

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ТЕПЛОНОСІЯ В СУШАРЦІ З ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ ЧИСЛОВИМ МЕТОДОМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблена математична модель для оптимізації швидкості теплоносія в сушарках з псевдозрідженим шаром. В якості предмета дослідження вибрано сушарку для сушіння цукру-піску. Виконано числовий експеримент, який показав, що при подачі теплоносія з швидкістю 0,52 м/с під решітку сушарки з псевдозрідженим шаром для сушіння цукру-піску з мінімальними розмірами часток 0,2 мм буде забезпечено швидкість теплоносія, близьку до максимальної без винесення дрібних часточок сировини разом з відпрацьованим теплоносієм.

Ключові слова: сушіння, псевдозріджений шар, сушіння цукру, дисперсні матеріали.

Abstract

A mathematical model has been developed to optimize the coolant velocity in fluidized bed dryers. A dryer for drying granulated sugar was selected as the subject of the study. A numerical experiment was performed, which showed that when the coolant is supplied at a velocity of 0.52 m/s under the grate of a fluidized bed dryer for drying granulated sugar with a minimum particle size of 0.2 mm, the coolant velocity will be close to the maximum without removing small particles of raw material together with the spent coolant.

Key words: drying, fluidized bed, sugar drying, dispersed materials.

Вступ

Для надійної роботи сушарки з псевдозрідженим шаром необхідно підібрати швидкість теплоносія під решіткою з сировиною, достатню для витання часток сировини і, крім того, ця швидкість не повинна перевищувати ту, за якої починається винесення часток з сушильної камери разом з відпрацьованим теплоносієм.

Як правило, це робиться емпіричним шляхом, поступово підвищуючи подачу нагрітого теплоносія під решітку на самій сушарці добиваються витання часток сировини над решіткою. Для цього сушарка повинна мати конструкцію дроселів, які б забезпечували плавну зміну подачі теплоносія в досить великих межах, а нагнітальна машина – мати суттєвий запас потужності, що призводить до нераціонального використання енергії в ній.

Разом з тим, застосування теоретичного розрахунку швидкості значно звужує як необхідний діапазон роботи дросельних заслонок, так і потужність нагнітальної машини, дозволяє визначати необхідні межі швидкості з досить таки прийнятною точністю.

Мета роботи: числовими методами дослідити вплив швидкості теплоносія на витання частинок цукру-піску з умовним діаметром 0,15-0,2 мм в псевдозрідженому шарі і розрахувати швидкість теплоносія числовим методом, змодельовавши процес.

Основна частина

Дана модель складається з 7 лінійних рівнянь і є оптимізаційною, критерієм оптимізації виступає швидкість теплоносія, що забезпечує максимальну інтенсивність сушіння без винесення часточок з сушарки потоком сушильного агента.

Відомо [1,3], що фіктивна (на повний переріз апарата) швидкість початку псевдозрідження

$$\omega_{\text{пс}} = \frac{\text{Re} \cdot v_{\text{ср}}}{\rho_{\text{ср}} \cdot d_{\text{е}}}, \quad (1)$$

де Re – критерій Рейнольдса;

$d_{\text{е}}$ – еквівалентний діаметр полідисперсних частинок матеріалу, м;

$v_{\text{ср}}$ – в'язкість теплоносія за середньої температури, $\text{м}^2/\text{с}$;

$\omega_{\text{пс}}$ – фіктивна швидкість початку псевдозрідження, $\text{м}/\text{с}$.

$\rho_{\text{ср}}$ – густина теплоносія за середньої температури, $\text{кг}/\text{м}^3$;

При цьому, еквівалентний діаметр полідисперсних часток матеріалу

$$d_{\text{е}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{d_i}}, \quad (2)$$

де d_i – середній ситовий розмір i -тої фракції, м.

n – число фракцій;

m_i – вміст i -тої фракції, масові частки;

Критерій Архімеда

$$\text{Ar} = \frac{d_{\text{е}}^3 \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot g \cdot \rho_{\text{ч}}}{v_{\text{ср}}^2}, \quad (3)$$

де $\rho_{\text{ч}}$ – густина частинок, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Критерій Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{\text{Ar}}{1400 + 5,22\sqrt{\text{Ar}}}, \quad (4)$$

Верхня межа допустимої швидкості теплоносія в псевдозрідженому шарі визначає швидкість винесення найбільш дрібних частинок.

$$\omega_{\text{вв}} = \frac{v_{\text{ср}}}{d_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{ср}}} \left(\frac{\text{Ar}_{0,2}}{18 + 0,575\sqrt{\text{Ar}_{0,2}}} \right), \quad (5)$$

де $\text{Ar}_{0,2}$ – критерій Архімеда для частинок цукру піску діаметром 0,2 мм;

$d_{\text{ч}}$ – найменший діаметр частинки, м.

Граничне число псевдозрідження

$$K_{\omega} = \frac{\omega_{\text{вв}}}{\omega_{\text{пс}}}, \quad (6)$$

Робочу швидкість ω сушильного агента рекомендовано вибирати [4] в межах від $\omega_{\text{пс}}$ до $\omega_{\text{вв}}$. Ця швидкість залежить від граничного числа псевдозрідження $K_{\text{пр}} = \omega_{\text{вв}}/\omega_{\text{пс}}$: за $K_{\text{пр}}$ понад 40-50 робоче число псевдозрідження рекомендується вибирати в інтервалі від 3 до 7; за $K_{\text{пр}}$ менше 20-30 значення K_{ω} можна вибирати в інтервалі від 1,5 до 3. Приймаємо $K_{\omega} = 1,5$, враховуючи те, що відношення верхньої межі швидкості до швидкості початку витання для часточок умовним діаметром до від 0,15 до 0,2 мм незначне.

Тоді робоча швидкість сушильного агента

$$\omega = K_{\omega} \cdot \omega_{\text{пс}}, \quad (7)$$

Для розрахунку швидкості теплоносія для витання часток в псевдозрідженому шарі складена програма в прикладному пакеті MathCad. Тут ми подаємо тільки результати розрахунку в графічному вигляді (Рис. 1).

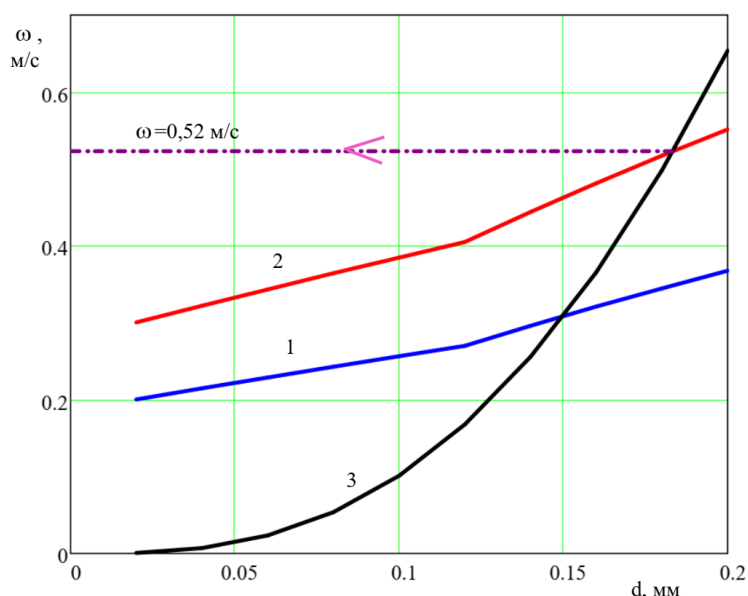


Рисунок.1 – Розрахунок оптимальної швидкості теплоносія
1 – швидкість початку псевдозрідження; 2 – робоча швидкість;
3 – швидкість початку винесення часток з сушильної камери

Представлені графічні залежності показують, що оптимальна робоча швидкість теплоносія знаходиться на перетині ліній 2 і 3, одна з яких (лінія 3) показує швидкість початку виносу часточок малого розміру з сушильної камери. Методом графічного трасування встановлено, що ця швидкість рівна 0,52 м/с. Вона значно більша за швидкість початку витання (лінія 1), тож можна стверджувати, що за такої швидкості шар висушуваного матеріалу точно прийде в псевдозріджений стан, але виносу часток більше 0,18 мм (а ми задавалися розміром 0,2 мм) ще не буде.

Висновки

Розроблена математична модель для оптимізації швидкості теплоносія в сушарках з псевдозрідженим шаром. В якості предмета дослідження вибрано сушарку для сушіння цукру-піску. максимальною. Виконано числовий експеримент, який показав, що при подачі теплоносія з швидкістю 0,52 м/с під решітку сушарки з псевдозрідженим шаром для сушіння цукру-піску з мінімальними розмірами часток 0,2 мм буде забезпечено швидкість теплоносія, близьку до максимальної без винесення дрібних часточок сировини разом з відпрацьованим теплоносієм.

Розроблена математична модель дозволяє визначати оптимальну швидкість теплоносія числовим методом, без застосування тривалого і громіздкого методу підбору швидкості практичним способом, але потребує емпіричного підтвердження розрахунків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С. Й. Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2008. 98 с.
2. Гайвась Б. І. Математичне моделювання конвективного сушіння матеріалів з урахуванням механотермодифузійних процесів / Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. 2010. вип. 12, С. 9-37.
3. Артюхов А. Є. Дослідження умов формування вихрового псевдозрідженого шару в малогабаритних масообмінних апаратах / А. Є. Артюхов, В. М. Маренок, В. І. Склабінський // Вісник Сумського державного університету. 2007. № 3. С. 10–17.

4. Апарати завислого шару. Теоретичні основи і розрахунок / Юхименко М. П., Вакал С. В., Кононенко М. П., Філонов А. П. Суми: Собор, 2003. 304 с.

Рекомендована до опублікування кафедрою теплоенергетики ВНТУ

Співак Олександр Юрійович – к-т. техн. наук, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: spivak@vntu.edu.ua.

Таранюк Костянтин Юрійович – магістрант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: taranuykkostya@gmail.com.

Котюжанський Ярослав Іванович – магістрант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: varik22722272@gmail.com

Oleksandr Spivak – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: spivak@vntu.edu.ua.

Kostyantun Taranyuk – undergraduate t of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: taranuykkostya@gmail.com.

Yaroslav Kotyuzhansky – undergraduate of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: varik22722272@gmail.com