

12. Очищення елементів гідроапаратури за допомогою кавітаційних технологій. / Тарасенко Т.В, Зайончковський Г.Й. – Technology and production reserves - №2/2(10), 2013. – С 7-10.
13. Пат. 2448810 Российская Федерация, МПК7 В22F9/24 ,В82В3/00. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА / Галиахметов Р. Н., Мустафин А. Г., Шарипов Т. В., Шарипов Т. И.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Башкирский государственный университет" (ГОУ ВПО БашГУ). – № 2011113035/02; 05.04.2011; опубл. 27.04.2012.
14. Пат. 81835 Україна, МПК7 F24J 3/00 СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОКИСНО-ВІДНОВНОЇ РЕАКЦІЇ В РІДИНІ, ЯКА ПІДЛЯГАЄ КАВІТАЦІЇ/ ГЛОТОВ Є. О., СУРНЄВ В. О., ЩЕБЕТУН В. І. заявник и патентовласник ГЛОТОВ Є. О., СУРНЄВ В. О., ЩЕБЕТУН В. І – № u201301309, 04.02.2013; опубл. 10.07.2013, бюл. № 13.
15. Пат. 2424194 Российская Федерация, МПК7 C02F1/34 СПОСОБ ДЕЗИНФЕКЦИИ ВОДЫ/ Ковалев А. К., Сидоров С. М.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "ГИДРОМАШ ЭКОЛОГИЯ" – № 2009140635/05, 02.11.2009; опубл. 20.07.2011.
16. Пат. 2396216 Российская Федерация, C02F1/34. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ / Новиков С. А., Кузнецов А. В., Алешин А. А. ; заявитель и патентообладатель Новиков С. А., Кузнецов А. В., – № 2008146492/15, 26.11.2008; опубл. 10.08.2010.
17. Використання ефектів кавітації для оброблення рідких середовищ. /Матияшук А.М., Матияшук О.В. – Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2013. Доклад/ Технические науки , Технологии продовольственных товаров – SWorld – 18-29 June 2013.
18. Пат. 95112627 Российская Федерация, МПК7 A23L1/236. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИНУЛИНА/ Голубев В.Н., Волкова И.В.; заявитель и патентообладатель Институт экологии человека АТН РФ– № 95112627/13, 27.07.1995; опубл. 10.10.1996.
19. Пат. 2007120349 Российская Федерация, МПК7 B01F3/00. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ДИСПЕРСИЯ/ ПОЛЕН Алфред, СПЕДДИНГ Джеффри, КЕРН Герхард; заявитель и патентообладатель ПОЛЕН Алфред, СПЕДДИНГ Джеффри,– № 2007120349/15, 31.05.2007; опубл. 10.12.2008

УДК 66.047

СУЧАСНІ МЕТОДИ ВПЛИВУ НА СТРУКТУРУЮЧІ ВЛАСТИВОСТІ СКЛАДНИХ МАТЕРІАЛІВ ЯК ОБ'ЄКТІВ РОЗПИЛЮВАЛЬНОГО СУШІННЯ

Долінський А.А. академік НАН України, Турчина Т.Я. ст. наук. співр., канд. техн. наук,
Жукотський Э.К. ст. наук. співр.
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

Досліджено вплив гідродинамічної обробки рідинних гетерогенних систем та структуруючих добавок на формо- та структуроутворюючі властивості матеріалів при розпилювальному сушінні.

Studied the influence of hydrodynamic fluid handling heterogeneous systems and application structuring additives on the formation and structure-properties of materials in spray drying.

Ключові слова: дискретно-імпульсне введення енергії, гетерогенна система, структуровання, розпилювальне сушіння.

Ефективність висушування багатьох матеріалів методом розпилювання залежить від цілого комплексу факторів, ключовими серед яких, що визначають кінетику процесу і характеристики отриманих порошків, є процеси формо- та структуроутворення [1, 2]. При розпилювальному сушінні особливо важливо, щоб в момент відриву краплі від кромки дискового розпилювача, вона мала сферичну форму, на її поверхні в процесі зневоднення утворилась достатньо міцна структура кірочки, здатної забезпечити миттєве висушування і збереження її первинної форми, а внутрішня її структура була максимально щільною, монолітною. Тому питання структуровання матеріалів є актуальним при створенні технологій отримання порошкової форми різних за природою і зовсім нових композиційних матеріалів, у т.ч. збагачених біологічно активними речовинами, лікувальних засобів, функціональних ліпосомальних препаратів і т.д.

Відкладення порошку або адгезійні утворення продукту в розпилювальній камері залежать від процесів формо- та структуроутворення при зневодненні крапель і обумовлені фізико-хімічним складом вихідного матеріалу або недосконалістю його вихідних параметрів на момент подачі в сушильну камеру

[3-10]. Висока в'язкість розчину при дисковому розпилюванні погіршує умови його поділу на краплі сферичної форми. При вмісті сухих речовин в розчині до 10 % втрати продукту з відпрацьованим повітрям пов'язані з проблемою циклонної сепарації часток розміром до 10 мкм. При розпилювальному сушінні харчових гетерогенних систем ймовірно зростання показників кислотності, через що підвищуються термопластичні, адгезійні якості матеріалів і погіршуються умови їх висушування, а наявність в суспензіях часток розміром ≥ 300 мкм неприпустима, оскільки призводить до низки негативних наслідків [3].

Складності процесу сушіння колоїдних розчинів пов'язані з опором процесам вологопереносу з боку утвореної на поверхні краплі в'язкої оболонки: збільшується час їх сушіння, що вимагає більших габаритів сушильної камери, для чого доцільно проводити уточнений розрахунок її діаметра з урахуванням малої дифузійної здатності цих систем при сушінні і організації стадії досушування порошку в камері або поза її межами [3, 7 – 9]. Крім того, в стадії кипіння таких розчинів під кіркою відбувається багатократне роздування часток, які по завершенні процесу залишаються більшими за початкові $\delta_{\text{кін}} \geq \delta_0$. При транспортуванні таких часток у складі двофазного потоку до циклону певна їх частина при наявності термопластичних складових (соки, лецитин, солодовий екстракт) грудкується в результаті їх деформації, когезії та агломерації, що погіршує сипкість порошку, а у випадках більш крихкої структури часток - руйнується, перетворюючись на дрібнодисперсну фракцію з розміром часток ≤ 10 мкм, що ускладнює її циклонну сепарацію і сприяє втратам продукту з відпрацьованим теплоносієм.

Мета даних досліджень полягала у визначенні ефективних методів покращення формо- та структуроутворюючих властивостей матеріалів як об'єктів розпилювального сушіння, збільшення виходу порошкового продукту та підвищення його якості.

Дослідження проводились в Інституті технічної теплофізики НАН України на стендовому та експериментальному обладнанні, характеристики яких наведені у роботах [1 – 3].

У дослідженнях використовувались складні багатокомпонентні матеріали, при розпилювальному сушінні яких порошок відкладався або утворював адгезійний шар на стінках камери:

- гетерогенні системи - пасти і пюре із свіжої фруктово-овочевої, ягідної та зернової сировини [3 – 5];
- колоїдні розчини, зокрема жиро- та вуглеводовмісні продукти – солодові і полісолодові екстракти, розчини фосфоліпідів та ін. [3, 6 – 9].

Вплив на властивості складних рідинних систем проводилось за умов дії на них різними чинниками:

- методом дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ-обробки), який реалізовувався у роторно-пульсаційних апаратах дискового та циліндричного типу;
- структурування матеріалу шляхом введення структуруючої добавки під час його ДІВЕ-обробки;
- змінення вмісту сухих речовин шляхом концентрування самого рідинного продукту, за рахунок введеної структуруючої добавки і створення композиційного складу на їх основі;
- змінення температурних режимів сушіння та охолодження часток матеріалу.

ДІВЕ-обробка гетерогенних систем із свіжої нефракціонованої сировини у лічені хвилини (до 5 хв) покращує їх реологічні властивості, поліпшує умови їх подачі в камеру сушарки, забезпечує однорідність дисперсного складу крапель у факелу розпилу і рівномірність їх висушування. Це стало можливим завдяки підвищенню ступеня дисперсності часток нерозчинних фракцій гетерогенних систем, як видно на рис. 1, в результаті їх ДІВЕ-обробки у роторно-пульсаційному апараті циліндричного типу [3].

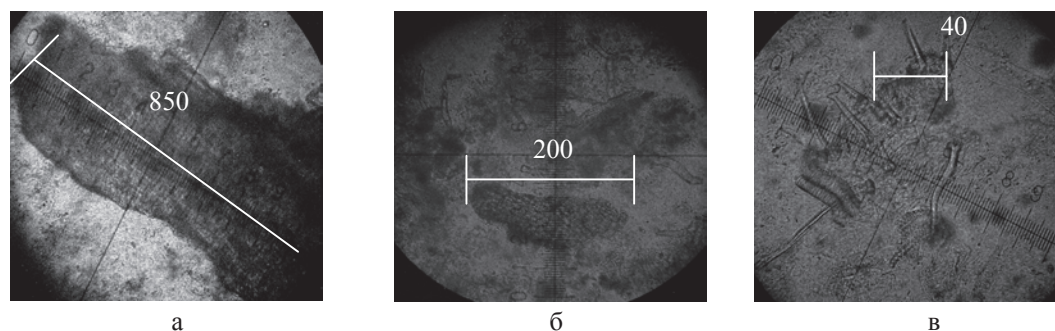


Рис. 1 – Динаміка змінення дисперсного складу часток нерозчинних фракцій фруктово-овочевого пюре в процесі його ДІВЕ-обробки протягом: а) 1 хв; б) 2 хв; в) 5 хв. Масштаб: 1 поділка = 4 мкм

Як виявилось, при гідродинамічній обробці вихідних сировинних матеріалів проблеми відкладень й грудкування порошоків, адгезійних явищ в сушарці, гігроскопічності порошоків та малого терміну їх зберігання не вирішуються. Для вирішення цих питань нами було вивчено фізико-хімічний склад продуктів з

фруктово-овочевої, ягідної, зернової сировини як об'єктів розпилювального сушіння [3, 10]. Більшість з них (малина, вишня, томати та ін.) містять кислоти низької температури плавлення, що обумовлює підвищену термопластичність і адгезійність цих порошків в сушильній камері.

Крім того, певна частина висушених часток, отриманих з нормалізованих за дисперсним складом фруктово-овочевих суспензій, представляють окремі фрагменти клітковини з відкритими для негативно впливу температури та кисню з повітря структурами м'якоті (рис. 2, а), вкритими тонким шаром сухих речовин соку, у т.ч. тих, що проявляють термопластичні властивості. Решта часток (рис. 2, б), сформованих з мікрочасточок більш дрібної фракції дисперсної фази, мають округлу форму, але виражена рихлість, пористість їх поверхонь обумовлює гігроскопічність і скорочення терміну їх зберігання [3, 11, 12].

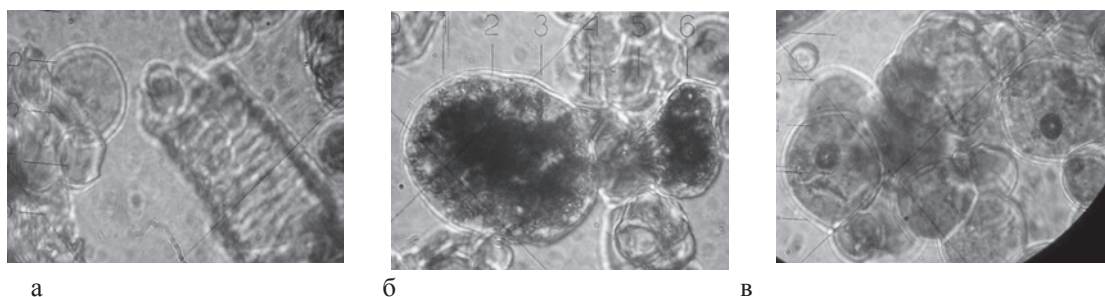


Рис. 2 – Мікроструктура часток фруктово-овочевих порошків, одержаних на сушарці РЦ-1,3 (масштаб: 1 под.=16 мкм) при ДІВЕ-обробці продукту а, б) без структуруючої добавки; в) із структуруючою добавкою

Термопластичні і адгезійні властивості проявляли й частки солодових екстрактів та фосфоліпідів. При цьому вони мали роздуту, полу структуру, а їх розміри були переважно більші за початкові $\delta_{кін} \geq \delta_0$ (рис. 3, а-в). Навіть після охолодження до 20°C такі частки перебувати протягом 3-5 хв. у в'язкопластичному стані, проявляли адгезійні властивості і схильність до деформації і руйнування.

Для підвищення термостійких та паропровідних властивостей матеріалів застосовувались структуруючі декстриновмісні (патока, мальтодекстрин) і білкові добавки рослинного і тваринного походження.

Структуруючі добавки, як показали експериментальні дослідження, для підвищення ефективності їх структуруючої дії мали вводиться виключно при ДІВЕ-обробці вихідного матеріалу, що покращило умови висушування складних гетерогенних систем з плодово-ягідної сировини, солодових екстрактів, фосфоліпідів та ін. матеріалів, що містять високов'язкі і термопластичні складові [3-5, 10-12].

Мікроструктурний аналіз показав, що частки фруктово-овочевих порошків, висушені з декстриновмісними структуруючими добавками відрізняються сферичністю і більшою монолітністю, що сприяло покращенню їх структурно-механічних характеристик, а також захищеністю термолабільних структур м'якоті, як видно на рис. 2 (в), завдяки ефекту їх мікрокапсулювання при розпилювальному сушінні.

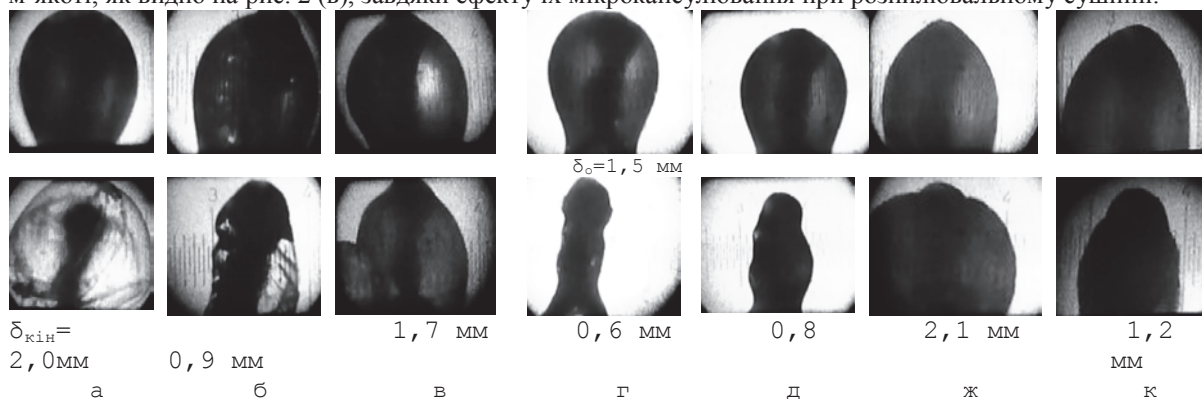


Рис. 3 – Форма та структура висушених часток при сушіння крапель колоїдних систем при температурі теплоносія 160 °С

а) розчин фосфоліпідів (Co=7,5%); б) розчин фосфоліпідів з глюкозою (Co=7,5%; 2:1); в) з мальтодекстрином (Co=10%; 1:1); г) з гідролізованим білком (Co= 7,5%; 2:1); д) з гідролізованим білком (Co= 10%; 1:1); ж) з соєвим ізолятом (Co= 15%; 2:1); з) з соєвим ізолятом (Co= 15%;1:2)

Застосування білкових добавок при сушінні розчинів солодових екстрактів та фосфоліпідів дозволило підвищити термостійкість матеріалу, а за рахунок ущільнення структури часток в процесі зневоднення, як видно на рис. 3(г, д, к), - покращити сипкі властивості порошку і уникнути відкладень в камері сушарки. У разі застосування соєвого ізоляту більш ущільнена структура часток, як видно на рис. 3 (к), досягалась при збільшенні його відсотку у складі суспензії фосфоліпідів до 66%.

Отже, при введенні структуруючих добавок під час ДІВЕ-обробки вихідних матеріалів як об'єктів розпилювального сушіння створюються умови не тільки для покращення їх вихідних та кінцевих характеристик, а й для більш ефективної роботи енергоємного тепломасообмінного обладнання [3-6, 11-16]. Тобто, застосування методу ДІВЕ із структуруючою добавкою дозволяє вирішити низку складних питань

на стадії підготовки матеріалів до сушіння:

- досягти ефекту консервації біологічно активних речовин в об'ємі гетерогенної системи;
- стабілізувати кислотність і уникнути процесів окислення і бродіння харчових середовищ;
- забезпечити обробку цих же матеріалів без істотного підвищення їх температури

($T_{\text{прод}} \leq 280\text{C}$);

- покращити реологічні властивості рідких гетерогенних систем;

в процесі розпилювального сушіння:

- досягти сферичності диспергованих крапель, більшої міцності і монолітності висушених часток, що дозволяє забезпечити сипкість порошку і своєчасне його видаленню з зони термічної дії;

- досягти ефекту мікрокапсулювання цінних біологічно активних речовин вихідної сировини (рис. 2, в) при розпилювальному сушінні, про що свідчить здатність плодово-ягідних порошоків зберігати високі органолептичні характеристики понад 2 роки;

- підвищити термостійкість матеріалів і підвищити вихід порошку з сушильної камери до 92-95%;

- скоротити час сушіння матеріалів в середньому на 20-25%;

- досягти максимально низьких показників вологості порошоків і здатність до тривалого зберігання;

- скоротити діапазон розмірів часток фруктових-овочевих та ягідних порошоків до 100-150 мкм.

На основі проведених досліджень для кожного з об'єктів розпилювального сушіння були визначені найбільш ефективні з досліджених структуруючих добавок та норми їх введення в залежності від хімічного складу сировинного продукту. Для плодово-ягідних гетерогенних систем найбільш ефективними виявились декстриновмісні добавки: патока і мальтодекстрин, а для розчинів на солодовій та фосфоліпідній основі - білки рослинного та тваринного походження: соєвий ізолят, сироватковий концентрат та їх суміші. Отриманий досвід впливу на структуруючі властивості матеріалів дозволив розширити асортимент об'єктів розпилювального сушіння з ряду високов'язких та жиромісних продуктів [3, 15, 16].

Експериментальні дослідження показали, що ДІВЕ-обробка складних систем на роторно-пульсацийному апараті і введення структуруючої добавки за визначеними її раціональними нормами дозволяє:

- в залежності від виду матеріалу підвищити температурний потенціал сушарки на 25...40 оС [3];

- збільшити її продуктивність на 25-30 % при зниженні енерговитрат на 20-25 % [3];

- підвищити якість порошоків, про що свідчать їх властивості і високий індекс розчинності [3, 15].

Технології отримання сухої форми таких складних матеріалів були відпрацьовані на експериментальній розпилювальній сушарці РЦ-1,3 та апробовані у промислових умовах заводу солодових екстрактів (м. Київ) на сушарці СУМ-1,5, розробленій Інститутом технічної теплофізики НАН України.

Висновки

Обробка складних гетерогенних систем з застосуванням методу ДІВЕ з одночасним введенням структуруючої добавки на стадії підготовки їх до сушіння дозволяє за рахунок структурування матеріалів покращити реологічні, структуроутворюючі та паропровідні їх властивості при сушінні, а завдяки ефекту мікрокапсулювання біологічно активних речовин при розпилювальному сушінні - підвищити температурні режими в сушарці, досягти мінімальної вологості порошку, збільшити його вихід, покращити якісні показники продукту і істотно збільшити термін його зберігання, що дає основу для створення нових сучасних технологій виробництва сухої форми складних термопластичних, адгезійних та гігроскопічних матеріалів для різних галузей народного господарства, у т.ч. у нанотехнологіях.

Література

1. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Оптимизация процессов распылительной сушки. – Киев: Наукова думка. – 1984.–320с.
2. Долинский А.А., Малецкая К.Д., Шморгун В.В. Кинетика и технология сушки распылением. – К.: Наукова думка. – 1987. –224 с.

3. Турчина Т.Я. Интенсифікація тепловологопереносу при розпилювальному сушінні термопластичних матеріалів з рослинної сировини // Автореф. дис.... канд.техн.наук.: 05.14.06. Турчина Тетяна Яківна. – К., 2011. - 26 с.
4. Малецкая К.Д., Турчина Т.Я., Заритовская А.Г., Переяславцева Е.А. Новые теплотехнологические аспекты получения методом распылительной сушки порошков из растительного сырья // Труды II-й Межд. науч.-практ. конф. "Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и тепловые процессы) СЭТТ-2005". Труды конф. Т.2. – Москва.: Изд-во ВИМ, 2005. - С.51-54.
5. Малецька К.Д., Турчина Т.Я. Удосконалення процесу тепломасообміну в технологіях розпилювального зневоднення нефракціонованої рослинної сировини./ Наукові праці ОНАХТ – Одеса, 2007.- Вип..30.- Т.1.-С.176-181.
6. Малецька К.Д., Турчина Т.Я. Вплив температурних режимів на ефективність процесу розпилювального сушіння солодових екстрактів./ Наукові праці ОНАХТ – Одеса, 2009.- Вип..35.- Т.2.-С.152-157.
7. Турчина Т.Я. Кинетика процессов тепловлагопереноса при сушке капель термопластичных материалов – солодовых экстрактов / Пром. теплотехника, 2010. – Т.32, № 3. – С.43-49.
8. Турчина Т.Я. Уточнений розрахунок габаритів дискових розпилювальних сушарок для адгезійних матеріалів // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2011. – Вип..39. – Т. 2. – С. 66-68.
9. Авдеева Л.Ю., Жукотский Э.К., Турчина Т.Я., Костянец Л.А., Ткаченко А.В. Исследование кинетики сушки капель водных суспензий лецитина // Пром. теплотехника, 2012. – Т. 34, № 2. – С. 54-58.
10. Турчина Т.Я. Фізико-хімічний склад і структуруюча здатність рослинних матеріалів розпилювального сушіння // Харчова і переробна промисловість, 2008. - №5.-С.17-20.
11. Турчина Т.Я. Микроструктурний аналіз ягідних та фруктово-овочевих порошоків, одержаних методом розпилювання // Харчова і переробна промисловість, 2008. - №6.-С.21-23.
12. Малецька К.Д., Турчина Т.Я., Сильянгіна Н.Б.Характеристики томатних порошоків, одержаних розпилювальним методом./ Наукові праці ОНАХТ – Одеса, 2008.- Вип..32.- Т.1.-С.232-235.
13. Авдеева Л.Ю., Жукотский Э.К., Турчина Т.Я., Костянец Л.А., Ткаченко А.В. Влияние углеводо- и белковосодержащих структурирующих добавок на кинетику сушки капель суспензий фосфолипидов и адгезионные свойства высушенных частиц // Пром. теплотехника, 2012.–Т. 34, № 4. – С. 18-23.
14. Авдеева Л.Ю., Жукотский Э.К., Турчина Т.Я., Костянец Л.А., Ткаченко А.В. Влияние белка как структурирующей добавки на кинетику сушки капель суспензии фосфолипидов // Наукові праці ОНАХТ. - Одеса, 2012. – Вип.41. – Т. 1. – С.57-60.
15. Патент на винахід ІТТФ НАН України № 104400 / Спосіб одержання сухого ліпосомального препарату / Долінський А.А., Шаркова Н.О., Авдеева Л.Ю., Жукотський Е.К., Турчина Т.Я., Ткаченко О.В. - Опубл.27.01.2014. Бюл. № 2.
16. Турчина Т.Я., Малецкая К.Д., Жукотский Э.К. Разработка теплотехнологии производства высококачественных порошков солодовых экстрактов методом распылительной сушки // Пром. теплотехника, 2011. – Т. 33, № 8. – С. 102-106.