

МІКРОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ГАРБУЗОВОГО ПЮРЕ ЯК СКЛАДОВОГО КОМПОНЕНТУ КОМПОЗИЦІЙНОГО ОБ'ЄКТУ РОЗПИЛЮВАЛЬНОГО СУШІННЯ

Турчина Т.Я. канд. техн. наук, ст. наук. співр., Авдєєва Л.Ю., докт. техн. наук, ст. наук. співр.,
Макаренко А.А., канд. техн. наук, ст. досл., Декуша Г.В. канд. техн. наук, ст. досл.
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

Анотація. *Плоди гарбузів є джерелом речовин із високою харчовою і біологічною цінністю природного походження, але мають короткий термін зберігання. Багатий на біологічно активні речовини хімічний склад гарбузового пюре дозволяє його використання у раціональному, профілактичному та лікувальному харчуванні для збагачення раціону харчування. Значний вміст моно- і полісахаридів робить доцільним його використання для регулювання органолептичних, функціонально-технологічних, структурно-механічних і мікробіологічних властивостей основної сировини у нових видах багатокомпонентних виробів. Застосування розпилювального сушіння гарбузового пюре суттєво збільшує терміни зберігання порошкової продукції. При охолодних термічних умовах проведення процесу виникають умови мікрокапсуляції біологічно активних, в т.ч. термолабільних речовин. В технологіях розпилювального сушіння значна увага приділяється стадії підготовки сировини з отриманням стійких однорідних водних суспензій з розміром частинок твердої фази до 200 мкм. Обладнання для диспергування має забезпечити отримання заданих дисперсійних і реологічних властивостей дисперсних систем та раціональні режими обробки при мінімальному рівні енерговитрат. В статті представлено результати експериментальних досліджень впливу механізмів дискретно-імпульсного введення енергії при гідромеханічній обробці гарбузового пюре в роторно-пульсаційному апараті на зміну його мікроструктури. Експериментально встановлено раціональна кількість циклів гідромеханічної обробки гарбузового пюре, за яких максимальні розміри окремих частинок нерозчинних фракцій не перевищують 150-200 мкм, що за станом гомогенності цілком відповідає вимогам до рослинних гетерогенних систем при подачі їх в сушарку дисковим розпилювачем. Результати будуть використані при розробленні технології нових видів багатокомпонентних виробів на стадії підготовки до розпилювального сушіння.*

Ключові слова: рослинні харчові добавки природного походження, гарбузове пюре, мікроструктура, дисперсність, розпилювальне сушіння

Постановка проблеми. Фруктово-овочева сировина є джерелом широкого кола природних речовин із високою харчовою і особливо біологічною цінністю, які збагачують раціон харчування та надають захисний ефект від шкідливого впливу зовнішніх хімічних і фізичних факторів. Завдяки цьому така сировина може використовуватись як у раціональному, так і профілактичному та лікувальному харчуванні. Крім того, рослинну сировину можна використовувати для регулювання органолептичних, функціонально-технологічних, структурно-механічних і мікробіологічних властивостей основної сировини кисломолочних, м'ясних, борошняно-кондитерських та інших видів виробів. Доведено, що надмірне та неналежне використання певних синтетичних добавок становить потенційні ризики для здоров'я людини. Перспективною альтернативою синтетичним добавкам є харчові добавки на рослинній основі, а також технології мікро-і наноінкапсулювання [1-3].

Для зменшення кількості синтетичних харчових добавок все більш широко використовуються такі інноваційні методи, як інкапсуляція та інтеграція в їстівні плівки для різних видів харчових продуктів. Позитивні результати мікрокапсуляції біологічно активних речовин були отримані при перетворенні рідких харчових гетерогенних систем на порошкоподібні при застосуванні розпилювального сушіння. Цей метод сушіння рекомендується для термолабільних матеріалів і є придатним для інкапсуляції нутрицевтиків, пробіотиків, ароматизаторів та ферментів завдяки короткому часу контакту з гарячим сушильним середовищем [4, 5].

В технологіях виробництва сухих продуктів у порошковій формі методом розпилювального сушіння значна увага приділяється стадії підготовки сировини з отриманням рідких водних суспензій або емульсій. Стадія підготовки включає процеси подрібнення, диспергування та гомогенізації. Їх ефективність визначається різними показниками, таких як: реологічні властивості і дисперсність частинок нерозчинних фракцій обробленої гетерогенної системи. Ці характеристики визначають той стан текучості, при якому забезпечується стабільна і ритмічна подача дисперсії в камеру розпилювальної сушарки і утворення однорідних за розміром та сферичних за формою крапель в момент відриву їх від кромки дискового розпилювача. Раціонально організований процес підготовки водної суспензії рослинної сировини обумовлює рівномірність висушування, знижує ризик виникнення адгезійних властивостей в камері сушарки і визначає якісні характерис-

тики порошку. [6, 7]. При використанні дискового розпилювання ступінь дисперсності частинок нерозчинних фракцій в гетерогенній системі має не перевищувати $\delta_{\max} \leq 150-200 \mu\text{м}$. Обладнання для диспергування на стадії підготовки має забезпечити раціональні режими обробки при мінімальному рівні енерговитрат, враховувати особливості фізико-хімічного складу і властивості рослинної сировини, а також передбачати збереження біологічно активних речовин [8, 9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До перспективної сировини для збагачення нових видів харчових продуктів природними добавками з метою покращення біологічної цінності і корегування органолептичних, функціонально-технологічних і структурно-механічних властивостей відноситься плодово-овочева сировина, в т.ч. плоди гарбуза. Гарбузи є універсальним овочем і одним з найбільших джерел біологічно активних сполук, але їх використання дуже обмежено через короткий термін зберігання. Про оздоровчі властивості гарбуза свідчать результати численних наукових робіт, що підтверджують його протидіабетичну, антиоксидантну, антиканцерогенну та протизапальну дії на організм людини [10-12]. Нажаль, через відсутність умов зберігання і промислових технологій перероблення плодів у харчуванні людини використовується лише незначна частина врожаїв [7, 10, 13].

Продуктами переробки гарбуза є насіння, шкірка та м'якоть з різним біоактивним складом та багатьма потенційними перевагами, які ще недостатньо вивчені. Їстівна частина гарбуза відноситься до низькокалорійних продуктів. Висока харчова і біологічна цінність гарбузового пюре визначається великою кількістю вітамінів, в т.ч. бета-каротину, вітамінів групи В, К, Е, РР, а також пектинових речовин і клітковини. Завдяки високій біологічній цінності гарбузове пюре розглядається як цінний збагачувальний компонент рецептури нових видів виробів як для раціонального, так і функціонального харчування. Найбільшу частку поживних речовин становлять вуглеводи. Більша частина вуглеводів м'якоті гарбуза – це моно- і дисахариди (глюкоза, фруктоза, сахароза), але до складу в достатньо високій кількості входять також полісахариди: крохмаль, пектинові речовини, представлені протопектином, а також клітковина. Харчові волокна становлять від 20% до 50% від кількості вуглеводів [10, 14]. Прості сахариди надають гарбузовому пюре солодкого присмаку і легко перетворюються на додаткове джерело енергії, а пектинові речовини і клітковина – густини і стабільності консистенції. Це створює позитивні передумови для використання пюре в якості харчової добавки для регулювання властивостей комбінованого продукту. При диспергуванні м'якоті гарбуза в апаратах різних типів і конструкцій відбувається деструкція клітинних компонентів, пюре набуває стану гомогенності з вивільненням великої кількості речовин і переходом їх у розчинний більш біодоступний стан. Використання такого пюре у складі нових композиційних продуктів не тільки збагачує їх своїми біологічно активними та поживними речовинами, а і надає їм більш привабливого помаранчевого відтінку без застосування штучних барвників. [11, 15].

За традиційними технологіями для подрібнення і одержання гарбузового пюре використовують здвоєні протиральні машини, колоїдні млини, гомогенізатори різних типів та ін. На підставі аналізу існуючого обладнання для проведення гомогенізації і одержання високодисперсних суспензій при переробці сировини рослинного походження з високим вмістом харчових волокон було запропоновано використання роторно-пульсаційного апарату (РПА) циліндричного типу, розробленого Інститутом технічної теплофізики НАН України. Висока ефективність процесів, що протікають в апаратах де реалізуються принципи дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ), визначається майже одночасним впливом різних явищ (механічних, гідродинамічних, гідроакустичних) та ефектів (гідравлічного удару, пульсацій швидкості і тиску, зусиль зрізу і зсуву, локальної турбулентності), а також гідродинамічної кавітації. Такі апарати дозволяють інтенсифікувати масообмінні процеси направлені на руйнування дисперсної фази при суттєво менших (на 2-3 порядки) значеннях дисипації енергії в активній зоні порівняно до традиційних апаратів різних класів для диспергування [16].

РПА в яких реалізовані ефекти ДІВЕ відрізняються порівняно невисокою енергоємністю і високою інтенсивністю обробки високов'язких та неоднорідних дисперсних середовищ. Завдяки високій дисперсності досягається однорідність і стабільність, покращення реологічних властивостей одержаних гомогенізованих багатокомпонентних композиційних продуктів [17, 18].

Виходячи з цього, раціональні режими ДІВЕ-обробки гарбузового пюре, що підлягає подальшому розпилювальному висушуванню у складі багатокомпонентної суспензії мають бути досліджені і науково обґрунтовані, виходячи з отриманих експериментальних результатів.

Мета роботи полягала у визначенні змін у мікроструктурі зразків гарбузового пюре після гомогенізації в результаті поступового посилення впливу механізмів ДІВЕ на складну дисперсну систему з високим вмістом харчових волокон.

Матеріали та методи досліджень. В дослідженнях використовувалось гарбузове пюре бланшоване, виготовлене з м'якоті гарбуза продовольчого свіжого згідно з ДСТУ 3190-95.

ДІВЕ-обробка гарбузове пюре здійснювалась з використанням дослідно-промислового зразка проточно-го РПА циліндричного типу з 2 статорами та 1 ротором. Число обертів ротора 50 с^{-1} , продуктивність 800 кг/год .

Мікроструктура зразків гарбузового пюре, визначалась мікроскопічним методом за допомогою оптичного мікроскопа «МБІ 3У 4.2» з використанням цифрового фотоапарату. Підготовка і фіксування зразків

відбувались за стандартною методикою. За допомогою масштабної лінійки, встановленої в окулярі, визначалась кількість і розміри частинок твердої фази в межах кожного оптичного поля до отримання статистичних даних заданої кількості (до 1000) частинок. За коефіцієнтом збільшення окуляра, визначались дійсні розміри частинок. За отриманими даними будувались диференційні криві розподілення частинок за розмірами. Представлені в графічній формі результати експериментальних досліджень дисперсності гетерогенної системи оброблені за допомогою комп'ютерної програми MS Excel 2007.

Викладення основних результатів досліджень. Попередньо бланшоване гарбузове пюре піддавалось гідромеханічній обробці в РПА у циклічному режимі. Після кожного циклу ДІВЕ-обробки відбирались зразки гарбузового пюре для проведення мікроструктурного аналізу частинок його нерозчинних фракцій. Для даного аналізу представлені результати досліджень зразків після 1-го, 3-го, 5-го та 7-го циклів ДІВЕ-обробки гарбузового пюре.



Рис. 1 – Мікроструктура гарбузового пюре після 1 циклу ДІВЕ-обробки в РПА.

Збільшення 7x10. Масштаб: 1 поділка = 16мкм.

Вивчення характеристик дослідних зразків, отриманих на перших трьох циклах гідродинамічної обробки, показав досить високі значення динамічної в'язкості в зоні гранично зруйнованої структури. Це пояснюється наявністю значної кількості різноманітних за своєю структурою, міцністю та щільністю пакування волокон різної довжини і товщини, як видно з фотографій мікроструктури гарбузового пюре на рис. 1, які в оточенні значно менших за розміром часток подрібненої м'якоті утворюють у дисперсійному середовищі розгалужений просторовий каркас з характерними амортизаційними властивостями.

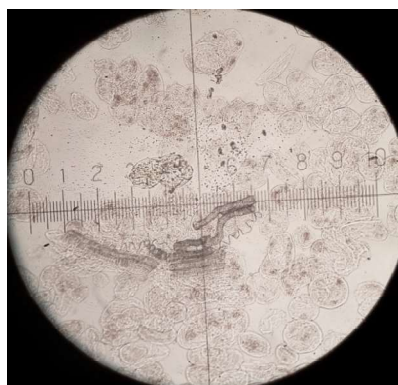


Рис. 2 – Мікроструктура гарбузового пюре після 3 циклу ДІВЕ-обробки в РПА.

Збільшення 7x10. Масштаб: 1 поділка = 16мкм.

Мікроструктурний аналіз показав (рис.1), що більшість напівпрозорих частинок подрібненої м'якоті гарбуза (до 80–85%) мають округлу або подовжену форму, а їх розміри перебувають в широкому діапазоні - в межах 100–1800мкм. Деякі частинки представляють собою фрагменти ланцюгів волокнистих структур гарбуза або їх зрізи, максимальна довжина яких досягає 3000–4500мкм.

В процесі гідродинамічної обробки гарбузового пюре під інтенсивною дією механізмів ДІВЕ з'єднують волокнисті та клітинні структури гарбуза подрібнюються з утворенням дисперсних частинок усе меншого (до мікронного) розміру, за рахунок чого відбувається збільшення площі поверхні розподілу фаз («тверде тіло - вода») з одночасною закономірною зміною фізико-хімічних і фізико-механічних форм зв'язку вологи з матеріалом (за класифікацією П.А. Ребіндера для колоїдних капілярно-пористих тіл) [8, 19], що визначає кінетику його сушіння у диспергованому стані.

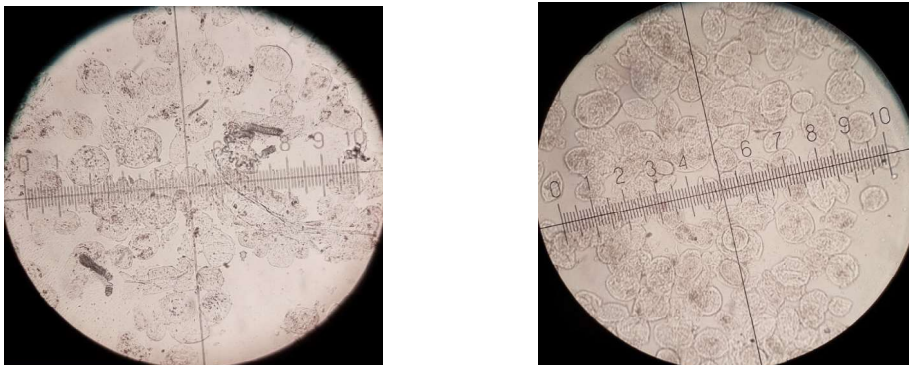


Рис. 3 – Мікроструктура гарбузового пюре з 5 циклу ДІВЕ-обробки в РПА. Збільшення 7х10. Масштаб: 1 поділка = 16мкм.

Поступове збільшення ступеня дисперсності частинок нерозчинних фракцій призводить до їх більш рівномірного розподілення в об'ємі дисперсійного середовища з утворенням нових міжмолекулярних взаємодій через тонкий рідинний прошарок. В результаті дослідні зразки набувають більшої однорідності консистенції, що впливає на значення їх ефективної в'язкості. Після 3-го циклу диспергування гарбузового пюре, як видно з фотографій, наведених на рис. 2, діапазон розмірів частинок м'якоті гарбуза такої самої округлої або подовженої форми дещо скоротився - до 70–800мкм, що відрізняє їх від волокнистих структур більшої міцності. Максимальні розміри фрагментів волокон різного пакування (пучків, пластин), кількість яких складала до 10% від загальної маси частинок нерозчинних фракцій у складі гетерогенної системи даного зразку гарбузового пюре, зменшились у 2-3 рази – в середньому до 1600 мкм.

По мірі збільшення інтенсивного впливу механізмів ДІВЕ за рахунок подовження тривалості гідромеханічної обробки до 5-7 циклів рідинна система переходить з макророзривного в мікророзривний стан. Діапазон розмірів частинок нерозчинних фракцій гарбузового пюре, як видно з фотографій на рис. 3, скоротився вже до меж 40–180 мкм, а максимальні розміри фрагментів волокон, кількість яких зменшилась до 5% від загальної маси дисперсних частинок у складі гетерогенної системи, зменшились до 150–180 мкм (окремі до 200мкм).

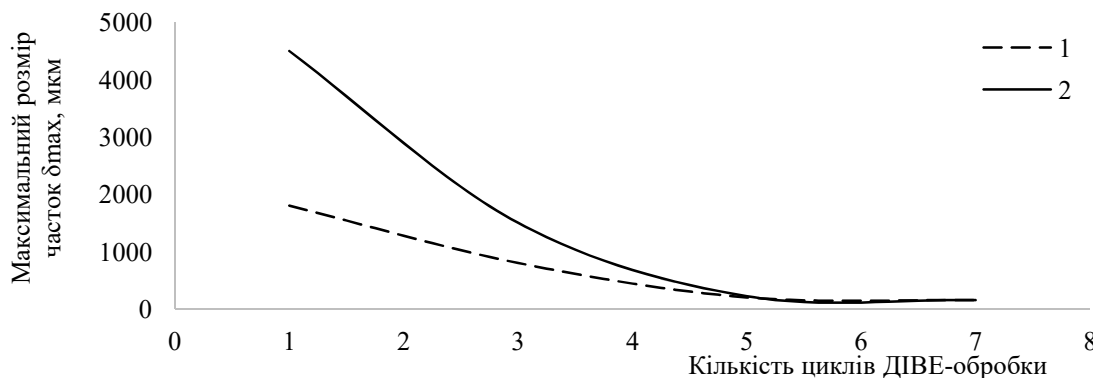
Після 7 циклів ДІВЕ-обробки в РПА максимальний розмір частинок нерозчинних фракцій гарбузового пюре, як видно з фотографій на рис. 4, складало $\delta_{\max} \leq 150 \text{ мкм}$, що цілком відповідає вимогам до гетерогенних рідинних систем як об'єктів розпилювального сушіння, подача яких в сушарку відбувається за допомогою дискового розпилювача РЦ-18. За таким дисперсним складом частинок нерозчинних фракцій будь-якої рідинної системи з плодової сировини забезпечується більша однорідність факелу розпилю і рівномірність висушування крапель, що сприяє уникненню адгезійних відкладень на стінках камери розпилювальної сушарки і високому виходу порошкового продукту.



Рис. 4 – Мікроструктура гарбузового пюре з 7 циклу ДІВЕ-обробки в РПА. Збільшення 7х10. Масштаб: 1 поділка = 16мкм.

На рис. 5 наведена графічна залежність зміни максимальних розмірів частинок нерозчинних фракцій різних структурних систем: м'якоті (крива 1) та волокон (крива 2), одержана за результатами проведеного мікроструктурного аналізу зразків гарбузового пюре, відбір яких проводився після кожного циклу його ДІВЕ-обробки у РПА. Аналіз одержаних кривих $\delta_{\max} = f(n)$ (рис. 5) показує, що якщо після 3-го циклу проходу гарбузового пюре крізь робочий орган РПА максимальні розміри частинок м'якоті (крива 1) бланшованого гарбуза зменшувались у 2,3 рази (з 1800мкм до 800мкм), після 5-го проходу – у 4 рази (з 800 мкм до 200 мкм), то після 7-го проходу лише на 25–30%, тобто ефективність подрібнення суттєво знизилась.

Для більш міцних волокнистих структур динаміка зміни максимальних розмірів дисперсних частинок дещо інакша. Максимальні розміри фрагментів волокнистих структур гарбуза після 3-го циклу проходу крізь РПА зменшувались у 3 рази (з 4500мкм до 1500мкм), після 5-го проходу – у 7,5 разів (з 1500мкм до 200мкм), а після 7-го проходу – так само на 25–30%. Таке значне зниження розмірів дисперсних часток волокнистих структур (крива 2, рис. 5) після перших трьох циклів, у порівнянні з динамікою зміни дисперсного складу частинок м'якоті гарбуза (крива 1), можна пояснити підвищенням ефективності роботи РПА при ДІВЕ-обробці плодкових структур більшої міцності.



1 – м'якоті; 2 – волокнистих структур гарбуза.

Рис. 5 – Динаміка зміни максимальних розмірів частинок нерозчинних фракцій гарбузового пюре від кількості циклів його ДІВЕ-обробки у РПА

Виходячи з аналізу фотоматеріалів (рис. 1-4) та графічної залежності $\delta_{\max}=f(n)$ (рис. 5), можна зробити висновок, що 5-ти циклів ДІВЕ-обробки гарбузового пюре в РПА циліндричного типу цілком достатньо для отримання необхідних характеристик суспензії для подачі на дисковий розпилювач камери сушарки, що важливо для умов розпилювального сушіння. Отже, процес підготовки гарбузового пюре для використання його в складі багатокомпонентних композицій як об'єктів розпилювального сушіння доцільно обмежити 5 циклами ДІВЕ-обробки в РПА.

Висновки. Проведений мікроструктурний аналіз зразків гарбузового пюре, одержаних в процесі його гідродинамічної обробки, дозволив визначити раціональні режими його ДІВЕ-обробки в РПА на стадії підготовки до розпилювального сушіння з одержанням стійкої до розшарування колоїдної гетерогенної системи із заданим ступенем дисперсності частинок нерозчинних фракцій.

References

- Chen, J., & Xia, P. (2024). Health effects of synthetic additives and the substitution potential of plant-based additives. *Food Research International*, 197(Part 1), 115177. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115177>
- Chauhan, K., & Rao, A. (2024). Clean-label alternatives for food preservation: An emerging trend. *Heliyon*, 10(16), e35815. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35815>
- de Oliveira, I., Santos-Buelga, C., Aquino, Y., Barros, L., & Heleno, S. A. (2025). New frontiers in the exploration of phenolic compounds and other bioactives as natural preservatives. *Food Bioscience*, 68, 106571. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106571>
- Dantas, A., Piella-Rifà, M., Costa, D. P., Felipe, X., & Gou, P. (2024). Innovations in spray drying technology for liquid food processing: Design, mechanisms, and potential for application. *Applied Food Research*, 4(1), 100382. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100382>
- Mahalakshmi, M., & Meghwal, M. (2022). Microencapsulation of fruit juices: Techniques, properties, application of fruit powder. *Journal of Food Process Engineering*, 46, e14226. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14226>
- Salehi, F. (2020). Physico-chemical and rheological properties of fruit and vegetable juices as affected by high pressure homogenization: A review. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1136–1149. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1781167>
- Sniezhkin, Y. F., Shapar, R. O., Sorokova, N. M., & Husarova, O. V. (2015). Rozrobka tekhnolohii vyrobnytstva novykh form sushenykh produktiv [Development of production technology for new forms of dried products]. *Promyshlennaya Teplotekhnika*, 37(6), 29–37.
- Miller, D. A., Ellenberger, D., & Gil, M. (2016). Spray-drying technology. In R. Williams III, A. Watts, & D. Miller (Eds.), *Formulating poorly water soluble drugs* (Vol. 22, AAPS Advances in the Pharmaceutical Sciences Series). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42609-9_10

9. Petersen, L. N., Poulsen, N. K., Niemann, H. H., Utzen, C., & Jørgensen, J. B. (2013). A grey-box model for spray drying plants. In *Proceedings of the 10th IFAC International Symposium on Dynamics and Control of Process Systems* (pp. 559–564). Elsevier. <https://doi.org/10.3182/20131218-3-in-2045.00118>
10. Dar, H. A., Sofi, S. A., & Rafiq, S. (2017). Pumpkin, the functional and therapeutic ingredient: a review. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 10(10), 165–170.
11. Gavril, R. N., Stoica, F., Lipşa, F. D., Constantin, O. E., Stănciuc, N., Aprodu, I., & Răpeanu, G. (2024). Pumpkin and pumpkin by-products: A comprehensive overview of phytochemicals, extraction, health benefits, and food applications. *Foods*, 13(17), 2694. <https://doi.org/10.3390/foods13172694>
12. Yadav, M., Jain, S., Tomar, R., Prasad, G. B. K. S., & Yadav, H. (2010). Medicinal and biological potential of pumpkin: An updated review. *Nutrition Research Reviews*, 23(2), 184–190.
13. UCAB. (2023). *Інфографіка: ринок гарбузів в Україні*. https://ucab.ua/ua/pres_sluzhba/novosti/infografika_rinok_garbuziv_v_ukraini
14. Kim, M. Y., Kim, E. J., Kim, Y.-N., Choi, C., & Lee, H.-Y. (2012). Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (Cucurbitaceae) species and parts. *Nutrition Research and Practice*, 6(1), 21–27. <http://dx.doi.org/10.4162/nrp.2012.6.1.21>
15. Villamil, R.-A., Escobar, N., Romero, L. N., Huesa, R., Plazas, A. V., Gutierrez, C., & Robelto, G. E. (2022). Perspectives of pumpkin pulp and pumpkin shell and seeds uses as ingredients in food formulation. *Nutrition & Food Science*, 53(4). <https://doi.org/10.1108/NFS-04-2022-0126>
16. Dolinskyi, A. A., Avdieieva, L. Yu., & Makarenko, A. A. (2020). Kavitatsiini tekhnologii dlia vyrobnytstva nanopreparativ: Monohrafiia [Cavitation technologies for the production of nanodrugs: Monograph]. Kyiv: Naukova dumka.
17. Avdieieva, L. Yu., Makarenko, A. A., Turchyna, T. I., & Dekusha, H. Yu. (2024). Osoblyvosti vplyvu homohenizatsii na reolohichni vlastyvyosti piure iz harbuza [Peculiarities of the effect of homogenization on the rheological properties of pumpkin puree]. *Scientific Works*, 88(1), 50–56. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v88i1.2960>
18. Avdieieva, L. Yu., & Makarenko, A. A. (2024). Doslidzhennia dynamichnoi viazkosti harbuzovoho piure, zvažaiuchy na vplyv hidromechanichnykh i temperaturnykh faktoriv [Study of the dynamic viscosity of pumpkin puree considering the influence of hydromechanical and thermal factors]. *Scientific Works of NUFT*, 30(3), 189–198. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2024-30-3-17>
19. Dolinskyi, A. A., & Maletska, K. D. (2011). *Rozpyliuvalne sushinnia. Teplofizychni osnovy. Metody intensyfikatsii i enerhoberezhennia* [Spray drying. Thermophysical fundamentals. Methods of intensification and energy saving]. Kyiv: Akademperiodyka.

MICROSTRUCTURAL ANALYSIS OF PUMPKIN PUREE AS A COMPONENT OF A COMPOSITE SYSTEM FOR SPRAY DRYING

Turchyna T.Ya., PhD (Engin.), s.r.s., Avdieieva L.Yu., Dr. Sci. (Engin.), s.r.s.,

Makarenko A.A., PhD (Engin.) s.r., Dekusha H.V., PhD (Engin.), s.r.

Institute of Engineering Thermophysics of Ukraine National Academy of Sciences, Kyiv

Список використаної літератури

1. Chen J., Xia P. Health effects of synthetic additives and the substitution potential of plant-based additives // *Food Research International*. 2024. Vol. 197, Part 1. Article 115177. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115177>.
2. Chauhan K., Rao A. Clean-label alternatives for food preservation: An emerging trend // *Heliyon*. 2024. Vol. 10, No. 16. Article e35815. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35815>
3. de Oliveira I., Santos-Buelga C., Aquino Y., Barros L., Heleno S. A. New frontiers in the exploration of phenolic compounds and other bioactives as natural preservatives // *Food Bioscience*. 2025. Vol. 68. Article 106571. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106571>
4. Dantas A., Piella-Rifà M., Costa D. P., Felipe X., Gou P. Innovations in spray drying technology for liquid food processing: Design, mechanisms, and potential for application // *Applied Food Research*. 2024. Vol. 4, №1. Article 100382. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100382>
5. Mahalakshmi M., Meghwal M. Microencapsulation of fruit juices: Techniques, properties, application of fruit powder // *Journal of Food Process Engineering*. 2022. Vol. 46. Article e14226. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14226>.
6. Salehi F. Physico-chemical and rheological properties of fruit and vegetable juices as affected by high pressure homogenization: A review // *International Journal of Food Properties*. 2020. Vol. 23, No. 1. P. 1136–1149. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1781167>
7. Снежкін Ю. Ф., Шапар Р. О., Сорокова Н. М., Гусарова О. В. Розробка технології виробництва нових форм сушених продуктів // *Промышленная теплотехника*. 2015. Т. 37, № 6. С. 29–37.

8. Miller D. A., Ellenberger D., Gil M. Spray-Drying Technology // Formulating Poorly Water Soluble Drugs / eds. R. Williams III, A. Watts, D. Miller. Cham: Springer, 2016. (AAPS Advances in the Pharmaceutical Sciences Series; Vol. 22). https://doi.org/10.1007/978-3-319-42609-9_10
9. Petersen L. N., Poulsen N. K., Niemann H. H., Utzen C., Jørgensen J. B. A Grey-Box Model for Spray Drying Plants // Proceedings of the 10th IFAC International Symposium on Dynamics and Control of Process Systems. 2013. P. 559-564. Article FrM2T2.3. Elsevier. <https://doi.org/10.3182/20131218-3-in-2045.00118>
10. Dar H. A., Sofi S. A., Rafiq S. Pumpkin, the functional and therapeutic ingredient: a review // International Journal of Food Science and Nutrition. 2017. Vol. 10, Iss. 10. P. 165–170.
11. Gavril, R. N., Stoica, F., Lipşa, F. D., Constantin, O. E., Stănciuc, N., Aprodu, I. & Râpeanu, G. Pumpkin and Pumpkin By-Products: A Comprehensive Overview of Phytochemicals, Extraction, Health Benefits, and Food Applications // Foods. 2024. Vol. 13, Iss. 17, 2694. <https://doi.org/10.3390/foods13172694>
12. Yadav, M., Jain, S., Tomar, R., Prasad, G.B.K.S., & Yadav, H. Medicinal and biological potential of pumpkin: an updated review // Nutrition Research Reviews. 2010. Vol. 23, Iss. 2. P. 184–190.
13. Інфографіка: ринок гарбузів в Україні [Електронний ресурс] // UCAB. 2023. URL: https://ucab.ua/ua/pres_sluzhba/novosti/infografika_rinok_garbuziv_v_ukraini (дата звернення: 7 липня 2025).
14. Kim M. Y., Kim E. J., Kim Y.-N., Choi C., Lee H.-Y. Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (Cucurbitaceae) species and parts // Nutrition Research and Practice. 2012. Vol. 6, Iss. 1. P. 21–27. URL: <http://dx.doi.org/10.4162/nrp.2012.6.1.21>.
15. Villamil R.-A., Escobar N., Romero L. N., Huesa R., Plazas A. V., Gutierrez C., Robelto G. E. Perspectives of pumpkin pulp and pumpkin shell and seeds uses as ingredients in food formulation // Nutrition & Food Science. 2022. Vol. 53, No. 4. DOI: 10.1108/NFS-04-2022-0126
16. Долінський А. А., Авдєєва Л. Ю., Макаренко А. А. Кавітаційні технології для виробництва нанопрепаратів: монографія. Київ: Наукова думка, 2020. 110 с.
17. Авдєєва Л. Ю., Макаренко А. А., Турчина Т. І., Декуша Г. Ю. Особливості впливу гомогенізації на реологічні властивості пюре із гарбуза // Scientific Works. 2024. Т. 88, № 1. С. 50–56. DOI: <https://doi.org/10.15673/swonaft.v88i1.2960>.
18. Авдєєва Л. Ю., Макаренко А. А. Дослідження динамічної в'язкості гарбузового пюре, зважаючи на вплив гідромеханічних і температурних факторів // Наукові праці НУХТ. 2024. Т. 30, № 3. С. 189–198. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2024-30-3-17>.
19. Долінський А. А., Малецька К. Д. Розпилювальне сушіння. Теплофізичні основи. Методи інтенсифікації і енергозбереження. Київ: Академперіодика, 2011. 376 с.

Отримано в редакцію 12.06.2025
Прийнято до друку 02.09.2025

Received 12.06.2025
Approved 02.09.2025