УДК: 66.047

РОЗРАХУНОК РАДІУСА ФАКЕЛУ РОЗПИЛУ ПРИ СУШІННІ РІДКИХ ГЕТЕРОГЕННИХ СИСТЕМ ІЗ СКЛАДНИМИ РЕОЛОГІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Турчина Т.Я., канд. техн. наук, Малецька К.Д., доктор техн. наук, Жукотський Е.К., Ткаченко О.В.

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. М. Капнист, 2а, Київ. 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2020.4>

Отримано залежності з визначення радіуса факела розпику для різних теплотехнологічних параметрів процесу сушіння складної за реологічними властивостями гетерогенної системи (суспензії з гриба шиїтаке) за допомогою математичного алгоритму розрахунку у програмі Microsoft Excel щодо швидкого і ґрунтовного вибору раціонального типорозміру розпилювальної сушарки з дисковим розпилювачем.

Получены зависимости по определению радиуса факела распыла для разных теплотехнологических параметров процесса сушки сложной по реологическим свойствам гетерогенной системы (суспензии из гриба шиитаке) с помощью математического алгоритма расчета в программе Microsoft Excel для быстрого и обоснованного выбора рационального типоразмера распылительной сушилки с дисковым распылителем.

Dependences for determining the radius of the torch of the spray for different heat technological parameters for drying heterogeneous system (suspension of shiitake mushroom) with complex rheological properties using a mathematical algorithm for calculation in Microsoft Excel are obtained for the rapid and evidence-based selection of a rational standard size of a disc spray dryer.

Бібліографія 14, рис. 1.

Ключові слова: радіус факела розпику, алгоритм розрахунку, грибна суспензія, діаметр камери.

G_u – число Гухмана;
 D – діаметр камери, диску;
 C – вміст сухих речовин у рідинному продукті;
 c – теплоємність;
 G – продуктивність розпилювальної сушарки;
 K_o – число Косовича;
 n – число обертів дискового розпилювача;
 R – радіус факела розпику;
 Re – число Рейнольдса;
 S – Симплекс густини;
 T – температура;
 u – вологовміст;
 W – вологість рідинного продукту, порошку;
 δ – діаметр краплі;
 v – кінематична в'язкість;
 ρ – густина;

σ – поверхневий натяг;
 v – колова швидкість диску;
 x – змочений периметр диска;

Нижні індекси:

v_x – вхід;
 $v_{\text{вих}}$ – вихід;
 k – крапля;
 кам – камера;
 м.т. – вологий термометр;
 o – вихідний, початковий;
 p – повітря;
 пр – продукт;
 r – розчин;
 s – суспензія;
 ϕ – факел.

Актуальність роботи. Виробництво функціональних продуктів дієтичного, оздоровчого і лікувально-профілактичного призначення з повноцінної природної сировини із збереженням усіх цінних і корисних для організму людини складових компонентів, у т. ч. клітковини та харчових волокон, є вимогою сьогодення екологічно складних умов існування цивілізованого світу.

Зручну у використанні і зберіганні порошкову форму таких продуктів отримують переважно методом розпилювального сушіння. Як відомо [1-3], при

розпилювальному сушінні зберігання усіх цінних ксеро- та термолабільних речовин вихідної сировини забезпечується завдяки швидкоплинності процесу зневоднення (15...20 с) крапель розміром 25...50 мкм в залежності від вмісту сухих речовин та виду розпилювального пристрою, незначному прогріванню краплі (процес протікає переважно при температурі, близькій до температури «вологого термометру» – 44...54 °С), з подальшим підвищенням її (вже висушеної) до температури теплоносія на виході з камери (75...90 °С).

Дослідження хімічного складу порошків, отриманих методом розпилювального сушіння з суспензії, підготовленої шляхом високоінтенсивної обробки плодового тіла гриба шийтаке з застосуванням механізмів дискретно-імпульсного введення енергії показали позитивну динаміку зростання вмісту біодоступного комплексу водорозчинних полісахаридів онкостатичної та імунорегулюючої дії за умов повного використання нефракціонованої грибної сировини.

Отримання такої дієтичної грибної добавки з підвищеною біодоступністю лікувального полісахаридного комплексу із збереженими усіма іншими цінними речовинами плодового тіла гриба шийтаке є **актуальним** і перспективним для розширення асортименту вітчизняних харчових продуктів і добавок функціонального і оздоровчого призначення.

При виборі розпилювальної сушарки для виробництва такого цінного продукту, в першу чергу, враховуються об'єми такого виробництва і вимоги до кінцевого продукту, а виходячи з фізико-хімічних, реологічних і кінетичних характеристик матеріалу як об'єкту сушіння, визначається тип розпилювального пристрою (диск, форсунка) і відповідний типорозмір сушильної камери.

При промисловому виробництві таких продуктів, які відносяться до продуктів функціонального призначення, на вітчизняних підприємствах останнім часом перевага віддається розпилювальним сушаркам малої (10...25 кг/год по випареній волозі) та середньої продуктивності (40...60 кг/год по випареній волозі). Досвід роботи таких промислових та експериментальних розпилювальних сушарок показує, що для надійної експлуатації камери без суттєвих відкладень продукту на стінках радіус факелу для сушарок малої продуктивності не має перевищувати 0,9 радіуса камери [4]. І, в першу чергу, це стосується продуктів і матеріалів, що проявляють термопластичні і адгезійні властивості в камері розпилювальної сушарки.

Важливішим габаритним параметром розпилювальної сушильної установки, де в якості розпилювального пристрою використовується відцентровий дисковий розпилювач, є діаметр циліндричної частини камери, який визначають за радіусом факела розпилу з урахуванням нерівності [1-3]:

$$D_{\text{кам}} > 2R_{\text{ф}},$$

тобто з передбаченням певного, деякого перебільшення подвійного радіуса факелу, що залежить від технічних характеристик дискового розпилювача, фізико-хімічних і реологічних параметрів вихідного рідинного продукту

та теплоносія, що подають в камеру, та їх витрат за одиницю часу (л/год).

Радіус факелу розпилу визначають за формулою акад. А.А. Долінського, одержаною за результатами великого комплексу експериментальних досліджень процесу зневоднення високовологих розчинів в розпилювальній сушарці:

$$R_{\text{ф}} = 0,33 \delta_0 S \text{Re}^{0,35} \text{Gu}^{-0,4} \text{Ko}^{-0,2}, \quad (1)$$

де δ_0 – середній об'ємне-поверхневий діаметр краплі у факелі розпилу, що визначається за формулою Фрасера:

$$\delta_0 = 6,9 \cdot 10^5 \left(\frac{1}{n}\right)^{0,6} \left(\frac{1}{\rho}\right)^{0,5} \left(\frac{G_{\text{пр}} \rho v_{\text{пр}}}{D}\right)^{0,2} \left(\frac{\sigma}{\chi}\right)^{0,1} \quad (2)$$

У формулах (1) та (2) $S = \rho_r / \rho_n$ – симплекс густини; $\text{Re} = v_0 \cdot \delta_0 / \nu_r$ – число Рейнольдса, віднесене до початкової швидкості краплі; $\text{Gu} = (T_n - T_{\text{м.т.}}) / T_n + 273$ – число Гухмана; $\text{Ko} = L \cdot u_0 \cdot 100 / c_n (273 + T_n)$ – число Косовича; v_0 – колова швидкість диску, м/с; u_0 – вологовміст розчину, кг/кг; c_n – теплоємність теплоносія (повітря), кДж/(кг·К); $G_{\text{пр}}$ – продуктивність сушарки за вихідним продуктом, кг/год; v_r – кінематична в'язкість рідкого продукту, м²/с; σ – поверхневий натяг розчину, Н/м; n – число обертів диска, с⁻¹; χ – змочений периметр диска, м; D – діаметр диску, м.

Радіус факела $R_{\text{ф}}$, як бачимо з формули (1), у значній мірі залежить від середнього об'ємне-поверхневого діаметру краплі δ_0 у факелі розпилу, який залежить від реологічних та фізико-хімічних характеристик рідинного продукту, а також від технічних характеристик дискового розпилювача. У формулі (2) параметри густини ρ , кінематичної в'язкості ν та поверхневого натягу σ , які характеризують саме ці властивості висушуваного продукту, як для грибної суспензії, так і для усіх інших рідинних продуктів, визначаються експериментально при різних їх температурах [1-7].

Мета досліджень полягала у проведенні розрахунків радіусу факелу розпилу грибної суспензії за допомогою математичного алгоритму у програмному забезпеченні Microsoft Excel при різних теплотехнологічних параметрах процесу сушіння з урахуванням характеристик рідинного матеріалу та вимог до кінцевого порошкового продукту.

Опис дослідження та отримані результати

Для досягнення поставленої мети за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel було створено математичний алгоритм розрахунку радіусу фа-

келу розпилю з використанням наведених вище формул (1), (2), який при введенні багатофакторного комплексу вихідних даних (по рідкому продукту, теплоносію, продуктивності сушарки за розчином та технічним характеристикам дискового розпилювача) може швидко видавати параметри радіуса факелу розпилю.

Для проведення розрахунків до програми Microsoft Excel були введені наступні змінні вихідні дані:

- продуктивність сушарки за рідким продуктом G , кг/год 7,0; 8,0; 9,0; 10,0;

- температура теплоносія на вході в камеру $T_{вх}$, °C 160; 170; 180; 185; 190;

- температура теплоносія на виході з камери $T_{вих}$, °C 70; 75; 80; 86; 90;

- температура вихідної суспензії T_c , °C 20; 60; 80.

Також були введені наступні основні незмінні вихідні дані по продукту:

- початкова вологість суспензії W_c , % 95;

- кінцева вологість одержаного порошку $W_{кін}$, % 5,

та конструктивні параметри дискового розпилювача РЦ-18 [1, 2]:

- діаметр, м	0,12;
- число обертів n , об/хв (об./с)	8000 (300);
- кількість перегородок, шт.	24;
- висота перегородок, м	0,008;
- зволожений периметр, м	0,192;
- колова швидкість, м/с	113.

Теплофізичні характеристики грибної суспензії, що вводились до програми розрахунку, зокрема, кінематична в'язкість ν , визначалися експериментально при різних допустимих температурах – 20, 60 та 80 °C [7], а теплота пароутворення розчину – за даними кінетики сушіння: у діапазоні зміни температури краплі у стані, близькому до температури «вологого термометру» [1, 2, 5, 6, 8, 9].

Теплофізичні характеристики теплоносія (повітря) згідно методики розрахунку габаритів розпилювальних камер, наведених в роботі [1], визначалися за середньою її температурою в камері за відомими табличними даними [10-12].

В наших дослідженнях важливо було, в першу чергу, оцінити вплив температури рідинної гетерогенної системи на параметри радіуса факелу розпилю R_ϕ . За результатами проведених розрахунків були отримані графічні залежності радіусу факелу розпилю від продуктивності

сушильної установки по рідкому продукту $R_\phi = f(Gp)$ при його температурі 20, 60 та 80 °C, що наведені на рис. 1, а.

Як бачимо (рис. 1, а), при збільшенні продуктивності сушарки від 7 кг/год до 10 кг/год радіус факелу розпилю збільшується, що є природним і закономірним [1, 2]. При цьому для суспензії з температурою 20 °C радіус факелу розпилю незалежно від продуктивності сушарки складає $R_\phi \geq 0,6$ м.

Подача в сушарку суспензії з температурою 60 °C (крива 2) сприяє скороченню радіуса факелу розпилю на 0,08 м і незалежно від продуктивності установки складає $R_\phi \leq 0,6$ м, а для суспензії з температурою 80 °C радіус факелу розпилю скорочується вже на 0,15 м і становить $R_\phi \leq 0,52$ м. Тобто для отримання порошку з сушарки з діаметром камери 1,3 м без відкладень на стінках камери або втрат продукту продуктивність установки доцільно зменшити до ≤ 7 кг/год або подавати в камеру продукт з температурою 50-60 °C, за рахунок чого продуктивність сушарки можна збільшити до 9-10 кг/год.

Розрахунки показали, що підвищення температури суспензії від 20 °C до 60 °C майже не впливає на середній об'ємне-поверхневий діаметр краплі у факелі розпилю (зменшення не перевищує 3 %). Проте з підвищенням температури суспензії від 20 °C до 80 °C незалежно від продуктивності сушарки розміри крапель зменшуються в середньому вже на 10%, що, з одного боку, сприяє кращому висушуванню порошку, а з іншого підвищують вірогідність втрат дрібнодисперсної фракції порошку через погіршення умов сепарації у сухому циклоні часточок надто малих розмірів (1-10 мкм), схильність до витання.

У зв'язку з цим подальші розрахунки радіуса факелу розпилю було доцільним проводити при незмінному значенні температури суспензії – 60 °C.

На рис. 1 (б) представлені залежності радіуса факелу розпилю від температури теплоносія (повітря) $R_\phi = f(T_n)$ за якими видно, що з підвищенням температури теплоносія на вході в камеру від 160 °C до 190 °C відбувається скорочення радіусу факелу розпилю до 7...10% в залежності від продуктивності сушарки. Отже, при температурі вихідного рідинного продукту 60 °C розширюються можливості для обрання раціональних теплотехнологічних режимів як за продуктивністю установки за розчином, так і по температурі теплоносія на вході в сушарку, виходячи з термолабільності рідинного продукту і вимог до кінцевої вологості порошку.

Рис. 1. Залежність радіуса факела розпили від: а) продуктивності сушарки за рідким продуктом при його температурі $T_{пр}$: 1 – 20 °C; 2 – 60 °C; 3 – 80 °C; б) температурних режимів сушіння грибної суспензії з температурою 60 °C при продуктивності сушарки: 1 – 7 кг/год; 2 – 8 кг/год; 3 – 9 кг/год; 4 – 10 кг/год; в) продуктивності сушарки за рідким продуктом з температурою 60 °C при температурі теплоносія: 1 – 160 °C; 2 – 170 °C; 3 – 180 °C; 4 – 190 °C

Збільшення продуктивності установки за вихідним рідинним продуктом з температурою 60 °С з 7 кг/год до 10 кг/год закономірно сприяє невеликому, як видно на рис.1 (в), збільшенню радіуса факелу розпику. При температурах теплоносія на вході в сушильну камеру 170, 180 та 190 °С (криві 2, 3 і 4) радіус факела розпику не перевищує значень $R_{\phi} \leq 0,6$ м. Таким чином, одержання порошку з грибної суспензії в сушильній камері $D_k > 2R_{\phi}$ (тобто $2(0,6)=1,2$ м) цілком ймовірне. Аналіз отриманих розрахункових даних свідчить про те, що в межах температур теплоносія на вході в сушильну камеру від 170 до 190 °С при температурі грибної суспензії, що подавалась в сушильну камеру, 60 °С і продуктивності сушарки за вихідним рідинним продуктом 9,0...10,0 кг/год процес сушіння має проходити без відкладень на внутрішніх поверхнях камери.

Враховуючи нестабільність реологічних і фізико-механічних властивостей грибної суспензії у часі, пов'язану з унікальною особливістю дрібнодисперсних нерозчинних часточок (фрагментів гіфів) плодового тіла гриба самоорганізовуватись в об'ємні агрегати (асоціати) розміром до 3...4 мм, і схильністю даної системи до гелеутворення, викликаного переходом у розчинний стан вилучених зі структурних систем гриба під час гомогенізації відповідних речовин (білків, полісахаридів та ін.) [13, 14], доцільно для стабілізації процесу розпилювального сушіння і подовження терміну безперервної роботи сушарки рекомендувати зменшення її продуктивності до 7,0...8,0 кг/год. І саме такий результат нами був одержаний на експериментальній розпилювальній сушарці з дисковим розпилювачем РЦ-1,3.

Як показали дослідження, при сушінні суспензії, температура якої в процесі подачі в сушильну камеру складала 50...60 °С, за умов значного зменшення відкладень продукту на стінках камери вихід порошку гриба шийтаке з циклону до приймальної ємності значно збільшився, на відміну від сушіння суспензії з температурою 20 °С, і складав 92 %, що є високим результатом для продукту із складними реологічними властивостями.

Таким чином, дані розрахунків радіуса факелу розпику, проведених за математичним алгоритмом у програмі Microsoft Excel, достатньо добре узгоджуються з результатами експериментальних досліджень процесу розпилювального сушіння грибної суспензії на вказаній вище установці. Це є підставою для використання даного алгоритму розрахунку у питаннях прогнозування та вибору раціонального типорозміру розпилювальної

сушарки для виробництва сухої форми продуктів, які у стані рідкої гетерогенної системи проявляють складні реологічні властивості.

Висновки

Проведені розрахункові дослідження і аналіз отриманих результатів показали, що підвищення температури грибної суспензії від 20 °С до 60...80 °С дозволяє скоротити радіус факелу розпику на 17...23%, а підвищення температури теплоносія на вході в камеру зі 160 °С до 190 °С – збільшити продуктивність установки на 25...30 %.

Отримані розрахункові дані цілком узгоджуються з отриманими на експериментальній розпилювальній сушарці РЦ-1,3 дослідними даними, про що свідчить збільшення виходу порошку до значень ≥ 90 % завдяки підвищенню температури суспензії при подачі в сушарку до 50...60 °С і відсутності відкладень продукту на стінках камери.

Застосування даного математичного алгоритму розрахунку радіусу факелу розпику розширює можливості для швидкого і ґрунтовного визначення оптимального типорозміру камери розпилювальної сушарки з урахуванням особливостей та складних реологічних властивостей рідких гетерогенних систем високовологих матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Долинский А.А., Малецкая К.Д. Распылительная сушка. В 2-х томах. Т. 1: Теплофизические основы. Методы интенсификации и энергосбережения. – Киев: Академперіодика, 2011. – 376 с.
2. Долинский А.А., Малецкая К.Д., Шморзун В.В. Кинетика и технология сушки распылением. – К.: Наукова думка, 1987. – 224 с.
3. Лыков М.В., Леончик Б.И. Распылительные сушилки. – М.: Машиностроение, 1966. – 331 с.
4. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Оптимизация процессов распылительной сушки. – К.: Наукова думка, 1984. – 240 с.
5. Турчина Т.Я. Уточненный расчет габаритов дисковых распылительных сушарок для адгезийных материалов // Наук. праці, 2011. – Вип. 39, Т.2. – С. 66-68.
6. Турчина Т.Я. Интенсификация тепловыделения при распылительном сушении термопластичных материалов из растительной сировины // Автореф. дис.... канд.техн.наук: 05.14.06. Турчина Татьяна Яковна. – Київ, 2011. – 26 с.

7. Шаркова Н.О., Жукотський Е.К., Декуша Г.В., Костянець Л.О. Дослідження динамічної в'язкості плодового тіла гриба шиїтаке / Наукові праці Національного університету харчових технологій, Київ, 2017. – № 6 (23). – С. 219-225.
8. Шаркова Н.О., Турчина Т.Я., Жукотський Е.К., Костянець Л.О. Дослідження процесу сушіння суспендованого гриба шиїтаке в системі «крапля-парогазове середовище»/ Зб. праць XVII МНК «Удосконалення процесів і обладнання харч. та хімічних виробництв», Одеса: ОНАХТ, 3-8 вересня 2018. – С. 55-57.
9. Турчина Т.Я., Жукотський Е.К., Костянець Л.О., Макаренко А.А. Моделювання впливу β -циклодекстрину як структуруючої добавки на кінетику сушіння водної суспензії гриба шиїтаке/ Наукові праці, 2019. – Вип. 83, №1. – С. 152-156. Scientific Works, 83, №1 (2019), 152-156.
<https://doi.org/10.15673/swonaft.v83i1.1434>
10. Физические свойства воздуха: плотность, вязкость, удельная теплоемкость. / <http://thermalinfo.ru/>
11. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотипное. М.: «Энергия», 1977. – 344 с.
12. Богданов С.Н., Бурцев С.И., Иванов О.П., Куприянова А.В. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справ. / Под ред. С.Н. Богданова. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: СПбГАХПТ, 1999. – 320 с.
13. Шаркова Н.О., Жукотський Е.К., Турчина Т.Я., Декуша Г.В., Макаренко А.А. Дослідження впливу ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шиїтаке на фізико-механічні властивості грибної суспензії / Теплофізика та теплоенергетика. 2019. – Т.41, № 1. – С.25—31.
14. Шаркова Н.О., Турчина Т.Я., Жукотський Е.К., Декуша Г.В. Мікроструктурний аналіз грибної суспензії на стадії підготовки до розпилювального сушіння / Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2018. – Т.24, № 6. – С.240–247.

CALCULATION OF THE RADIUS OF THE CUTTING TORCH WHEN DRYING LIQUID HETEROGENEOUS SYSTEMS WITH COMPLEX RHEOLOGICAL PROPERTIES

Turchina T.Ya., Maletskaya K.D., Zhukotsky E.K., Tkachenko O.V.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a M. Kapnyust Street, Kyiv. 03680, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2020.4>

The value of the radius of the spray torch at different heat-technological parameters of drying and the necessary information for the analysis and optimization of the operation of the spray drying unit, depending on the productivity, its technical characteristics and the physicochemical characteristics of the material being dried, can be quickly obtained using a mathematical calculation algorithm.

The calculations were carried out in Microsoft Excel according to the formula of Acad. A.A. Dolinskyi, in which the value of the average volumetric-surface diameter of a droplet in the spray plume is determined by the Fraser formula. The results of calculating the radius of the spray plume are presented on the example of a mushroom suspension, which is characterized by complex rheological properties, obtained using a special technology of the Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine.

The calculations were carried out for a small-sized spray dryer with a cylindrical part of the chamber 1.3 m in diameter and a disk atomizer at different parameters: air temperature at the chamber inlet, the unit's capacity for liquid product and its temperature.

The dependences obtained from the calculated data demonstrate the possibility of reducing the radius of the spray of a liquid heterogeneous system with a temperature of 50-60 °C by an average of 20 % in comparison with the cooled product, and with an increase in the temperature of the coolant at the inlet to the chamber from 160 °C to 190 °C, the productivity of the spray drying unit increases by 25-30 %.

The high convergence of the calculated data with the experimental ones indicates the advisability of using this mathematical calculation algorithm for a quick and well-grounded determination of the rational dimensions of industrial spray dryers for the production of dry forms of new types of products, taking into account the complex rheological properties of the initial high-humidity heterogeneous systems and the peculiarities of the kinetics of their drying.

References 14, figures 1.

Key words: radius of spray torch, calculation algorithm, mushroom suspension, chamber diameter.

1. *Dolynskiy A.A., Maletskaya K.D.* [Spray drying. In 2 volumes. T. 1: Thermophysical bases. Methods of intensification and energy saving], Kyev: Akademperiodika, 2011. 376 p. (Rus.)

2. *Dolynskiy A.A., Maletskaya K.D., Shmorgun V.V.* [Kinetics and technology of spray drying], Kyev: Naukova dumka, 1987. 224 p. (Rus.)

3. *Lykov M.V., Leonchik B.I.* [Spray dryers] M.: Mashinostroenie, 1966. 331 p. (Rus.)

4. *Dolinskiy A.A., Ivanitskiy G.K.* [Optimization of spray drying processes] Kyev: Naukova dumka, 1984. 240 p. (Rus.)

5. *Turchyna T. Y.* [The calculation of dimensions of disk spray dryers for adhesive materials is specified] / Naukovi pratsi [Scientific works], 2011. Issue 39, V.2. P. 66-68. (Ukr.)

6. *Turchyna T.Y.* [Intensification of heat and moisture transfer during spray drying of thermoplastic materials from vegetable raw materials] // Kyiv, dissertation abstract... candidate of technical sciences: 05.14.06, 2011. 26 p. (Ukr.)

7. *Sharkova N.O., Zhukotskiy E.K., Dekusha H.V., Kostianets L.O.* [Study of the dynamic viscosity of the fruiting body of the shiitake mushroom] / Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii [Scientific works of the National University of Food Technologies], Kyiv, 2017. – № 6 (23). – P. 219-225. (Ukr.)

8. *Sharkova N.O., Turchyna T.Y., Zhukotskiy E.K., Kostianets L.O.* [Investigation of the drying process of suspended shiitake mushroom in the system "drop-steam medium"] / Zb. prats KhVII MNK «Udoskonalennia protsesiv i obladnannia kharch. ta khimichnykh vyrobnytstv» [Coll. works of the XVII MNC "Improvement of processes and equipment of food. and chemical industries "] Odesa: ONAKhT, 3-8 veresnia 2018. P. 55-57. (Ukr.)

9. *Turchyna T.Y., Zhukotskiy E.K., Kostianets L.O., Makarenko A.A.* [Modeling the effect of β -cyclodextrin as a structuring additive on the drying kinetics of an aqueous suspension of shiitake mushroom] / Naukovi pratsi [Scientific works], 2019. Issue 83, V. 1. P. 152-156. (Ukr.) Scientific Works, 83, №1 (2019), 152-156. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v83i1.1434>.

10. [Physical properties of air: density, viscosity, specific heat] / <http://thermalinfo.ru/>

11. *Mykheev M.A., Mykheeva Y.M.* [Basics of heat transfer], M.: «Energiya», 1877. 344 p. (Rus.)

12. *Bohdanov S.N., Burtsev S.Y., Yvanov O.P., Kupryianova A.V.* [Refrigeration equipment. Air conditioning. Properties of substances]: Sprav. / Pod red. S.N. Bogdanova. 4-e izd. pererab. i dop. SPb.: SPbGAHPT, 1999. 320 p. (Rus.)

13. *Sharkova N.O., Zhukotskyi E.K., Turchyna T.Y., Dekusha H.V., Makarenko A.A.* [Research of effect of DPEI-processed of shiitake fruit body on physical and mechanical properties of mushroom suspension] / *Teplofizyka ta teploenerhetyka* [Thermophysics and Thermal Power Engineering]. 2019. V.41, № 1. P.25–31. (Ukr.)

14. *Sharkova N.O., Zhukotskyi E.K., Turchyna T.Y., Dekusha H.V., Makarenko A.A.* [Microstructure analysis of mushroom suspension at preparation stage before spray drying] / *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii* [Scientific works of the National University of Food Technologies]. 2018. V.24, № 6. P.240–247. (Ukr.)

Отримано 30.07.2020
Received 30.07.2020