

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДА ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ В ТЕХНОЛОГІЯХ ОБРОБКИ КРОХМАЛЕВМІСНОЇ СИРОВИНИ

Ободович О.¹, Сидоренко В.¹, Булій Ю.^{1,2}, Степанова О.¹

¹Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна

²Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Згідно з Міжнародною стандартною галузевою класифікацією всіх видів економічної діяльності (ISIC – International Standard Industrial Classification of All Economic Activities) харчові виробництва віднесено до розділу обробної промисловості, самостійними підрозділами в якій виділено виробництво харчових продуктів, виробництво напоїв і виробництво тютюнових виробів; в підрозділі харчових виробництв виділено 13 галузей, зокрема молочна, масложирова, крохмальна, хлібобулочна, цукрова, макаронна, виробництва готових до споживання страв, виробництво кормів для худоби. Виробництво напоїв охоплює виробництво безалкогольних напоїв та мінеральної води, виробництво алкогольних напоїв, що отримуються переважно шляхом зброджування, пива та вина, виробництво дистильованих алкогольних напоїв.

Все різноманіття технологій харчової промисловості пов'язане з реалізацією процесів, що можна поділити на чотири основні групи: механічні, гідромеханічні, теплові та масообмінні. Наразі, на стадії становлення знаходиться великий та перспективний розділ технології-біотехнологія [1].

До основних процесів в харчових технологіях можна віднести перемішування, гомогенізацію, диспергування, емульгування, нагрівання. Одним з пріоритетних напрямків вдосконалення технологій в харчовій промисловості є ефективне поєднання декількох процесів та інтенсифікація цих процесів в часі та за ступенем впливу.

До методів, що дозволяє успішно вирішувати задачу інтенсифікації цих процесів можна віднести метод дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ),

розроблений в Інституті технічної теплофізики НАН України [2]. Метод реалізується в декількох видах обладнання, найпоширенішим з яких є роторно-пульсаційний апарат (РПА), або high shear mixer (HSM), high shear reactor (HSR), rotor-stator mixer, high shear homogenizer в англійській літературі. РПА, зазвичай, складається з розташованих в корпусі співвісних статора (-рив) та ротора (-рив) у формі обичайок з прорізаними в них наскрізними отворами прямокутної форми [3].

В харчовій промисловості традиційним є використання РПА для одержання емульсій як з високою так і з низькою в'язкістю (заправки для салатів, соуси, творожні плодоовочеві та кисломолочні десерти, пюре, соуси, креми). У цих продуктах РПА також допомагають диспергувати згущувачі. РПА також використовуються для диспергування штучних підсолоджувачів. Застосовуються РПА для обробки як однофазних, так і для багатофазних систем. У однофазних системах вони дуже ефективні для змішування рідин різної в'язкості (наприклад, кукурудзяний сироп і вода); у багатофазних системах їх використовують для емульгування рідин, що не змішуються (наприклад, майонез), для деагломерації та рівномірного диспергування наночастинок у рідині (наприклад, сіль і цукор у воді, кукурудзяне борошно у воді), а також суспендування дрібних бульбашок повітря (наприклад, в морозиві) [4].

В різні роки метод ДІВЕ було застосовано в технології виробництва стуженого молока [5], для інтенсифікації виробництва глюкозно-фруктозних сиропів [6], на основі методу розроблено і впроваджено технологію приготування гомогенізованої соєвої пасти для дитячого харчування [7-9] тощо.

Одним з найважливіших видів харчової сировини є зерно злакових культур. Зерно злаків є вихідною сировиною для низки харчових виробництв, його попередня обробка для вивільнення крохмалю та інших поживних речовин є обов'язковою стадією.

Дослідження впливу обробки крохмалевмісної сировини методом ДІВЕ полягали у визначенні залежностей її якості обробки від наступних чинників:

- фізичні фактори (кутова швидкість обертання ротора, швидкість потоку середовища, зазор між ротором і статором, частота пульсацій, кількість циклів обробки) на середньоповерхневий розмір часток;

- вплив теплових ефектів на її дисперсність.

Дослідження проводили на експериментальній установці, зовнішній вигляд якої представлено на рис. 1.

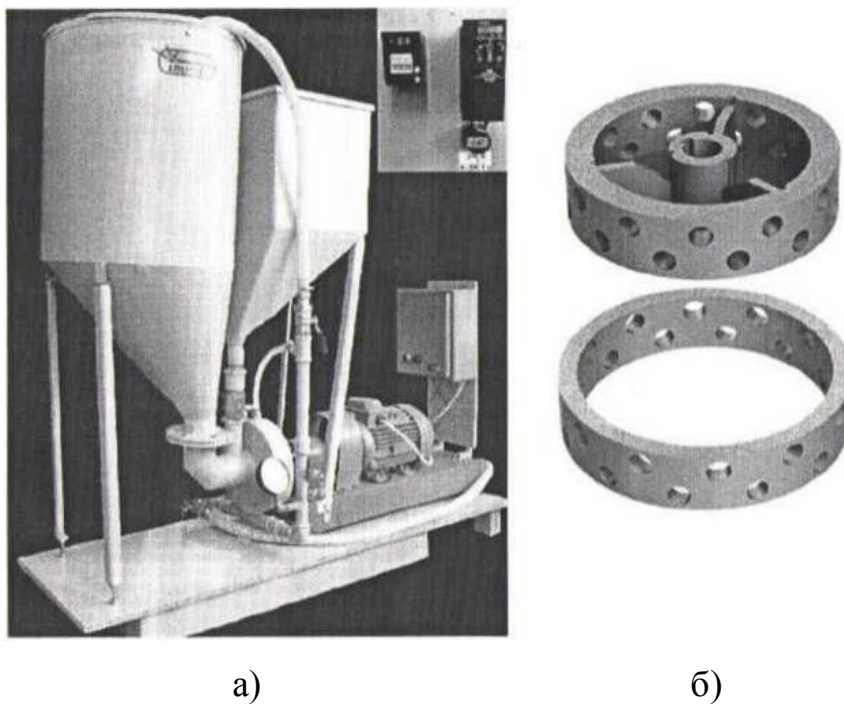


Рис. 1 Експериментальна установка по визначенню впливу обробки крохмалевмісної сировини методом ДІВЕ на її якісні властивості:

а) зовнішній вигляд установки; б) роторно-статорний вузол.

На першому етапі експериментів змінювали кутову швидкість обертання ротора і кількість циклів обробки. Кутову швидкість обертання ротора змінювали за допомогою частотного перетворювача. У таблиці 1 показано залежність зміни середньоповерхневого розміру часток від кутової швидкості обертання ротора і кількості циклів обробки водозернової суміші. Зазор між статором і ротором становив 500 мкм.

Дані таблиці дозволяють зробити висновок про те, що зі збільшенням кількості циклів обробки і кутової швидкості, середньоповерхневий розмір часток зернової сировини, що обробляється, зменшується.

Таблиця 1. Залежність середньоповерхневого розміру часток зернової сировини від кутової швидкості і кількості циклів обробки

№ проби	Кількість циклів	Кутова швидкість, c^{-1}	Середньоповерхневий розмір часток, мкм
1	3	180	700
2	5		570
3	10		500
4	20		420
5	30		350
1	3	300	660
2	5		510
3	10		400
4	20		310
5	30		260
1	3	420	640
2	5		480
3	10		390
4	20		280
5	30		220

У подальших дослідженнях вивчали вплив товщини зазору між статором і ротором на процес диспергування. Кутова швидкість була незмінною і становила $300 c^{-1}$.

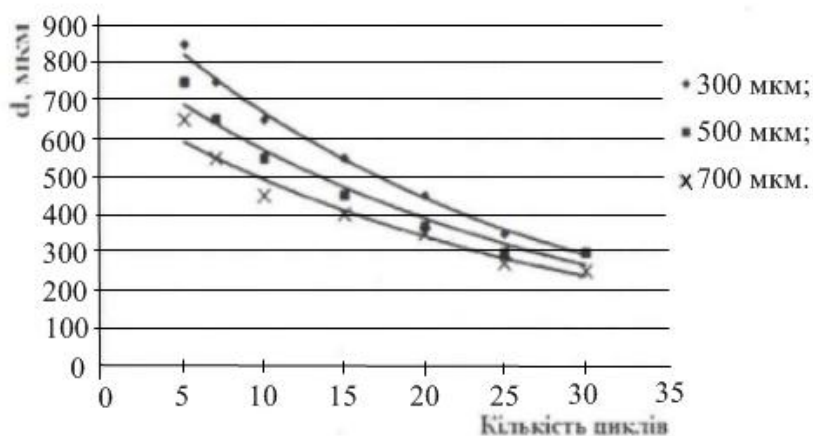


Рис. 2 Залежність середньоповерхневого розміру часток зернової сировини від товщини зазору і кількості циклів обробки

Криві, наведені на рис. 2, вказують, що зі зменшенням зазору між статором і ротором та збільшенням кількості циклів обробки, середньоповерхневий розмір часток зменшується.

На процес диспергування впливає кількість твердої фази в середовищі, що обробляється [10]. Для вивчення цього питання були проведені експерименти по визначенню впливу вмісту твердої фази на середньоповерхневий розмір часток. Вміст твердої фази в суміші становив 10, 30, 50 % від маси водозернової суміші.

Дослідження проводили при кутовій швидкості обертання ротора 300 с^{-1} , зазорі між ротором і статором 500 мкм, частоті пульсацій 3 кГц. Дані експериментів представлені на рис. 3.

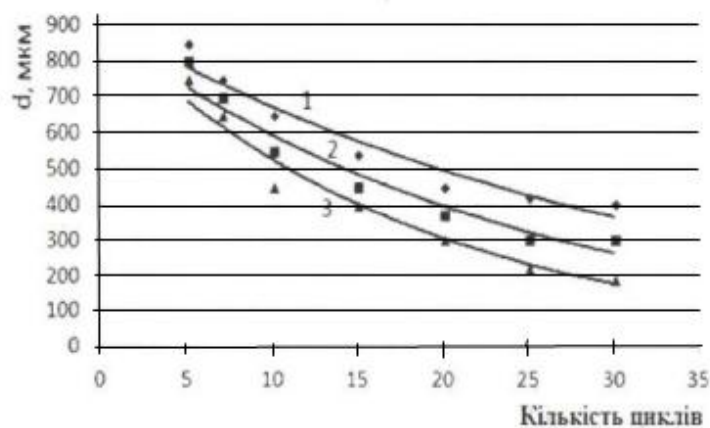


Рис. 3 Залежність середньоповерхневого розміру часток зернової сировини від кількості твердої фази і циклів обробки

З графіків видно, що зі збільшенням кількості твердої фази і циклів обробки, середньоповерхневий розмір часток зменшується. Найбільш ефективно обробляти зернову сировину з вмістом твердої фази 50 %. При цьому після 20 циклів обробки всі частки мають середньоповерхневий розмір менше 300 мкм. Це пояснюється тим, що при обробці суміші ударні навантаження виникають не тільки за рахунок контакту твердих частинок з робочими поверхнями РПА, а й один з одним. Чим більше твердої фази в суміші, тим більші ударні навантаження частинок між собою.

Відомо, що в ряді технологій пов'язаних з переробкою зерна його попередньо замочують [11].

У процесі замочування зерна досягається мета зміни структури білка, який зв'язує зерна крохмалю, ослаблення зв'язків зерен крохмалю, перетворення оболонки зерна з напівпроникну в повністю проникнену [12].

Замочування зерен – це один зі способів його розм'якшення. Зерно в воді вбирає вологу і збільшується в об'ємі, гідратація клітковини оболонки підвищує їх еластичність. Вода створює між складовими частинами зерна шари, які проявляють змащувальні і розклинюючі дії, що значно послаблює зв'язки між оболонками, зародком і ендоспермом. При проведенні експериментів зерно замочували при температурі 40-48 °С протягом 24-48 годин до вологості 35-45 %.

Встановлено, що під час замочування в розчин переходить 5-7 % розчинних речовин зерна. Тому при обробці водозернової суміші в РПА використовували отриманий розчин після замочування зерна.

Обмеження температури замочування до 48 °С пов'язане з можливим початком клейстеризації крохмалю, що міститься в зерні.

Замочене зерно з вологістю 35-45 % обробляли разом із отриманим розчином після його замочування в РПА до середнього діаметру частинок 300 мкм. Паралельно з цим було проведено дослідження по обробці водозернової суміші в РПА з незамоченим зерном.

Залежність зміни середнього діаметра частинок водозернової суміші від кількості циклів обробки і вологості представлена на рис. 4.

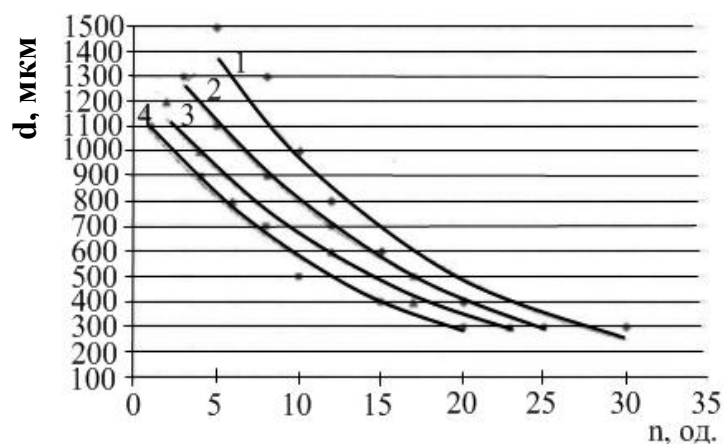


Рис. 4 Залежність зміни середнього розміру часток водозернової суміші від кількості циклів обробки та вологості зерна:

1 – 12 %; 2 – 35 %; 3 – 40 %; 4 – 45 %.

Крива 1 на рис. 4 відповідає обробці суміші незамоченого зерна вологістю 12 % з водою. Криві 3, 4, 5 відповідно замоченого зерна до вологості 35, 40 та 45 % відповідно. Встановлено, що збільшення вологості зерна в результаті замочування дозволяє зменшити кількість циклів обробки від 30 до 20-23 одиниць для досягнення середнього діаметра частинок 300 мкм.

У подальших дослідженнях було визначено вплив вологості замоченого і незамоченого зерна на зміну температури при обробці в РПА (рис. 5).

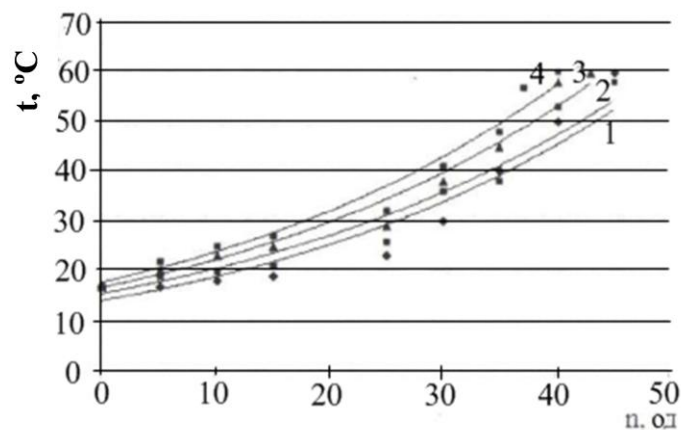


Рис. 5. Залежність зміни температури водозернової суміші від кількості циклів при вологості зерна: 1 – 12 %; 2 – 35 %; 3 – 40 %; 4 – 45 %.

З даного рисунку видно, що загальна тенденція всіх кривих спрямована на підвищення температури суміші зі збільшенням кількості циклів обробки. Від 5 до 25 циклів обробки температура суміші підвищується набагато менше, ніж від 25 і вище. Це пояснюється тим, що в початковий період обробки дисперсність не дуже велика. Зі збільшенням кількості циклів обробки понад 25, розмір часток стає рівним 300-500 мкм.

При такому розмірі частинок і температурі 30-35 °С відбувається початок клейстеризації крохмальних зерен, що різко підвищує в'язкість середовища. З підвищенням в'язкості зростає енергія дисипації і, як наслідок, збільшується температура. Чим більше вологість зерна, тим воно стає більш набряклим, міжмолекулярні зв'язки слабшають і процес диспергування проходить швидше. Отже, швидше проходить клейстеризація крохмалю і швидше підвищується температура. Зі збільшенням вологості зерна від 12 до 45 % при 30 циклах обробки температура підвищується від 30 до 40 °С.

За результатами проведених експериментів можна зробити висновки про те, що попереднє замочування зерна протягом 48 годин водою з температурою 45 °С, позитивно впливає на подальшу його переробку в РПА. На 20-25 % знижується тривалість диспергування, в 1,2-1,3 рази швидше проходить підвищення температури суміші і на 15-20 % знижується споживана потужність РПА. Зменшення кількості циклів обробки призводить до зниження тривалості процесу диспергування і зниження енерговитрат [13].

Результати досліджень дозволили вдосконалити технологію приготування сусла спиртового виробництва [14].

Додавання в технологічну схему роторно-пульсаційного апарата дозволило знизити енерговитрати на 30 % в процесі розварювання, скоротити тривалість процесу в два рази, зменшити втрати зароджуваних речовин від 8-10 % до 2-4 %, збільшити вихід спирту з одиниці сировини на 1,5-3,0 %.

Диспергування крохмалевмісної сировини та її розварювання є також етапами виробництва рідких кормів для худоби, зокрема свиней. Основну частину комбікорму складають зернові злакові, оскільки в них в значних кількостях містяться такі життєво важливі елементи: вуглеводи, мінеральні речовини, вітаміни. Вдосконалення технології приготування рідких кормів шляхом використання РПА в якості диспергатора-змішувача водозернової суміші призвело до значного економічного ефекту [15, 16].

Висновки

Метод дискретно-імпульсного введення енергії, як метод, що інтенсифікує процеси тепло- і масопереносу в двох- або багатокomпонентних системах “газ-рідина”, “рідина-тверде тіло” знайшов широке застосування в різних галузях промисловості, зокрема харчовій. Застосування метода ДІВЕ дозволяє знизити енергетичні витрати на проведення процесів перемішування, гомогенізації, диспергування, емульгування, нагрівання, знизити тривалість цих процесів, зменшити кількість обладнання.

Список літератури

1. Иванец В.Н., Бакин И.А., Ратников С.А. Процессы и аппараты пищевых производств: Учебное пособие. / Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2004. – 180 с.
2. Микро- и наноуровневые процессы в технологиях ДИВЭ: Тематический сборник статей / под общей ред. А.А. Долинского; Институт технической теплофизики НАН Украины. – К.: Академперіодика, 2015. – 464 с.
3. Накорчевский А.И., Басок Б.И., Рыжкова Т.С. Гидродинамика роторно-пульсационных аппаратов. Инженерно-физический журнал, 2002. – Т. 75, № 2. – С. 58-68.
4. Rodgers T. High-Shear Mixing: Applications in the Food Industry [Электронный ресурс] / T. Rodgers, L. Trinh // Elsevier BV. – 2016. Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03095-X>.
5. Басок Б.И. Интенсификация технологии производства сгущенного молока с сахаром посредством роторно-пульсационных аппаратов / Б.И. Басок, А.Н. Ободович, М.П. Мартыненко, А.Р. Коба, О.А. Горячев // Пром. теплотехника. – 2005. – 27, № 1. – С. 38-41.
6. Ободович А.Н. Интенсификация производства глюкозо-фруктозных сиропов за счет механохимической деструкции / А.Н. Ободович, М.А. Хибна, Л.А. Боряк, А.А. Ободович, А.И. Тесля // Пром. теплотехника. – 2006. – Т. 28, № 3. – С. 44-49.
7. Басок Б.И. Дисперсный анализ соевой пасты, полученной при роторно-пульсационной гомогенизации / Б.И. Басок, И.А. Пироженко, Д.В. Булавка // Пром. теплотехника. – 2003. – Т. 25, № 4. – С. 88-92.
8. Грищенко А.В., Терлецкая Я.Т., Шаркова Н.А., Жукотский Э.К. Разработка высокобелковых композиций на соевой основе для лечебно-профилактического питания // Пром. теплотехника. – 2003. – Т. 25, № 4. – С. 115-116.

9. Шаркова Н.О. Особенности технологии производства соевых продуктов / Н.О. Шаркова, Е.К. Жукотский, Г.В. Грищенко // Пром. теплотехника. – 2004. – Т. 26, № 6. – С. 93-96.

10. Долинский А.А., Басок Б.И. Роторно-импульсный аппарат. 2. Локальный импульсный нагрев жидкости // Промышленная теплотехника. – 1999. – Т. 21, № 1. – С. 3-5.

11. Мальцев П.М. Технология бродильных производств. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 596 с.

12. Ліпець А.А. Технологія крохмалю та крохмалепродуктів: навч. посібник. – К.: НУХТ, 2003. – 168 с.

13. Ободович А.Н. Особенности переработки влажного зерна в роторно-пульсационном аппарате (РПА) / А.Н. Ободович, А.Ю. Лымарь // Энергетика та автоматика, 1999. – № 3. – С. 119-123.

14. Ободович А.Н. Совершенствование технологии приготовления суслу из крахмалосодержащего сырья в спиртовом производстве с применением дискретно-импульсного ввода энергии / А.Н. Ободович, Т.Л. Грабова, А.Р. Коба, О.А. Горячев // Пром. теплотехника, 2007. – Т. 29, № 4. – С. 59-63.

15. Ободович А.Н. Совершенствование технологии приготовления комбикормов для сельскохозяйственных животных с применением метода дискретно-импульсного ввода энергии (ДИВЭ) / А.Н. Ободович, А.Ю. Лымарь, В.В. Сидоренко, И.Н. Миронец, А.С. Бачинский // Науковий вісник НУБІП 174, 2012. – С. 148-153.

16. Ободович А.Н. Использование дискретно-импульсного метода ввода энергии (ДИВЭ) для интенсификации приготовления жидких кормов для сельскохозяйственных животных на основе барды / Ободович А.Н., Сидоренко В.В., Лымарь А.Ю., Миронец И.Н. // Вібрації в техніці та технологіях, 2013. – № 2 (70). – С. 190- 195.