

УДК 664.2

**Нінель ФОРОСТЯНА,
Сергій БАГЛЮК,
Михайло ЛАЗАРЕНКО**

УЛЬТРАЗВУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАБУХАННЯ КРОХМАЛІВ У ВОДІ

Розглянуто механізм набухання водорозчинних крохмалів у воді. Запропоновано ультразвуковий метод визначення оптимальної концентрації крохмалю у воді для розроблення раціональних технологій харчоконцентратів швидкого приготування на основі екструдованої крохмалевмісної сировини.

Ключові слова: екструдовані крохмалі, ультразвукові методи дослідження, ехо-імпульс, кінетика процесу набухання крохмалю.

У сучасному харчуванні використовується багато різних біологічно активних речовин і добавок. Модифікований крохмаль, а саме його 19 видів [1; 2], згідно з *Codex Alimentarius*, мають статус харчових добавок.

Застосування різноманітних способів оброблення нативного крохмалю дає змогу суттєво змінити його будову й властивості, до яких належить насамперед гідрофільність. Крохмалі зі зміненим рівнем гідрофільності утворюють велику групу модифікованих крохмалів, які мають здатність до набухання і поділяються на: *розчинні в холодній воді (інстант-крохмалі); отримані валковим сушінням; отримані екструдуванням; які набухають в холодній воді*. Останні при контакті з водою поглинають її, значно збільшуючись в об'ємі (набагато більше, ніж вихідний крохмаль). Від нативних вони відрізняються підвищеною розчинністю в холодній і теплій воді. До групи крохмалів, які набухають, відносять такі, що попередньо клейстеризовані, потім висушені тонким шаром; оброблені нагріванням при обмеженій присутності вологи; піддані волого-термічній і механічній обробці (в екструдері) при низькій вологості сировини [1–3].

Процес приготування крохмалепродуктів, які набухають, включає такі операції: підготовку сировини й подальше її зволоження (інколи оброблення хімічними реагентами); клейстеризацію крохмалю; утворення тонкої плівки клейстеру; висушування клейстеру; подрібнення отриманих плівок і отримання порошкоподібного продукту.

Зміна властивостей крохмальних клейстерів під час їхнього оброблення на вальцьових сушарках відбувається в результаті двох процесів: деструкції гідратованих молекул полісахариду крохмалю під

дією механічних зусиль і перебудови структури крохмалю в результаті дегідратації тонкої плівки клейстеру при висушуванні.

Властивості крохмалів, які набухають, найчастіше оцінюють за показниками:

набухання – збільшення об'єму наважки крохмалю у водному середовищі при кімнатній температурі ($\text{см}^3/\text{г}$);

розчинність – кількість сухих речовин, які перейшли в розчин при інтенсивному розмішуванні наважки крохмалю у воді (% до вихідного крохмалю);

в'язкість клейстера (мПа·с);

вологозатримувальна здатність – маса води, яка утримується центрифугуванням від суспензії осадом (г/г).

Високий ступінь набухання має амілопектиновий і картопляний крохмалі. Останній відрізняється підвищеною в'язкістю і розчинністю. При розмішуванні в холодній воді кукурудзяний крохмаль не утворює однорідної дисперсії – система розділяється на два шари: верхній – мутна рідка фаза, нижній – крохмальні частинки, які набухають. Амілопектиновий та крохмаль, який набухає, у воді утворюють рівномірні розшаровані системи, що містять багато згустків сильно набухлих крохмальних зерен.

На властивості крохмалів, які набухають, впливає склад вихідної сировини, (наявність в ній білка, мезги та інших домішок), фізична структура висушених і подрібнених крохмалів, розміри частинок після подрібнення, їх пористість, товщина висушеної плівки клейстеру. Якщо валкова сушарка відрегульована на отримання товстої, щільної, роговидної плівки, то після подрібнення та просіювання отримують частинки, які мають трьохвимірну форму, близьку до кубічної. При розмішуванні в холодній воді ці частинки повільно підлягають гідратації й утворюють пасти з низькою в'язкістю, яка після нагрівання дисперсії зростає.

Значний вплив на властивості крохмалів, які набухають і приготовлені на валкових сушарках, здійснюють умови їх оброблення: концентрація вихідної суспензії, температура клейстеризації та висушування, проведення хімічного оброблення крохмалю.

Властивості крохмалів, які набухають, можуть бути суттєво змінені шляхом проведення попереднього оброблення крохмалів за допомогою хімічних реагентів. Для цієї мети використовують сполуки, що викликають розклад чи, навпаки, зшивання крохмалів, утворення реакційно здатних радикалів.

Дослідженню впливу екструзійної модифікації та механізму набухання різних типів крохмалів приділяють багато уваги [3–8], оскільки саме ці процеси зумовлюють утворення продукту необхідної структури, яка є вирішальним фактором у виробництві високоякісних продуктів харчування. Актуальним залишається вивчення властивостей

модифікованих крохмалів, які б відповідали технологічним вимогам: виконували роль загусника, стабілізатора, драглеутворювача, мали стійкість до дії високих температур, добре засвоювалися та відповідали санітарно-гігієнічним вимогам.

Мета роботи – визначення оптимальної концентрації крохмалю у воді при його набуханні за допомогою ультразвуку для розроблення раціональних технологій харчоконцентратів швидкого приготування на основі екструдованої крохмалевмісної сировини.

Об'єкт досліджу – екструдовані картопляний і пшеничний крохмалі.

Ультразвуковий метод ґрунтується на залежності швидкості поширення і згасання ультразвукових хвиль у системі від властивостей речовини та процесів, що в ній відбуваються. Це дає змогу з'ясувати особливості молекулярної структури речовини, в'язкопружні характеристики рідин, ступінь їх чистоти, наявність домішок, перевірити припущення про структурно-молекулярні моделі [3; 7; 8]. Залежно від властивостей дослідної речовини, використовують хвилі різної частоти. Для рідин, суспензій, емульсій, рідких розчинів застосовують переважно ультразвукові хвилі середніх і високих частот.

Дослідження проведено при середніх і високих частотах на ультразвуковій установці УС-12-ИМ, яка дає можливість вимірювати зміну поглинання звукових хвиль залежно від концентрації розчинника. Оскільки дослідний матеріал не зберігає форму, то, щоб визначити швидкість поширення та поглинання ультразвуку, використано зручний при вимірюванні зондовий, ехо-імпульсний фазовий метод.

Схему досліджу наведено на *рис. 1*.

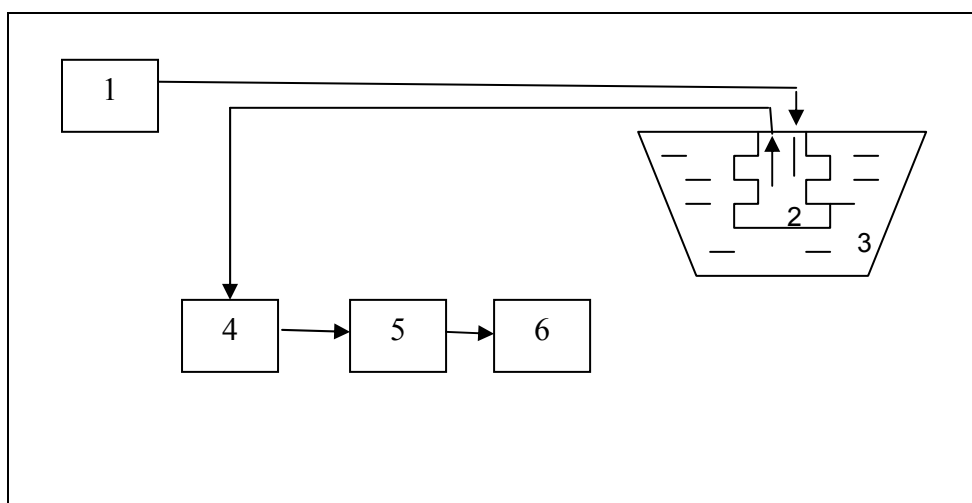


Рис. 1. Схема визначення швидкості поширення та поглинання ультразвуку в рідині зондовим методом

Генератор імпульсів збудження (1) подає електромагнітні імпульси на випромінювач ультразвукових коливань (УЗК), що вмонтований в корпусі (2) зонда.

Ультразвуковий імпульс після проходження звуководу відбивається двічі: на межі звуковід – рідина та, пройшовши товщину зразка дослідної рідини (3) між звуководом і дном посудини, тобто на межі рідина – дно посудини. Обидва відбиті імпульси приймаються випромінювачем (2), що тут працює як приймач, та подаються на підсилювач (4), на обчислювальний (5) та індикаторний блоки (6). Картина імпульсів, що утворюється на табло індикаторного блоку, має вигляд, показаний на *рис. 2*.

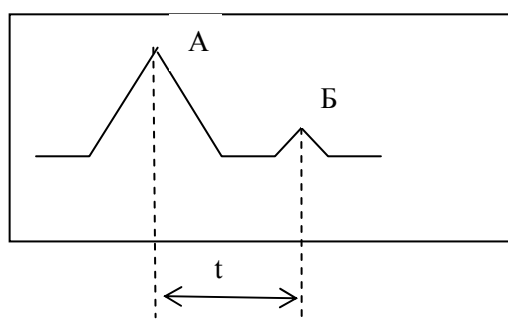


Рис. 2. Картина ехо-імпульсів, що виникають при вимірюванні швидкості та поглинання УЗК в рідинах зондовим методом

Імпульс А відбивається на межі звуковід – рідина, імпульс Б – на межі рідина – дно посудини, тому швидкість поширення ультразвуку, м/с, визначатиметься співвідношенням:

$$C = \frac{2h}{t}, \quad (1)$$

де h – товщина стовпа рідини між дном посудини та звуководом (товщина зразка), м;

t – проміжок часу між імпульсами А та Б, с.

Поглинання ультразвуку А при цьому визначатиметься із співвідношення:

$$A = A_0 e^{-\alpha x}, \quad (2)$$

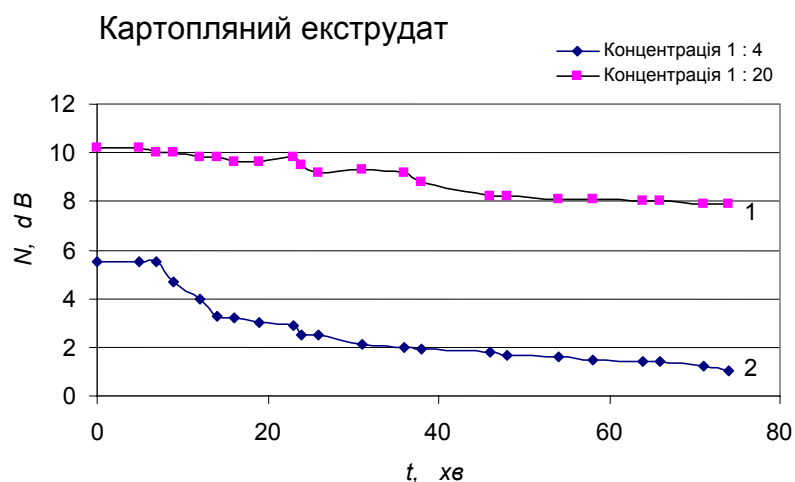
де A та A_0 – амплітуди імпульсів А та Б відповідно;

α – коефіцієнт згасання імпульсів; $x = 2h$.

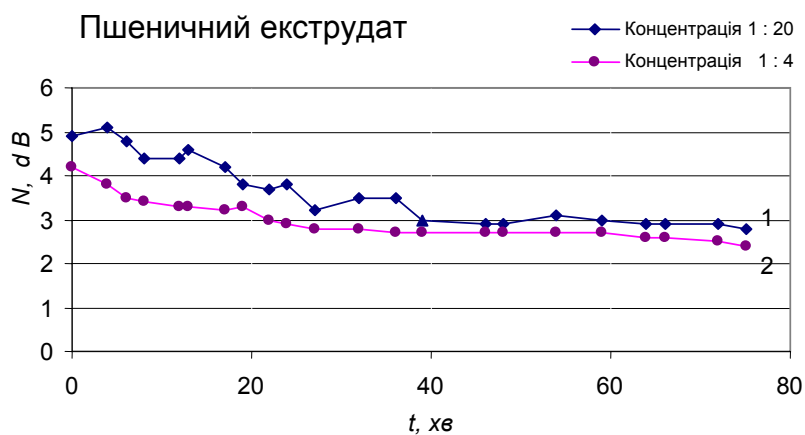
Досліджено згасання звукових хвиль під час набухання екструдованих пшеничного й картопляного крохмалів у воді при температурі 18 °С, тобто відстежено кінетику процесу набухання молекул крох-

малу у воді. Кількість розчинника (води) змінювали від 20 до 4 мас. ч. відносно крохмалю (співвідношення 1 : 4 відповідає одній частині крохмалю та чотирьом частинам води). Одержані кінетичні криві для таких концентрацій розчинника зображено на *рис. 3*. По ординаті відкладено рівні інтенсивності поглинання ультразвукових хвиль, які збільшені в 10 разів, тобто:

$$N = K \cdot 10 \ln \left(\frac{A_0}{A} \right), \text{ dB.} \quad (3)$$



а



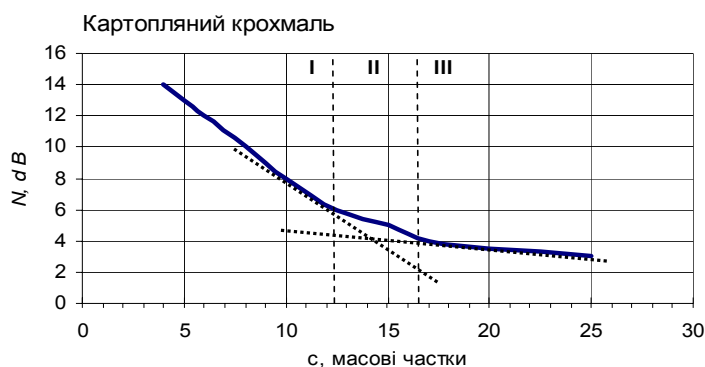
б

Рис. 3. Інтенсивності поглинання ультразвуку залежно від концентрації розчинника для екструдатів картопляного (а) та пшеничного (б) крохмалів

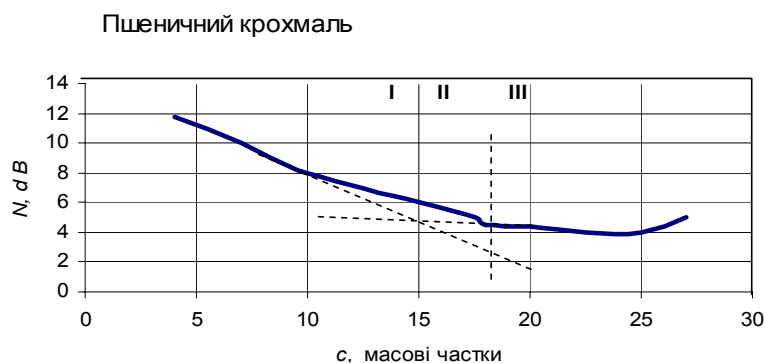
Залежність інтенсивності поглинання ультразвуку від часу визначено на частоті 10 МГц. Вона має нелінійний характер. У перші хвилини взаємодії поглинання ультразвукових хвиль інтенсивно зменшується, потім воно дещо уповільнюється, переходячи в горизонтальну пряму. Горизонтальна ділянка кривої свідчить про закінчення процесу набухання. Так, для екструдованого картопляного крохмалю (рис. 4 а) при малій концентрації (1 : 20) цей процес закінчується через 15–20 хв. Для концентрацій 1 : 4 набухання проходить повільніше й закінчується через 60 хв, що, можливо, зумовлено незначною кількістю розчинника, який швидко поглинається зернами крохмалю і, набухаючи, вони дотикаються один до одного, що й сповільнює їх ріст.

Подібні залежності отримано також для пшеничного крохмалю (рис. 4 б): для $c = 1 : 20$ процес набухання закінчується через 30–35 хв, а для $c = 1 : 4$ – через 40–45 хв, хоча зменшення інтенсивності поглинання зернами крохмалю води спостерігається значно раніше (до 20-тої хв), ніж для малих концентрацій.

Для визначення оптимальних співвідношень розчинника й крохмалю досліджено залежність рівня поглинання ультразвукової хвилі від концентрації крохмалю у розчині. Для дослідних крохмалів цей рівень має нелінійний характер (див. рис. 4).



а



б

Рис. 4. Залежність рівнів поглинання екструдатів картопляного (а) та пшеничного (б) крохмалів від концентрації розчинника

Для розчину екструдованого картопляного крохмалю при різній кількості води функція $N = f(c)$ лінійно зменшується. Криву поглинання ультразвукових хвиль умовно можна поділити на три зони. Для III зони (співвідношення між крохмалем і водою більше 1 : 16) характерне повне набухання частинок крохмалю у воді, які через її велику кількість перебувають у зваженому стані, при якому їхні молекули розміщуються далеко одна від одної. У зоні II (співвідношення від 1 : 12 до 1 : 16) набухлі частинки починають торкатися одна до одної, а в зоні I (співвідношення менше 1 : 12) при великій концентрації крохмалю зерна починають злипатися поверхнями внаслідок недостатньої кількості розчинника.

Подібні зони виділено також для пшеничного крохмалю. Зона нелінійності лежить у діапазоні концентрацій, що відповідають співвідношенню між крохмалем і водою 1 : 15 і 1 : 18.

Таким чином, використання ультразвукового методу дослідження процесів набухання екструдатів є доцільним для визначення оптимальних концентрацій крохмалів у воді.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андреев Н. П. Основы производства нативных крахмалов / Н. П. Андреев. — М. : Пищепромиздат, 2001. — 281 с.
2. Ліпець А. А. Технологія крохмалю та крохмалепродуктів / А. А. Ліпець. — К. : РВЦ НУХТ, 2003. — 164 с.
3. Кобилінська О. В. Розроблення раціональних технологій харчоконцентратів швидкого приготування на основі екструдованої крохмалемісткої сировини : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01 : захищена 04.10.00 : затв. 08.11.00 / О. В. Кобилінська. — К., 2000. — 147 с.
4. Літвак В. В. Порівняльна оцінка властивостей деяких видів крохмалю та їх вплив на якість хлібних виробів / Літвак В. В., Лісовська Д. П., Грабовська О. В. // Цукор України. — № 4 (64). — 2011. — С. 48—54.
5. Штангеева Н. І. Дослідження ефективності способів фракціонування крохмалю і аналіз отриманих продуктів / Штангеева Н. І., Майданець О. М., Гордійчук Н. І. // Наукові пр. НУХТ. — 2007. — № 20. — С. 5—8.
6. Уханова А. В. Дослідження впливу електромагнітного поля НВЧ на процес окислення крохмалю пероксидом водню / Уханова А. В., Парняков О. С., Гордійчук Н. І. // Цукор України. — № 1. — 2008. — С. 34—36.
7. Грабовська О. В. Дослідження реологічних характеристик клейстерів окисленого крохмалю / Грабовська О. В., Парняков О. С., Ковалевська Є. І. // Наукові пр. НУХТ. — 2010. — № 32. — С. 75—77.
8. Мельник О. Ю. Дослідження технологічних властивостей модифікованих крохмалів і доцільність їх використання при виготовленні харчових концентрацій швидкого приготування : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01 : захищена 19.10.05 : затв. 15.12.05 / О. Ю. Мельник. — К., 2005. — 163 с.

Стаття надійшла до редакції 18.06.2012.

Форостяна Н., Баглиук С., Лазаренко М. *Ультразвуковые исследования набухания крахмалов в воде. Рассмотрен механизм набухания водорастворимого крахмала в воде. Предложен ультразвуковой метод определения оптимальной концентрации крахмала в воде для разработки рациональных технологий пищевых концентратов быстрого приготовления на основе экструдированного крахмало-содержащего сырья.*

Ключевые слова: экструдированные крахмалы, ультразвуковые методы исследования, эхо-пульс, кинетика процесса набухания крахмала.

Forostyana N., Bagliuk S., Lazarenko M. *Ultrasound researches of starch swelling in water. A lot of different biologically active substances and additives are used in the modern nutrition. Modified starch has the status of food additives according to the Codex Alimentarius.*

The application of different methods of native starch processing enables to alter its structure and properties significantly. One of these properties is hydrophilicity. Starches with modified hydrophilic properties form a large group of modified starches that tend to swell.

The composition of the feedstock, the physical structure of dried and powdered starch, particle size after grinding, its porosity, thickness of the dried film paste affect on the properties of starches to swell.

The aim of the research is to determine the optimal concentration of starch in water for the development of sustainable technologies of food concentrates of fast preparation, which are based on the extruded starch raw materials.

The object of the research is extruded potato and wheat starches.

Research was conducted at medium and high frequencies on ultrasound installation US-12-EM, which enables to measure the change of wave absorption depending on the concentration of the solvent.

Attenuation of sound waves during swelling of the extruded potato and wheat starches in water at 18 °C was investigated. Thus kinetics of the starch molecules swelling in water was traced. Amount of solvent (water) is changed from 20 to 4 mass fractions relatively to starch. The authors researched dependence of ultrasonic wave absorption on the concentration of starch in solution for determining the optimal ratio of solvent and starch.

Descending curve of ultrasonic wave absorption for solution of extruded potato starch can be divided into three zones. Zone III is characterized by the complete swelling of starch particles in water, which are in a suspended state considering its large number while their molecules are placed far apart from each other (value between starch and water is more than 1 : 16). Swelling particles begin to touch each other in zone II (the ratio is from 1 : 12 to 1 : 16), and grains begin to stick with each other due to the lack of solvent at high concentrations of starch in zone I (ratio less is from 1 : 12).

Similar areas for wheat starch were determined too. Zone of nonlinearity is in the range of concentrations that correspond to the optimal ratio between starch and water 1 : 15 and 1 : 18 respectively for solutions of potato and wheat starches. Thus using ultrasound research for swelling process of extruded products is appropriate to identify optimal concentration of starch in water.

Key words: extruded starch, ultrasound methods of research, echo impulse, kinetics of the starch swelling.