

EXPERIENCE OF IMPROVEMENT OF SPRAY DRYER FOR THERMOPLASTIC MATERIAL EXTRACTORS

T. Turchyna, K. Maletzka, E. Zhukotskyi

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Key words:

*Spray dryer
Thermoplasticity
Adhesion properties
Improvement
Powder cooling
Separation*

Article history:

Received 03.12.2019
Received in revised form
19.12.2019
Accepted 17.02.2020

Corresponding author:

T. Turchyna
E-mail:
tbds_itf@ukr.net

ABSTRACT

The dry powder form of food products obtained from aqueous extracts of various vegetable raw materials may receive more common demand for their use as valuable with high content of biologically active components. But due to the problems arising in spray drying of complex colloidal and heterogeneous systems, which are the majority of plant extracts, and their thermoplastic, adhesion and hygroscopic properties, their production in powder form in Ukraine is still not established.

Approbation of the technology of drying malt extract, which was carried out on an industrial spray dryer universal modified (DUM) with a diameter of 1.5 m, with a productivity of 20—25 kg/h for evaporated moisture with a centrifugal disk sprayer, revealed number of problems in obtaining a powder product.

The purpose of the work was to improve the units of separation, cooling and unloading of the industrial sawing drying plant DUM-1.5 with determination of rational thermotechnical parameters of drying for obtaining powder form of malt extracts of low final moisture and increasing its yield from the spray dryer.

Improvement of the plant included increasing the height of the bunker under the cyclone and organizing the cooling of the powder in two stages using a screw cooler on the exit of the dryer and determination of rational heat technological modes of drying. This allowed to obtain powder with a moisture content of up to 2%, which contributed to lengthening its shelf life to 2 years, and due to better flowability of powder and lack of deposits of product, increases its yield to 93—95%.

The obtained experience of improving the DUM-1.5 dryer proves the necessity of taking into account the properties of such complex spray drying objects in the production of dry forms of malt or other extracts with similar properties under industrial conditions.

ДОСВІД УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗПИЛЮВАЛЬНОЇ СУШАРКИ ДЛЯ ЕКСТРАКТІВ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Т. Я. Турчина, К. Д. Малецька, Е. К. Жукотський

Інститут технічної теплофізики НАН України

Суха порошкова форма харчових продуктів, одержаних з водних екстрактів різноманітної рослинної сировини, може здобути більш поширений попит щодо використання їх як цінних, з високим вмістом біологічно активних компонентів. Але через проблеми, що виникають при розпилювальному сушінні складних колоїдних і гетерогенних систем, якими є більшість рослинних екстрактів, та їхні термопластичні, адгезійні та гігроскопічні властивості, виробництво їх у формі порошку в Україні досі не налагоджено.

Апробація технології сушіння солодових екстрактів, яка проводилась на промисловій розпилювальній сушарці універсальній модифікованій (СУМ) діаметром 1,5 м, продуктивністю 20—25 кг/год за випареною вологою з відцентровим дисковим розпилювачем, виявила низку проблем при отриманні порошкового продукту.

Мета дослідження полягала в удосконаленні конструкції вузлів сепарації, охолодження та вивантаження промислової розпилювальної сушильної установки СУМ-1,5 з визначенням раціональних теплотехнологічних режимних параметрів отримання порошкової форми солодових екстрактів низької кінцевої вологості і збільшення його виходу з розпилювальної сушарки.

Удосконалення установки, яке включало збільшення висоти бункера під циклоном і організацію охолодження порошку у дві стадії з використанням шнекового охолоджувача на виході із сушарки та визначення раціональних теплотехнологічних режимів сушіння дасть змогу отримувати порошок з вологістю до 3%, що сприятиме подовженню терміну його зберігання до двох років, а завдяки крапцкій сипкості і відсутності відкладень — збільшити його вихід до 93—95%.

Отриманий досвід удосконалення сушарки СУМ-1,5 доводить необхідність урахування властивостей таких складних об'єктів розпилювального сушіння при виробництві у промислових умовах сухої форми солодових або інших екстрактів з аналогічними властивостями.

Ключові слова: *розпилювальна сушарка, термопластичність, адгезійні властивості, удосконалення, охолодження порошку, сепарація.*

Постановка проблеми. Сухі порошкові продукти, одержані з екстрактів рослинної або зернової сировини, користуються широким попитом як інгредієнти з високим вмістом натуральних цінних біоактивних компонентів у виробництві функціональних напоїв і «збагачених» продуктів харчування спеціального призначення [1—3]. Але при розпилювальному методі сушіння, як показує досвід, порошки таких екстрактів у процесі висушування, сепарації, транспортування та вивантаження проявляють термопластичні, адгезійні й гігроскопічні властивостей [3; 4]. Це призводить до нестабільності процесу

розпилювального сушіння, відкладень часток продукту на стінках камери та ускладнень при вивантаженні порошку через його грудкування і зниження сипких властивостей.

Такі рослинні екстракти, які є складними багатокомпонентними рідинними системами, вимагають урахування при зневодненні у диспергованому стані реологічних характеристик початкового продукту, його кінетичних закономірностей при сушінні, які характерні для таких продуктів, а також технічних можливостей для визначення раціональних температурних режимів на різних стадіях процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження, що проводились в ряді європейських країн, зокрема у Фінляндії, Польщі, Італії, Білорусі та ін., а також в ІТТФ НАН України, показали, що, враховуючи вагомі переваги розпилювального методу сушіння для продуктів з високим вмістом біоактивних компонентів і редукуючих цукрів (>65%), найважливішим є визначення раціональних теплотехнологічних умов не тільки процесу зневоднення, а й охолодження висушених часток на виході з сушильної камери для надання їм більшої міцності і кращої сипкості.

Відкладення продуктів у камері розпилювальних сушарок при сушінні таких екстрактів, які являють собою колоїдні гетерогенні системи, що містять широкий спектр термолабільних поживних і біологічно активних речовин, у т.ч. високу кількість вуглеводів (понад 60...80%), кислот, біополімерів і високомолекулярних речовин [5], обумовлені їх хімічною природою і пов'язаними з нею теплофізичними і реологічними властивостями [6—9]:

- низька дифузійна здатність;
- висока в'язкість і низька текучість;
- термочутливість;
- нестабільність показників кислотності рідкого середовища (рН) при вмісті сухих речовин 35...50%.

Апробація технології сушіння солодових екстрактів на промисловій сушарці СУМ-1,5 продуктивністю 20—25 кг/год за випареною вологою показала, що отримати порошок солодового екстракту на цьому пристрої достатньо складно. В сушарці такої конструкції виявилось недостатньо часу для повного завершення стадії досушування частинок порошку, що викликало утворення адгезійних відкладень продукту в усіх вузлах установки та неможливість його транспортування й вивантаження. Лише при зниженні продуктивності сушарки у 2—3 рази було отримано порошок, що характерно для багатьох подібних колоїдних систем, але через значні відкладення вихід його був невисоким.

Дослідження кінетики сушіння крапель солодових екстрактів [4], що проводились на системі «крапля-парагазове середовище» на експериментальному стенді в статичних умовах, показали, що згідно з класифікацією матеріалів як об'єктів сушіння методом розпилювання [10] солодові екстракти з вмістом сухих речовин $\leq 45\%$ за характером термограм відносяться до підгрупи III-2, для яких процес зневоднення триває два періоди, але переважно у високотемпературному (сушильному) періоді з утворенням твердої фази з неміцною структурою, притаманною для колоїдних або колоїдних капілярно-пористих матеріалів. А з підвищенням концентрації сухих речовин до $\geq 45\%$,

що викликає збільшення в'язкості екстракту, і температури теплоносія до $\geq 190^{\circ}\text{C}$ солодові екстракти за характером термограм переходять до підгрупи III-3, для яких процес зневоднення відбувається виключно в сушильному періоді зі значним подовженням стадії досушування, викликаним опором процесу вологопереносу з боку утвореної на поверхні краплі ущільненої в'язкої кірочки. Саме з цим пов'язане налипання на всіх внутрішніх поверхнях сушильної установки СУМ-1,5 частинок порошку.

Найбільша інтенсивність тепловологопереносу при зневодненні крапель солодових екстрактів досягалась при вмісті сухих речовин $\leq 45\%$, а надання міцності висушеним часточкам — при їх охолодженні в режимі перемішування [3; 4; 9].

Особливості хімічного складу солодових екстрактів як об'єктів розпилювального сушіння визначають кінетику сушіння, морфологічні й адгезійні властивості висушених часток, структурно-механічні характеристики порошку.

У табл. 1 наведено вміст основних складових двох видів солодових екстрактів: полісолодового (далі по тексту ПСЕ), ячмінно-солодового (далі — ЯСЕ), що виробляють в Україні у формі рідких концентратів [5].

Таблиця 1. Хімічний склад солодових екстрактів, що виробляють в Україні у формі рідких концентратів

Основні складові концентратів	ПСЕ	ЯСЕ
Сухі речовини, г/100 г продукту, у т. ч.:	76,0	76,0
білкові	4,2	3,6
гумі-речовини	3,6	4,8
зола	1,2	1,2
Вуглеводи, у т. ч.:	67,0	66,4
декстрини	5,8	6,6
мальтотетроза	5,2	5,3
мальтотриоза	3,3	2,8
мальтоза	28,0	26,0
сахароза	1,4	1,6
глюкоза	20,0	19,8
фруктоза	3,3	3,4
ксилоза	Сліди	0,9
Вода	24,0	24,0

Хімічний склад ПСЕ, одержаного із суміші різних зернових (пшениці, кукурудзи, жита тощо), відрізняється (табл. 1) від односкладного ЯСЕ [5]. Масова частка редукуючих цукрів у ЯСЕ становить 75,0—80,0%. Для ПСЕ масова частка редукуючих цукрів у перерахунку на мальтозу на 25—30% менша, ніж в ЯСЕ. Основні цукристі речовини в екстрактах представлені мальтозою, глюкозою та фруктозою, за їх вмістом ПСЕ дещо перебільшує ЯСЕ.

Цінними складовими солодових екстрактів вважаються білки та амінокислоти. ПСЕ і продукти на його основі на 20—30% переважають ЯСЕ за вмістом білків, при цьому у цих продуктах на 46—53% білки представлені високомолекулярними і на 31—33% — низькомолекулярними сполуками. В ЯСЕ переважають низькомолекулярні білки (~50%), але за рахунок більш високого

вмісту загальних розчинних білків ПСЕ за сумою середньо- та низькомолекулярних фракцій переважає ЯСЕ.

З 15 вільних амінокислот, визначених у солодових екстрактах, найбільший вміст припадає на глютамінову кислоту, аланін, валін, ізолейцин, лейцин, фенілаланін, гістидин. Загальний їх вміст у ПСЕ на 30% вищий, ніж у ЯСЕ [5]. Значну цінність солодових екстрактів складають біологічно активні речовини, серед яких вітаміни В₁, В₂, В₃, В₆, С, Н, РР, а вміст їх досить високий. Більшим вмістом гумі-речовин в ЯСЕ пояснюється його більша в'язкість.

Залежність в'язкості екстрактів від концентрації сухих речовин і температури екстракту та визначення їх структуроутворюючого потенціалу мають велике значення, зокрема при формуванні сферичної форми крапель на виході з дискового розпилювача і фізичних навантаженнях на них при сушінні та сепарації, що впливає на продуктивність сушарки і вихід порошкового продукту [9].

Термопластичні й адгезійні властивості, які проявляли частинки порошку солодових екстрактів у камері, циклоні та бункері під час апробації сушарки СУМ-1,5, були закономірно обумовлені такими чинниками, як:

- підвищений вологоміст частинок порошку [4];
- низький вміст білків і декстринів (табл. 1 [5]), які позитивно впливають на процеси структуроутворення при зневодненні у диспергованому стані;
- високий вміст речовин з низькими температурами плавлення;
- нестабільність показників кислотності екстрактів з концентрацією сухих речовин 35...50% при підвищеній температурі продукту (40—60°C) на момент подачі в сушарку.

Сукупність цих чинників ускладнила не тільки умови перебігу процесів сушіння, структуроутворення та вологопереносу при зневодненні, процесів сепарації і вивантаження порошку, а й сприяла зниженню температури плавлення часток порошку. В приймальній ємності сушарки СУМ-1,5 у гарячому стані частинки з пластичною і схильною до деформації структурою спресувались до стану моноліту. Такий продукт був цілком непридатний до використання.

Враховуючи вміст цінних поживних і біологічно активних речовин і кінетику сушіння крапель такої складної системи, доцільно особливу увагу приділити проблемі завершення стадії досушування часток і їх охолодження для покращення структурно-механічних характеристик порошку і своєчасного вилучення його з зони дії високих температур, зокрема забезпечити подовження траєкторії польоту часток з обов'язковим поступовим їх охолодженням у зваженому стані для уникнення агломерації частинок і на завершальній стадії — в режимі механічного перемішування — для підвищення щільності та міцності їх структури.

Мета дослідження: удосконалення конструкції вузлів сепарації, охолодження та вивантаження промислової установки СУМ-1,5 із визначенням раціональних теплотехнологічних режимів отримання порошку солодових екстрактів низької кінцевої вологості і збільшення його виходу з розпилювальної сушарки.

Викладення основних результатів дослідження. Удосконалення розпилювальної сушарки проводили з урахуванням властивостей солодових екстрактів як об'єктів розпилювального сушіння, обумовлених їхнім хімічним складом.

Для покращення умов сушіння, сепарації та вивантаження порошку було запропоновано організувати його охолодження у дві стадії (рис. 1):

на 1-й стадії — шляхом підводу додаткової порції теплоносія (повітря) з температурою 60—65°C (10) до системи пневмотранспорту крізь нижній вивантажний отвір сушильної камери;

на 2-й стадії — удосконалюючи вузол сепарації з подовженням траєкторії польоту частинок за спіраллю не тільки в циклоні, а й у бункері 8 та створивши умови для механічного перемішування порошку для закріплення форми та ущільнення структури частинок в процесі охолодження, для чого удвічі було збільшено висоту раніше «приймального», а тепер транзитного бункера 8, безпосередньо під бункером 8 було додатково встановлено шнековий охолоджувач 9, в якому швидкість обертання складала 6—8 об/хв.

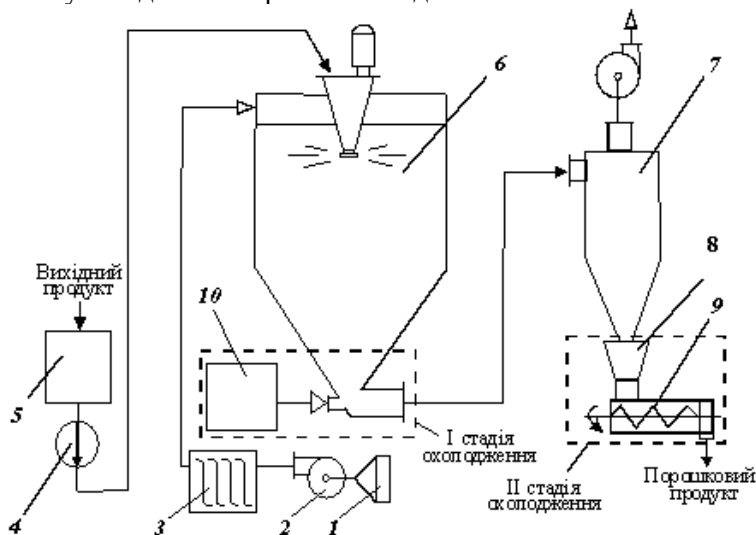


Рис. 1. Схема вдосконаленої розпилювальної сушильної установки СУМ-1,5 з охолодженням порошку у дві стадії:

- 1 — фільтр для забору повітря з навколишнього середовища; 2 — вентилятор;
 3 — калорифер; 4 — насос; 5 — смінь для вихідного продукту; 6 — сушильна камера;
 7 — циклон; 8 — приймальний бункер; 9 — шнековий охолоджувач (II стадія охолодження порошку); 10 — система підготовки теплоносія для охолодження порошку на виході з камери (I стадія охолодження порошку)

Апробація технології сушіння солодового екстракту на вже вдосконаленій сушарці показала позитивні результати як з ефективності висушування та якості порошку (табл. 2), так і за технічними та виробничими показниками роботи установки (табл. 3).

Стабілізація процесів сушіння та вивантаження порошку, а також підвищення його виходу було досягнуто, як показано в табл. 2, за рахунок:

- підвищення температури вихідного рідкого продукту до 40...60°C;
- підвищення температурних режимів сушіння;
- кращій сипкості порошку завдяки міцності, однорідності та сферичності частинок (рис. 2) досягнутій в результаті поступового охолодження порошку до температури 35...40°C в режимі перемішування;

- зниження кінцевої вологості порошку до $\leq 2\%$, що сприяло збільшенню терміну його зберігання до 2 років;
- відсутності прояву гігроскопічних та адгезійних властивостей.

Таблиця 2. Теплотехнологічні режимні параметри процесу розпилювального сушіння солодових екстрактів на сушарці СУМ-1,5

Характеристики рідкого продукту			Температурні параметри, °С			Характеристики порошку			
Марка екстракту	Вміст сухих речовин C_0 , %	Температура продукту, T_p , °С	повітря		порошку, $T_{пор}$	Загальний вихід з сушарки, %	Вологість, %	Дисперсність (діапазон розмірів часток), мкм	Термін зберігання, міс
			на вході в камеру, T_b	на виході з камери, $T_{вих}$					
<i>Без охолодження порошку (до вдосконалення сушарки)</i>									
ЯСЕ	43	20...25	165	85	—	<40,0	5,6	Агломерати	—
<i>З охолодженням порошку в режимі перемішування (після вдосконалення)</i>									
ЯСЕ	45	40...60	185	90	35...40	93,5	1,7	2...55	до 24
ПСЕ	46			95	35...40				

Як показано в табл. 3, в результаті удосконалення вузлів сепарації, охолодження та вивантаження сушарки СУМ-1,5 та відпрацювання теплотехнологічних режимних параметрів сушіння солодових екстрактів було досягнуто:

- збільшення продуктивності установки;
- підвищення вологонапруженості сушарки за випареною вологою;
- зниження питомих витрат повітря на 1кг випареної вологи.

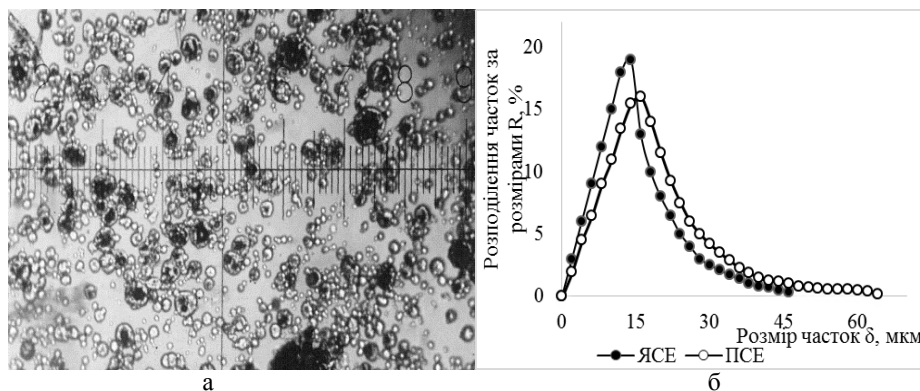


Рис. 2. Мікроструктурний аналіз порошку ЯСЕ (а) та диференційні криві розподілу часток ЯСЕ та ПСЕ за розмірами (б)

Таблиця 3. Теплотехнічні характеристики роботи розпилювальної сушарки СУМ-1,5 до і після модернізації

Марка екстракту	Продуктивність сушарки, кг/ч			Питомі витрати повітря, l , кг/кг випареної вологи	Вологонапруженість сушарки за випареною вологою, кг/($m^3 \cdot год$)
	за розчином, G_p	за випареною вологою, $G_{вип}$	за порошком, $G_{пор}$		
<i>Без охолодження порошку (до вдосконалення)</i>					
ЯСЕ	14,3	7,9	6,4	52,6	2,7
<i>З охолодженням порошку в режимі перемішування (після вдосконалення)</i>					
ЯСЕ	22,3	13,2	9,1	42,0	4,5
ПСЕ	19,2	10,4	8,8	37,0	3,5

Зниження питомих тепловитрат при одержанні порошкової форми солодових екстрактів на вдосконаленій розпилювальній сушарці в середньому складало: на 1 кг випареної вологи — до 23% і на 1 кг готової продукції — до 26%.

Після завершення промислових випробувань лінії виробництва сухої форми різних модифікацій екстрактів злакових (ЯСЕ-1, ПСЕ, ЯСЕ-2, ЯСЕ-5) вдосконалену розпилювальну сушарку СУМ-1,5 (рис. 3) рекомендовано підприємствам харчової та хіміко-фармацевтичної промисловості для технологічних ліній виробництва сухої форми рослинних екстрактів з підвищеним вмістом редукуючих цукрів.



Рис. 3. Загальний вигляд удосконаленої розпилювальної сушарки СУМ-1,5

Висновки

Проведений комплекс робіт з удосконалення промислової розпилювальної сушарки СУМ-1,5 надав можливість встановити раціональні теплотехнологічні режими розпилювального сушіння солодових екстрактів та отримати з різних видів солодових екстрактів сипкі однорідні порошки низької кінцевої вологості ($\leq 2\%$) і тривалого терміну зберігання (до 2 років).

Встановлено, що з підвищенням температури вихідного екстракту до 40...60°C і температурних режимів сушіння досягається достатньо висока продуктивність сушарки за випареною вологою і збільшення виходу порошку до 93—95% при збереженні всіх цінних складових екстракту і зниженні енерговитрат на одиницю готової продукції.

Отриманий досвід удосконалення сушарки СУМ-1,5 доводить необхідність урахування властивостей таких складних об'єктів розпилювального сушіння при виробництві у промислових умовах сухої форми солодових та інших екстрактів з аналогічними властивостями.

Література

1. Бакулина О. Н. Развитие пищевых технологий: использование растительных экстрактов. *Пищевая промышленность*. Москва, 2007. Т. 5. С. 32—33.
2. Новые продукты диетического и лечебного питания для беременных женщин и детей / Е. М. Лукьянова и др.; под ред. Е. М. Лукьяновой. Киев: Наукова думка, 1991. 144 с.
3. Малецкая К. Д., Заритовская А. Г., Турчина Т. Я. Особенности технологии получения порошков солодовых экстрактов для обогащения хлебопродуктов. *Наукові праці. ОНАХТ*, 2001. № 21. С. 276—279.
4. Турчина Т. Я. Кинетика процессов тепловлагодпереноса при сушке капель термопластичных материалов — солодовых экстрактов. *Промышленная теплотехника*, 2010. Т. 32, № 3. С. 43—49.
5. Технологія солодових екстрактів, концентратів квасного суслу і квасу / Н. О. Ємельянова та ін.; за ред. Н. О. Ємельянової. К.: ІСДО, 1994. 152 с.
6. Ефремов Г. И. Макрокинетика процессов переноса. Кинетика химико-технологических процессов с твердой фазой и отделики волокнистых материалов. Москва: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2001. 289 с.
7. Галактионов С. Г., Никифорович Г. В., Перельман Т. Л. Диффузия в сложных молекулярных структурах / под ред. Т. Л. Перельмана. Минск: Наука и техника, 1974. 240 с.
8. Рудобашта С. П. Массоперенос в системах с твердой фазой. Москва: Химия, 1980. 248 с.
9. Турчина Т. Я. Теплотехнічний аналіз розпилювальних сушарок для виробництва порошкової форми солодових екстрактів. *Наукові праці. ОНАХТ*, 2012. Вип. 41, Т. 1. С. 73—76.
10. Долинский А. А., Малецкая К. Д. Распылительная сушка.: в 2 т. Т. 1: Теплофизические основы. Методы интенсификации и энергосбережения. Киев: Академперіодика, 2011. 376 с.