способи обробки викликають значний інтерес, а використання в технологіях сушіння електромагнітних хвиль високої (ВЧ) і надвисокої частоти (НВЧ) вважається перспективним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Особливості впливу мікрохвиль на рослинні матеріали. Попередня обробка є необхідною умовою руйнування окислювальних ферментів з метою запобігання псування продукту в процесі зневоднення та зберігання, збереження його кольору, смаку, запаху, вітамінної активності. Часто вона сприяє більш швидкій міграції води всередину рослинної тканини і пришвидшенню процесу сушіння [1, 2].

Вид та технологічні параметри операцій додаткового впливу на сировину визначаються поставленою практичною задачею. Неякісно проведені технологічні операції можуть призвести до одержання продукту, що різко відрізняється від вихідного матеріалу за смаковими якостями та біологічною цінністю.

Можливість застосування електромагнітного опромінення при сушінні вологої сировини обумовлена електромагнітною природою будь-якої речовини та пов'язана з впливом електромагнітних хвиль на її фізичні характеристики: теплоємність, теплопровідність, електропровідність, діелектричну, магнітну та оптичну проникність. У речовині відбуваються зміни в стані електричних зарядів, які призводять до зміни фізичних і хімічних характеристик матеріалу. Довжина

електромагнітних хвиль обумовлює характер перетворень, а їх квантова енергія – можливість перетворень. Взаємозв'язок довжини електромагнітних хвиль та енергії квантів встановлює рівняння Планка.

Найбільш простий та старий метод впливу на рослинну сировину електромагнітним опроміненням – використання енергії сонячних променів. Зокрема для сушіння трави на сіно. Але цей метод залежить від погодних умов та пов'язаний з великими втратами поживних речовин рослин через ферментативні процеси.

Основою класифікації сучасних електрофізичних методів впливу на рослинну сировину є частота коливань застосованих електромагнітних хвиль: інфрачервоні, високі та надвисокі. Сировина, піддана опроміненню електромагнітними хвилями високих (ВЧ) та надвисоких (НВЧ) частотних діапазонів, завдяки глибокому проникненню таких променів в матеріал, нагрівається зсередини: в ній зростає інтенсивність теплового руху атомів і молекул. При цьому, важливою характеристикою матеріалу є його здатність до поглинання випромінювання.

Здатність хімічно різних матеріалів до поглинання електромагнітних хвиль різна, бо різні сполуки мають максимуми поглинання в різних частотних діапазонах. Наявність таких максимумів дозволяє так підбирати довжину хвиль електромагнітного опромінення, щоб забезпечити необхідний прогрів матеріалу та розкладання саме тих сполук, що треба. Наявність резонансного впливу електромагнітних хвиль на міжмолекулярні зв'язки, частоти коливань яких співпадають чи є кратними частоті хвиль опромінення, уможливує ініціацію процесів хімічних перетворень. А застосування електромагнітних хвиль, які краще поглинаються певною сполукою, сприяє кращому її збереженню.

Проведені у 1958 році О. Кришером [8] дослідження коефіцієнтів відбивання R і поглинання A електромагнітного випромінювання вологими рослинами показали, що їх коефіцієнт поглинання має значення $\sim 35\%$ у видимій області спектру, а потім зростає, досягаючи максимального значення при довжині хвиль 3 мкм.

До особливостей НВЧ-впливу на рослинні матеріали, які полегшують їх сушіння, треба віднести: здатність проникати на значну глибину всередину матеріалу, незалежність тривалості нагрівання до необхідної температури від об'єму і форми об'єкта сушіння, відсутність безпосереднього контакту поверхні матеріалу з теплоносієм,

великий ККД перетворення енергії в теплоту всередині об'єкту сушіння [1, 2]. Крім того, відбувається інтенсифікація сушіння, бо всередині виникає спрямований в одному напрямку градієнт тиску вологи та пари, і перенос вологи відбувається зразу у всьому об'ємі тіла. Також, є можливість плавно регулювати температуру матеріалу при сушінні, змінюючи напругу ВЧ та НВЧ полів [3].

Найбільша ефективність застосування впливу ВЧ і НВЧ полів досягається в технологіях передпосівної підготовки насіння зернових, лікарських та овочевих культур [9, 10]. При використанні НВЧ-опромінення відбувається повне знезараження сухофруктів від спор видів *Mucor*, *Penicillium*, *Phomopsis* і загального мікробного забруднення [2].

Використання НВЧ-апаратів скорочує в 3...10 разів тривалість необхідного теплового впливу на сировину. Овочі швидко пом'якшуються, але не встигають відбутися помітні зміни в їх основних речовинах, що визначає належні органолептичні показники кінцевого продукту. При цьому, існує взаємозв'язок між ступенем етерифікації полігалактуронових кислот клітинних стінок рослинних тканин та необхідною тривалістю НВЧ-обробки: чим вищий ступень етерифікації, тим довша повинна бути тривалість впливу [11].

При попередній обробці овочів в НВЧ-апаратах втрати розчинних речовин практично не відбуваються, а збереженість вітаміну С зростає на 20...25% порівняно з обробкою парою, що обумовлено відносно швидким їх прогрівом [12].

Під впливом НВЧ-енергії відбувається максимально повне вивільнення рослинних ефірних олив (до 99,5%) та розчинних солей. Завдяки виникненню всередині тканин надлишкового тиску парів води, вони «виштовхують» ці речовини з клітин на поверхню, що полегшує їх екстрагування [13].

Як видно з літературного огляду, розглянуті способи обробки викликають значний інтерес, набувають широкого використання для різних цілей, зокрема для попередньої обробки фруктів та овочів перед сушінням і дослідження у цьому напрямку необхідно розширювати.

Метою статті є визначення впливу попередньої НВЧ-обробки на теплоту випаровування вологи з паренхімних тканин яблук, технологічні параметри процесу конвективного сушіння та якість одержаних чипсів.

Матеріали та методи. Для проведення досліджень було вибрано яблука сорту «Ренет Сими-

ренко». Яблука попередньо мили і нарізали тонкими (~4 мм) скибками, видаляючи насінневу камеру. Підготовлені зразки піддавали НВЧ-впливу всередині побутової НВЧ-печі Panasonic. Потужність впливу варіювали в діапазоні від 400 до 800 Вт, а час – в діапазоні 15...30 с, щоб підібрати параметрів впливу, які б дозволили інтенсифікувати процес сушіння, але не призводили до зниження смакових якостей та біологічної цінності кінцевого продукту. За допомогою термопар сліdkували, щоб температура зразків під час обробки не перевищувала 60 °С, бо її перевищення призводить до руйнування тканин яблука.

Для визначення впливу НВЧ-обробки на значення питомої теплоти випаровування вологи з паренхімних тканин яблука було застосовано диференціальний мікрокалориметр випаровування ДМКИ-01, розроблений в Інституті технічної теплофізики НАН України [14]. Принцип його дії засновано на синхронному вимірі зміни маси вологого матеріалу та кількості теплоти, що витрачена на його зневоднення під час ізотермічного конвективно-кондуктивного сушіння всередині теплового блоку. Для збору та обробки дослідних даних було використано персональний комп'ютер з відповідним програмним забезпеченням.

Для вивчення впливу НВЧ-обробки на тепло-масообмінні процеси при сушінні яблук на чипси було використано конвективний сушильний стенд Інституту [15]. Підготовлені та НВЧ-оброблені скибки яблук розміщували на сітчастий піддон розміром 100×50×4 мм, який закріплювали на штанзі терезів всередині сушильної камери. Для заміру зміни температури матеріалу під час сушіння всередину зразків поміщали термопару. Для збору дослідних даних було використано персональний комп'ютер з відповідним програмним забезпеченням.

Одним із критеріїв оцінки якості сушених продуктів є їх властивість до набухання та відновлювання. Для дослідження якості кінцевого продукту визначали коефіцієнт набухання та відновлюваність отриманих чипсів по методиці Б. В. Зозулевича.

Виклад основного матеріалу

1. Дослідження впливу технічних параметрів НВЧ-обробки на теплоту випаровування вологи з паренхімних тканин яблука

За дослідними даними, отриманими за допомогою ДМКИ-01, було розраховано зміну питомих витрат теплоти на випаровування під час сушіння необроблених та НВЧ-оброблених зразків паренхімних тканин яблука (рис. 1).

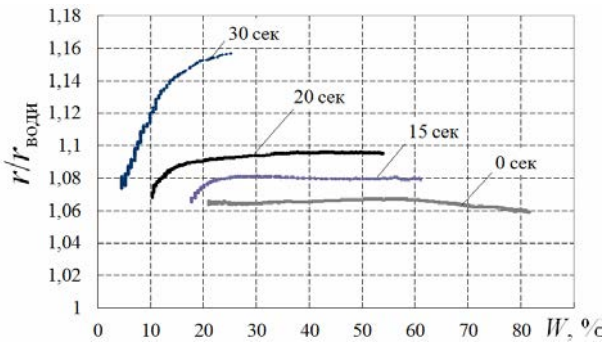


Рис. 1. Зміна приведеної питомої теплоти випаровування води з тканин яблука в залежності від їх відносної вологості під час конвективно-кондуктивного сушіння та часу НВЧ-обробки потужністю 800 Вт ($t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v = 0,8\text{ м/с}$, $d = 6\text{ г/кг}$ сухого повітря)

Джерело: власні дослідження

Результати досліджень свідчать про суттєвий вплив попередньої НВЧ-обробки на стан тканин яблука. Фізико-хімічні зміни, які відбулися в них, призвели до суттєвого підвищення витрат теплоти на випаровування, причому витрати тим більші, чим довше було опромінювання. Це могло відбуватися як через зміну водоутримуючої здатності рослинної тканини, так і через видалення всієї вільної води з сировини ще на стадії процесу попередньої НВЧ-обробки. Суттєве підвищення теплоти випаровування після НВЧ-обробки може ускладнити та сповільнити процес сушіння, але суттєве зменшення початкової вологості тканин (від 82 до 62...25% відн.) повинно зменшити час їх подальшого конвективного сушіння.

Кінцевий результат впливу НВЧ-обробки на тривалість сушіння досить суперечливий, тому було здійснено його перевірку на сушильному експериментальному стенді.

Те, що попередня НВЧ-обробка дала можливість досушити тканини яблука до більш низької кінцевої вологості (17...5% відн. проти 20% для необроблених) при тих же умовах сушіння означає, що рівноважна вологість знизилась і для інших температур. Це свідчить про позитивний вплив НВЧ-обробки на пом'якшення умов подальшого зберігання готових чипсів.

Різка зниження теплоти випаровування наприкінці процесу сушіння НВЧ-оброблених тканин яблука (тим більше, чим триваліша обробка) відбулося через накладання на ендотермічний процес випаровування певного екзотермічного процесу, найвірогідніше – процесу кристалізації цукрів при значному зневодненні тканин. Це припущення підтверджує появу легкої ламкості та ніжного хрускоту у виготовлених за такою технологією чипсах. Такого явища ніколи раніше

в дослідженнях теплоти випаровування води з необроблених яблук не спостерігалось [16, 17].

На підґрунті аналізу цих досліджень, потужність НВЧ-опромінювання зразків у 800 Вт та тривалість у ~20...25 с були визнані найбільш адекватними для попередньої НВЧ-обробки паренхімних тканин яблука. При таких параметрах НВЧ-опромінення тканини вже встигають трохи підсушитися, але ще не відбувається значного підвищення питомої теплоти випаровування води з них [18, 19].

2. Дослідження впливу попередньої НВЧ-обробки на інтенсифікацію процесу конвективного сушіння паренхімних тканин яблука

Порівняння витрат часу на конвективне сушіння паренхімних тканин яблук без обробки та попередньо НВЧ-оброблених проводили при швидкості сушильного агента (повітря) $v = 1,5\text{ м/с}$ та його вологості $d = 7\text{ г/кг}$ с.п. при ступеневому режимі зміни температури сушіння з $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ на початковому етапі до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, коли температура зразка всередині наближувалась до критичної позначки у $55\text{...}58\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2).

Оскільки після попередньої НВЧ-обробки знизилась початкова вологість тканин яблука і збільшилась питома теплота випаровування з них води (рис. 1), швидкість їх прогрівання під час конвективного сушіння теж знизилась (рис. 2). Це призвело до позитивного ефекту полегшення контролю процесу прогрівання матеріалу та дозволило виключити випадкове перегрівання продукту і погіршення його якості через підгрівання при температурі $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

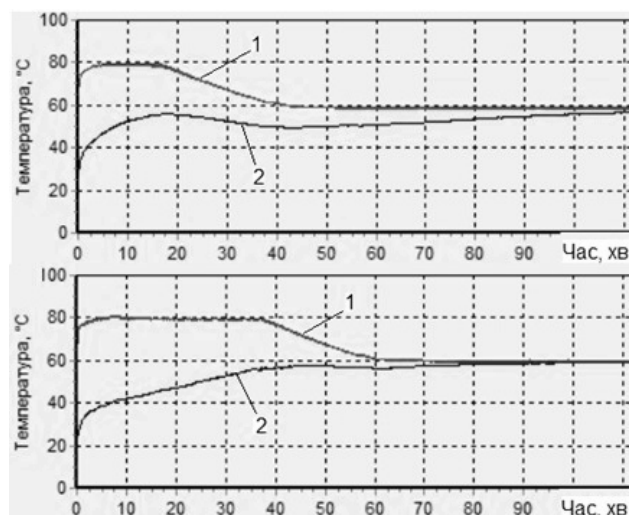


Рис. 2. Зміна температури сушильного агента (1) та температури всередині зразків (2) для необроблених (а) та НВЧ-оброблених (б) паренхімних тканин яблука під час сушіння на конвективному сушильному стенді

Джерело: власні дослідження

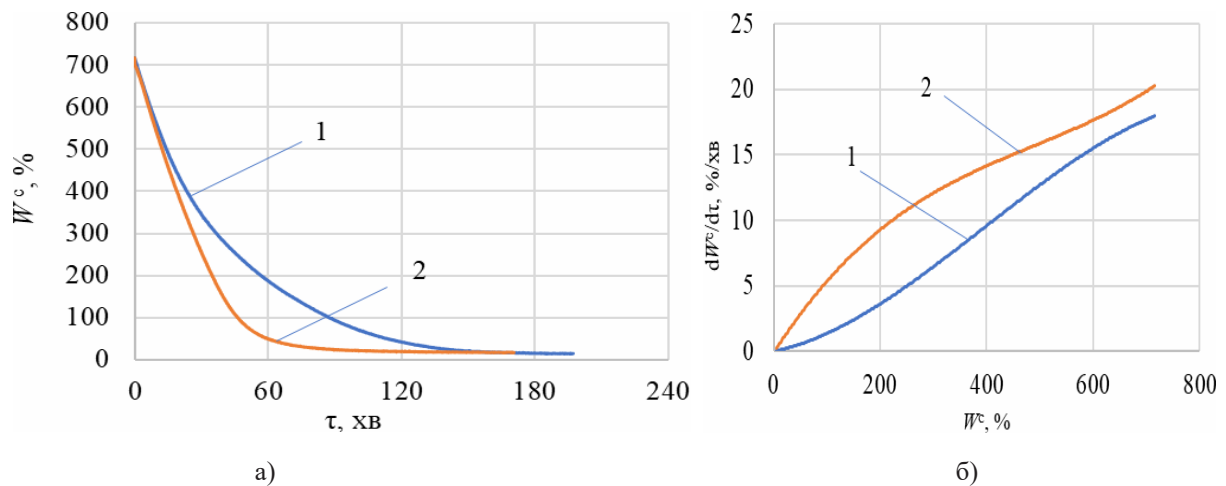


Рис. 3. Кінетика (а) та швидкість (б) сушіння паренхімних тканин яблук свіжих (1) та попередньо НВЧ-оброблених протягом 25 с при 800 Вт (2)

Джерело: власні дослідження

Аналіз процесу теплового зневоднення паренхімних тканин яблук здійснювали на підставі побудованих за даними експерименту кривих кінетики та швидкості сушіння (рис. 3).

Аналіз кривих сушіння (рис. 3, а) свідчить про суттєвий вплив попередньої НВЧ-обробки на стан паренхімних тканин яблука. По-перше, після попереднього опромінювання паренхімних тканин яблук їх вдалося висушити до кінцевої вологості нижчої, ніж у необроблених (6 та 8% абс. відповідно). По-друге, витрати часу на сушіння до рівноважної з тепловим агентом вологості скоротилися з 215 хв (свіжі яблука) до 193 хв (НВЧ-оброблені яблука), за тих же умов сушіння. Оскільки попереднє НВЧ-опромінення зразків зайняло лише 25 с, загальні витрати часу, необхідного на увесь процес виготовлення яблучних чипсів також скоротилися на 23 хв, якщо зневоднювати НВЧ-оброблені яблука до рівноважної з тепловим агентом вологості або на 53 хв, якщо сушити їх до вологості 8%, цілком достатньої для гарного збереження герметично упакованих яблучних чипсів протягом часу, необхідного для доставки їх кінцевому користувачу [18, 19].

3. Дослідження впливу технічних параметрів НВЧ-обробки на якісні характеристики паренхімних тканин яблук

Результати експериментів свідчать про суттєвий вплив попередньої НВЧ-обробки на якісні характеристики паренхімних тканин яблука. Перш за все, короткочасна мікрохвильова обробка вирівняла та стабілізувала колір паренхімних тканин: підготовлені до сушіння зразки яблука та готові чипси не окислювались протягом тривалого часу (табл. 1).

Одним із критеріїв оцінки якості сушених продуктів є їх властивість до набухання та відновлювання.

Коефіцієнт набухання (K_n) показує відносне збільшення маси продукту після набухання та визначає здатність до відновлювання початкових властивостей матеріалу при зневодненні. Відновлюваність матеріалу (B) є більш показовою величиною і безпосередньо показує наскільки вологість відновленого матеріалу наближається до вихідної або наскільки загальна маса матеріалу після набухання наближається до вихідної маси, яка приймається за 100%. Чим більше значення відновлюваності, тим якісніший одержаний сушений продукт [20].

Результати дослідження коефіцієнту набухання та відновлюваності отриманих чипсів наведено в табл. 2 [19].

Як бачимо, у порівнянні з необробленими зразками, спостерігається суттєве підвищення відновлюваності отриманих чипсів: від 64,7% для необроблених яблук до 81,5...96,7% для попередньо НВЧ-оброблених. Таке високе значення відновлюваності паренхімних тканин, які було піддано висушуванню після попередньої НВЧ-обробки, свідчить про те, що НВЧ-обробка дозволила уберегти від руйнування під час теплового сушіння тканинні капіляри, по яким всмоктується та утримується вода яблука. Надшвидке випаровування вільної вологи з тканинних капілярів під час надкороткої НВЧ-обробки не дозволило розвинути процесам термічної та зневоднюваної деформації та зруйнувати їх [18, 19].

У підсумку треба відмітити, що одержані після попередньої НВЧ-обробки чипси з яблук за кольором, ароматом і смаком мало відрізнялися

Таблиця 1

Дані досліджень окислення зразків яблучних тканин

Зразки необроблені		Зразки НВЧ-оброблені
		
час спостереження 0 хв	час спостереження 5 хв (зразок потемнів)	час спостереження 5...30 хв
		
Одержані чипси		Одержані чипси

Джерело: власні дослідження

Таблиця 2

Коефіцієнт набування та відновлюваність чипсів

Попередня обробка	Коефіцієнт набування, K_n	Відновлюваність $B, \%$
Без попередньої обробки	3,737	64,737
НВЧ-випромінювання потужністю 400 Вт протягом 40 с	3,544	81,528
НВЧ-випромінювання потужністю 600 Вт протягом 35 с	3,241	89,236
НВЧ-випромінювання потужністю 800 Вт протягом 25 с	3,401	96,664

Джерело: власні дослідження

від вихідної сировини, натомість набули більш яркого аромату, легкої ламкості та ніжного хрускоту через утворення кристаликів цукру всередині. Тоді як чипси, вироблені за традиційними технологіями, часто-густо занадто тверді через розвиток процесу склування цукрів всередині рослинної тканини.

Висновки. Суттєве підвищення витрат теплоти на випаровування після НВЧ-обробки (на 8...16% по відношенню до теплоти випаровування чистої води) свідчить як про зміну водоутримуючої здатності рослинної тканини, так і про видалення всієї вільної води з сировини ще на стадії НВЧ-обробки через різке послаблення гідратних зв'язків.

Поєднання попередньої НВЧ-обробки яблук з двостадійним конвективним сушінням дозволило інтенсифікувати процес та на 14% зменшити загальну тривалість процесу зневоднення чипсів з яблук. Зменшення тривалості сушіння тотожне зменшенню енергетичних витрат на процес.

Короткочасна НВЧ-обробка вирівняла та стабілізувала колір паренхімних тканин яблук: підготовлені до сушіння скибки та одержані чипси не окислювались протягом тривалого часу. Відбулося суттєве підвищення відновлюваності чипсів з яблук (до 96,7% проти 64,7% для необроблених). Одержані чипси набули вираженого смаку, легкої ламкості та ніжного хрускоту.

Список літератури:

1. Chandrasekaran S., Ramanathan S., Basak Tanmay. Microwave food processing – A review. *Food Research International*. 2013. Iss. 52. Pp. 243–261.
2. Lidia Dorantes-Alvarez, Alicia Ortiz-Moreno, Rosa Isela Guzman-Gero-nimob, and Lidia Parada-Dorantes. Microwave Blanching. *In book: Reference Module in Food Science*. Publisher: Elsevier. 2017. DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.21436-4.
3. Дорошенко Є.В., Лапенко М.П., Леснік К.В., Філіпчук В.П., Яроцька К.Ю., Олексієнко В.О. Вплив попередньої обробки яблук ІЧ-променями на якість готової продукції і тривалість сушіння. *Міжнар. наук.-пр. інтернет-конф., 24 листопада 2020 р. ТДАУ ім. Д. Моторного*. 2020. С. 128-130.
4. Yuhe Ma, Xiaoju Tian, Yingqiang Wang, Hongxia Zhao, Jialing Song. Comparative Study on Drying Characteristics and Quality of Apple Cubes Dried in Two Different Microwave Dryers. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2023. Vol. 73. No. 4. Pp. 367–374. DOI: <https://doi.org/10.31883/pjfn/174972>.

5. Taghinezhad E., Kaveh M., Szumny A. *et al.* Qualitative, energy and environmental aspects of microwave drying of pre-treated apple slices. *Scientific Reports*. 2023. Article number: 16152. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43358-6>.
6. Zhenjiang Hooray biology technology Co., LTD. Microwave freeze-drying and dehydrating method of fruits and vegetables. *Pat. 107095213 China*. МПК А23 L 19/00. № 102017000398973. pub. 29.08.2017.
7. Ma Heping. Method for producing apple chips by microwave vacuum drying. *Pat. 111296789 China*. МПК А23 L 19/00. №202010096009.2. pub. 19.06.2020.
8. Krischer O. Trocknungstechnik: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik: Die Grundlagen der Wärmeübertragung. Berlin: Springer Berlin Heidelberg. 1978. Pp. 68-168. https://doi.org/10.1007/978-3-642-61879-6_5.
9. Петровський О. М. Спосіб передпосівного опромінення насіння сільськогосподарських культур ультрависокочастотним електромагнітним полем. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*. 2011. № 107(1). С. 276-284.
10. Чміль, А. І., Лазарюк, К. О. Методи передпосівної обробки насіння кукурудзи в електромагнітному полі. *Енергетика і автоматика*. 2015. № 4. с. 227-234.
11. Dorantes-Alvarez L., Ortiz-Moreno A., Guzman-Gero R., Parada-Dorantes L. Microwave-assisted blanching. *The Microwave Processing of Foods (Second Edition)*. 2017. Pp. 179-199. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100528-6.00009-7>.
12. Xiao H-W., Zhongli Pan, Deng L-Z., El-Mashad H.M., Yang X-H., Mujumdar A.S., Gao Z-J., Qian Zhang. Recent developments and trends in thermal blanching—a comprehensive review. *Information Processing in Agriculture*. 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.inpa.2017.02.001>.
13. Власенко В.В., Бандура В.М., Коляновська Л.М. Інтенсифікування екстрагування в технології виробництва рослинних олій: монографія. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2016. 203 с.
14. Дмитренко Н.В. Вплив стану води на теплофізичні властивості та процес сушіння рослинної сировини: дис...канд. техн. наук 05.14.06. *ІТТФ НАН України*. Київ. 2016. 184 с.
15. Снежкін Ю.Ф., Шапар Р.О. Тепломасообмінні технології переробки пектиновмісної сировини. Київ: *Сік Груп Україна*, 2018. 228 с.
16. Снежкін Ю.Ф., Михайлик В.А., Дмитренко Н.В., Шапар Р. О. Дослідження впливу паротермічної обробки паренхімних тканин яблук на кінетику сушіння та теплоту випаровування. *Наукові праці ОНАХТ*. Одеса. 2012. №41(1). С. 227-231.
17. Дмитренко Н.В. Вплив технологічних параметрів процесу сушки на теплоту випаровування вологи з рослинних тканин. *Наукові праці ОНАХТ*. Одеса. 2015. № 47(2). С. 52-55.
18. Husarova O.V., Dmytrenko N.V. Influence of microwave processing of apples on the process of convective drying. *Papers of III International Multidisciplinary Scientific and Theoretical Conference «Sectorial research XXI: characteristics and features»*. April 22, 2022. Chicago, USA: European Scientific Platform. 2020. Vol. 2. Pp. 51-52. ISBN 979-8-88526-804-2. DOI 10.36074/scientia-22.04.2022.
19. Дмитренко Н.В., Гусарова О.В. Вплив мікрохвильової обробки на процес конвективного сушіння та якість чипсів із яблук. *Матеріали Всеукраїнської н.-п. конференції “Проблеми енергоефективності та якості в процесах сушіння харчової сировини”*. 8 червня 2023 р., Харків. 2023. С. 11-12.
20. Hindawi Ebrahim. Drying Kinetics and Rehydration Characteristics of Convective Hot-Air Dried White Button Mushroom Slices. *Journal of Chemistry*. 2014. Vol. 2014. Article ID 453175. Pp. 1–8. <https://doi.org/10.1155/2014/453175>.

Dmytrenko N.V., Husarova O.V. INFLUENCE OF MICROWAVE TREATMENT ON PHYSICAL PROPERTIES OF APPLE PARENCHYMA TISSUES, CONVECTIVE DRYING AND ORGANOLEPTIC PROPERTIES OF CHIPS

The article deals with the influence of technical parameters of microwave treatment on the reduced specific heat of evaporation of water from apple tissues, convective drying, swelling coefficient, recoverability and organoleptic characteristics of chips.

In recent years, research on the use of microwave waves in plant drying technologies, including apples, has become popular. New processing methods are of considerable interest, and the use of high (HF) and ultra-high frequency (UHF) electromagnetic waves in drying technologies is considered promising.

The aim of the article is to determine the effect of microwave pretreatment on the heat of evaporation of moisture from apple parenchymal tissues, technological parameters of the thermal convective drying process, and the quality of the resulting chips.

Apples of the Renet Simirenko variety were used as the object of research. The power of the microwave waves was varied in the range from 400 to 800 W, and the time was in the range of 15...30 s. The apple drying

process was studied on an experimental convective drying bench at a drying agent speed of 1.5 m/s, moisture content of 7 g/kg of dry air, and a stepwise dehydration mode of 80...60 °C.

After microwave treatment, a significant increase in heat consumption for evaporation is observed (by 8...16% compared to the heat of evaporation of pure water), which indicates both a change in the water-holding capacity of plant tissue and the removal of all free water from the raw material at the stage of microwave treatment due to a sharp weakening of hydrate bonds. The combination of preliminary microwave treatment of sliced apple slices with subsequent two-stage convective drying allowed for a 14% intensification of dehydration and a significant reduction in the overall duration of the process. The short-term microwave treatment levelled and stabilised the colour of the apple parenchymal tissues: the slices prepared for drying and the finished chips did not oxidise for a significant time. There was a significant increase in the recoverability of the manufactured apple crisps (up to 96.7% compared to 64.7% for untreated crisps). The resulting chips acquired a pronounced taste, slight brittleness and delicate crunch.

Key words: microwave treatment, thermophysical properties, convective drying, renewability, apple crisps, energy efficiency.