

MODELING OF THE PROCESS OF MILK DISPENSING BY DISKS WITH DIFFERENT NOZZLE DESIGNS

S. Lementar, V. Ponomarenko, Yu. Veresotsky, R. Jakobchuk

National University of Food Technologies

Key words:

*Spraying process
Dry milk
Nozzle
Rotary atomizer*

Article history:

Received 03.05.2017
Received in revised form
16.05.2017
Accepted 14.06.2017

Corresponding author:

S. Lementar
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The results of modeling the process of sputtering of condensed whole milk by spraying disks with nozzles of round and rectangular profile, straight and arc generators are presented in the article. It was found that with the input parameters specified in the article, the product from the round nozzles comes out at a maximum speed of 173 m/s and has a turbulent energy of 62 J/kg. When using arc-shaped nozzles with a rectangular cross-section, the product emerges as a thin film of a trapezoidal cross section that has the same maximum velocity but significantly higher turbulent energy (up to 737 J/kg), which contributes to better dispersing of the output stream and formation of smaller drops of sprayed milk.

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-4-14

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПИЛЕННЯ МОЛОКА ДИСКАМИ З РІЗНИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ СОПЕЛ

С.Ю. Лементар, В.В. Пономаренко, Ю.І. Вересоцький, Р.Л. Якобчук

Національний університет харчових технологій

У статті наведено результати моделювання процесу розпилення згущеного незбираного молока розпилювальними дисками із соплами круглого та прямокутного профілю, прямою та дуговою твірними. Встановлено, що при вказаних у статті вхідних параметрах продукт із круглих сопел виходить з максимальною швидкістю 173 м/с та має турбулентну енергію 62 Дж/кг. При використанні сопел з дуговою твірною та прямокутним перерізом продукт виходить в вигляді тонкої плівки трапецієвидного поперечного перерізу, яка має таку ж максимальну швидкість, але значно вищу турбулентну енергію (до 737 Дж/кг), що сприяє кращому диспергуванню вихідного потоку й утворенню більш дрібних крапель розпиленого молока.

Ключові слова: процес розпилення, сухе молоко, сопло, розпилювальний диск.

Постановка проблеми. Якість сухих молочних продуктів залежить від ефективного проведення процесу сушіння, яке значною мірою визначається технічним рівнем обладнання.

Найбільше впливають на ефективність цього процесу системи розподілення теплоносія та продукту. В промислових сушарках розпилення продукту здій-

снюється за допомогою форсунок чи розпилювальних дисків. Найбільшого поширення у вітчизняній промисловості набув другий спосіб, тому знаходження раціональних конструкційних параметрів систем розподілення продукту, зокрема розпилювальних дисків як основного їх компонента, шляхом моделювання процесу розпилення молочних продуктів є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з найбільших проблем перед розробниками розпилювальних сушарок є складність процесів розподілення сушильного агента та продукту в сушильній камері, а також їх взаємодії. Незважаючи на таку складність, багато дослідників зосереджувалися на дослідженні цих процесів [1—9]. Наприклад, в результаті досліджень [1] виявлено істотний вплив параметрів розпилення вхідного продукту на продуктивність сушарок та якість кінцевого продукту. Встановлено також [2; 3], що час перебування частинок у зоні сушіння і температура сушильного агента є важливими параметрами при сушінні таких чутливих до високих температур речовин, як молочні продукти, оскільки суттєве зниження їх якості відбувається, якщо частинки залишатися в потоці повітря занадто довго або температура потоку гарячого повітря занадто висока. Тому схема розподілу повітряних потоків всередині розпилювальної сушарки теж вважається одним з основних факторів, які підлягають детальному вивченню та моделюванню. Ще однією причиною необхідності таких досліджень є забезпечення уникнення осадження та закріплення частинок продукту на стінках сушильної башти, оскільки поряд зі зниженням його якості існує загроза вибуху [4].

Враховуючи складність охоплення значного діапазону досліджуваних параметрів реальними дослідними установками, значного поширення набуло моделювання даних процесів з використанням методів обчислювальної гідродинаміки (Computational Fluid Dynamics (CFD)). Моделювання подібних задач CFD методами із застосуванням обчислювальної техніки були успішно проведені D. F. Fletcher [5], K. Kota [6], F.G. Kieviet та ін. Деякі з перших дослідників моделювали потоки в сушарках двовимірними і симетричними до вертикальної осі для того, щоб зменшити навантаження на обчислювальні ресурси. Але поступово прийшли до висновку, що для більшої точності моделей необхідно оперувати тривимірними потоками [7; 8]. Наприклад, автори [9], використовуючи тривимірне моделювання потоків теплоносія і продукту, фокусувалися на складних ефектах взаємодії часток продукту та потоків теплоносія в масштабах промислової сушарки. Дослідження на експериментальних установках довели хорошу кореляцію між результатами моделювання і реальними випробуваннями при аналогічних вхідних даних.

Отже, застосування методів обчислювальної гідродинаміки до задач подібного типу дає змогу отримати результати, які добре корелюються з експериментальними даними та дають значну економію при розробці й удосконалення обладнання.

Мета дослідження: визначення впливу конструкцій сопел розпилювальних дисків на кінематичні параметри потоку продукту, що розпилюється.

Викладення основних результатів дослідження. Як відомо, ступінь дисперсності і рівномірність розпилення залежать від швидкості вильоту і фізичних властивостей рідини та середовища (поверхневого натягу, густини, в'язкості).

Відцентрове розпилення відбувається в диску, що обертається і містить радіально розташовані канали, в яких діють досить великі відцентрові сили для надання значної швидкості рідині при її русі до периферії. Це обумовлює розпорошення продукту на дрібні краплі за рахунок турбулентності потоку і сил тиску, що виникають у результаті тертя об повітря.

Для дослідження процесу розпилення побудована модель диска (рис. 1). Спочатку було спроектовано диск з класичними соплами круглого перерізу з діаметром 8 мм.

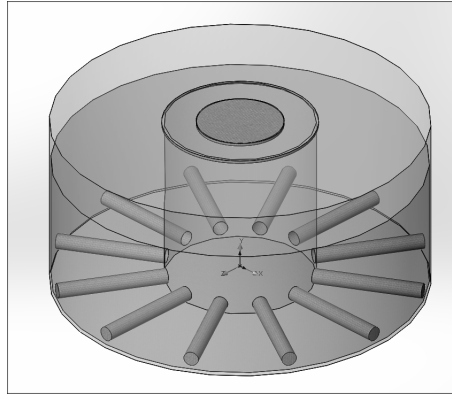


Рис. 1. Модель розпилювального диска

Досліджуваною рідиною вибрано згущене незбиране молоко при температурі 50°C та вмісті сухих речовин 50%, що має динамічну в'язкість $0,097\text{ Па}\cdot\text{с}$. Вхідний потік, відповідно до розрахунків, становив 1424 кг/год . Швидкість обертання диска — 12000 об/хв , його діаметр — 250 мм . Розподіл результуючої швидкості молока на виході із сопла без урахування сил тертя об стінки показаний на рис. 2.

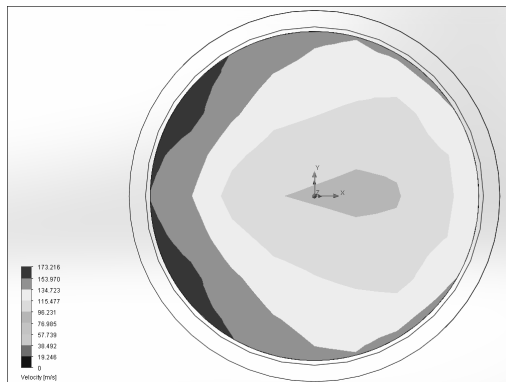


Рис. 2. Розподіл швидкості молока на виході із сопла з круглим поперечним перерізом

Видно, що розподілення результуючої швидкості є нерівномірним по перерізу сопла, досягаючи максимуму 173 м/с в лівому секторі. Відсутність

зменшення швидкості біля набігаючої стінки зумовлена спрощенням нами розрахункової моделі для скорочення часу комп'ютерного розрахунку. Для цього була встановлена нульова шорсткість внутрішньої поверхні сопла. В іншому ж отримані дані добре корелюють з розрахунковими.

Відомо також, що розпад під дією турбулентності призводить до утворення крапель, розмір яких обернено пропорційний квадратному кореню з відцентрової сили або першого ступеня частоти обертання.

У зв'язку з таким значним впливом на ефективність розпилення також досліджувалася турбулентність потоку молока (рис. 3).

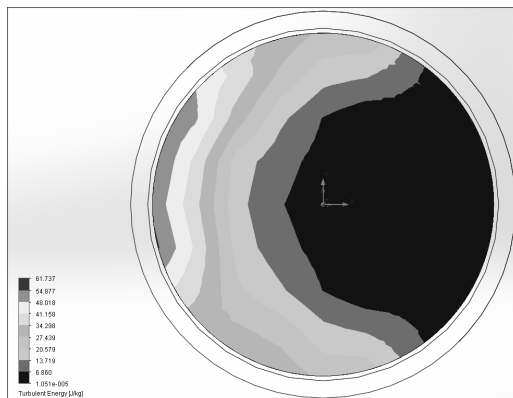


Рис. 3. Розподіл турбулентної енергії при виході молока із сопла з круглим поперечним перерізом

Максимальне значення турбулентної енергії при даній конструкції сопла складає близько 62 Дж/кг.

Потім досліджувалися сопла з прямолінійною й дуговою твірними та прямокутним перерізом (висота 30 мм і ширина 5 мм), моделі яких представлені, відповідно, на рис. 4 і 5. Інші параметри процесу брали такі ж, як і в досліді із соплом круглого поперечного перерізу. В цих дослідіх додали також вплив гравітаційної складової.

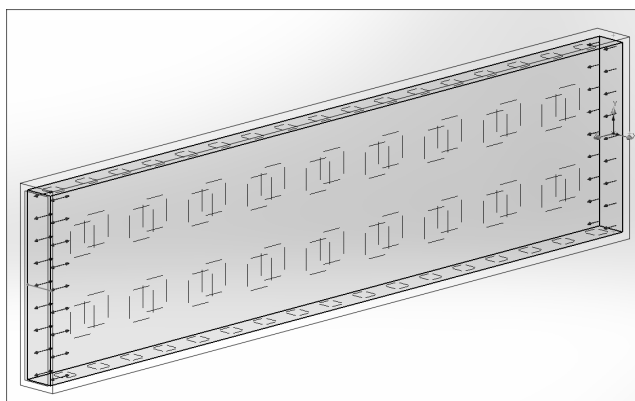


Рис. 4. Модель сопла з прямокутним поперечним перерізом і прямолінійною твірною

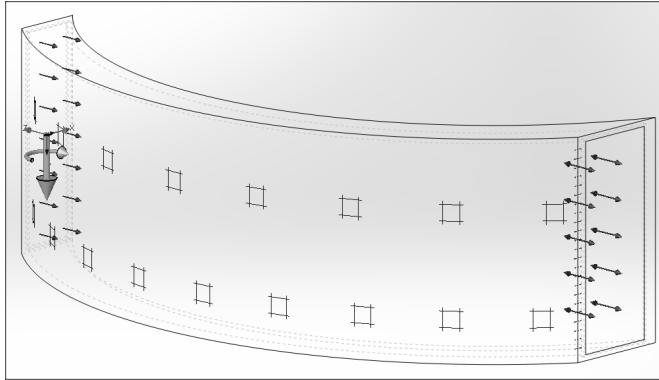


Рис. 5. Модель сопла з прямокутним поперечним перерізом і дуговою твірною ($R = 68\text{mm}$)

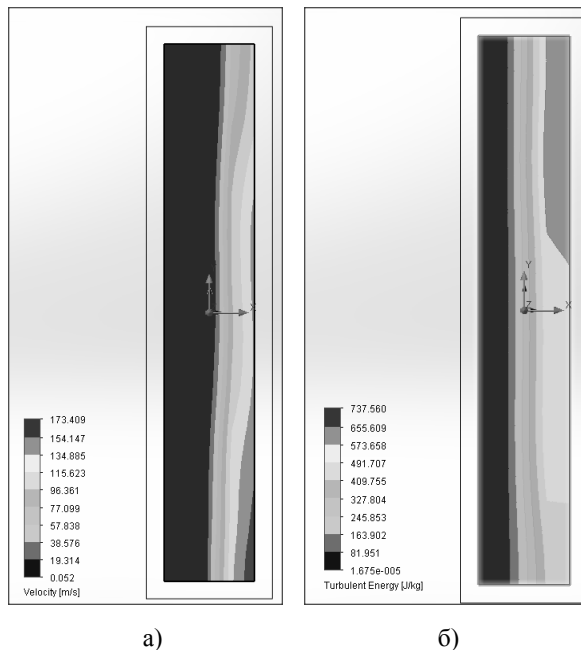


Рис. 6. Розподіл швидкості молока (а) і розподіл турбулентної енергії (б) на виході із сопла з прямокутним перерізом

Характер розподілу результуючої швидкості виходу молока із сопла з прямокутним перерізом значно відрізняється від розподілу швидкості на базі сопла з круглим перерізом. По-перше, відповідно до результатів моделювання (рис. 6а) продукт витікає із сопла через обмежену трапецієвидну зону з шириною в основі близько 2,5 мм. По-друге, спостерігаються чітко виражені зони максимальної швидкості біля набігаючої поверхні стінки сопла, що свідчить про утворення тонкої плівки молока на виході із сопел. По-третє, гравітаційна складова вносить свій вклад у розподіл швидкості, що підтверджує наявність трапецієвидної, а не прямокутної зони виходу продукту.

З рис. 6б видно, що турбулентна енергія для даного виду профіля сопла значно перевищує аналогічну для круглого профіля і досягає 737 Дж/кг, що сприяє кращому диспергуванню вихідного потоку й утворенню більш дрібних крапель розпиленого молока.

Для оцінки впливу шорсткості внутрішньої поверхні сопел на характер розподілу швидкості ми провели дослідження із заданою шорсткістю $Ra = 1,6$ мкм, що відповідає чистовому фрезеруванню. Результати досліджень у вигляді збільшеного фрагмента епюри розподілу швидкості молока показано на рис. 7.

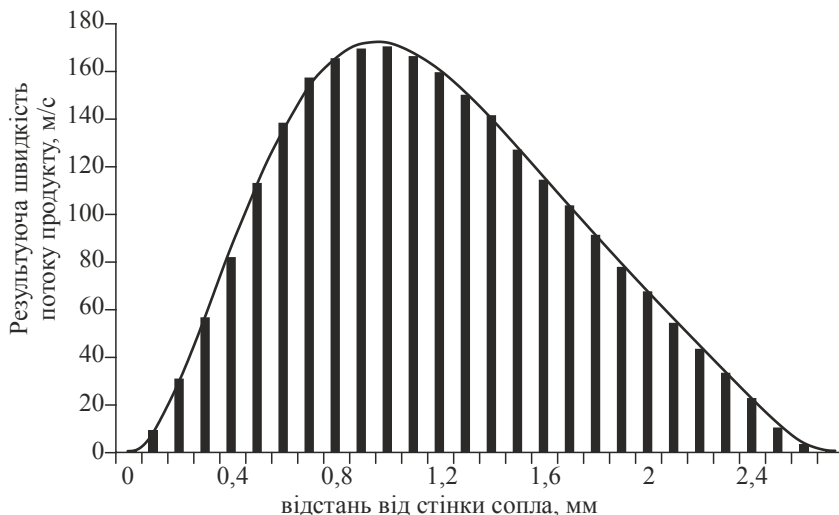


Рис. 7. Розподіл швидкості молока на виході із сопла з прямокутним поперечним перерізом при $Ra = 1,6$ мкм внутрішньої стінки

У випадку врахування реальної шорсткості стінки сопла спостерігаємо асиметричний розподіл швидкості в пристінковій зоні.

Висновки

При використанні розпилювального диску з соплами прямокутного поперечного перерізу та дуговою твірною виявили, що:

- продукт витікає через обмежену трапецієвидну зону, яка при даній продуктивності (1424 кг/год) має ширину в основі 2,5 мм;

- спостерігаються чітко виражені зони максимальної швидкості біля набігаючої поверхні стінки сопла, що свідчить про утворення тонкої плівки молока на виході із сопел;

- турбулентна енергія для даного виду профілю сопла значно перевищує аналогічну для круглого профіля, що сприяє кращому диспергуванню вихідного потоку й утворенню більш дрібних крапель розпиленого молока.

Отже, диски з соплами прямокутного поперечного перерізу та дуговою твірною забезпечують умови для більш ефективного розпилення молочних продуктів порівняно з дисками, які мають круглі сопла.

Література

1. *Huang L.X.* Simulation of a spray dryer fitted with a rotary disk atomizer using a three-dimensional computational fluid dynamic model / L.X. Huang, K. Kumar, A.S. Mujumdar // *Drying Technology*. — 2004. — V. 22, № 6. — P. 1489—1515.
2. *Guo B.* Simulation of gas flow instability in a spray dryer / B. Guo, T.A.G. Langrish, D.F. Fletcher // *Trans IChemE, Part A, Chem Eng Res Des.* — 2003. — V. 81. — P. 631—638.
3. *Harvie D.J.E.* A computational fluid dynamics study of a tall-form spray dryer / D.J.E. Harvie, T. A. G. Langrish, D.F. Fletcher // *Trans IChemE, Part A, Chem Eng Res Des.* — 2002. — V. 80, Issue 6. — P. 163—175.
4. *Harvie D.J.E.* Numerical simulations of gas flow patterns within a tall-from spray dryer / D.J.E. Harvie, T.A.G. Langrish, D.F. Fletcher // *Trans IChemE, Part A, Chem Eng Res Des.* — 2001. — V. 79. — P. 235—248.
5. What is important in the simulation of spray dryer performance and how do current CFD models perform / D.F. Fletcher, B. Guo, D.J.E. Harvie, T.A.G. Langrish, J.J. Nijdam, J. Williams // *Third International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries, Melbourne.* — 2003. — P. 81—92.
6. *Kota K.* Prediction of Deposition Patterns in a Pilot-Scale Spray Dryer Using CFD Simulations / K. Kota, T.A.G. Langrish // *Chem. Prod. and Proc. Modeling.* — 2007. — V. 2, Issue 3. — P. 26—35.
7. *Southwell D.B.* Observations of flow patterns in a spray dryer / D.B. Southwell, T.A.G. Langrish // *Drying Technology*. — 2000. — V. 18, Issue 3. — P. 661—685.
8. *Saleh S.N.* Prediction of Air Flow, Temperature and Humidity Patterns in a Pilot Plant Spray Dryer // *Nahrain University, College of Engineering Journal (NUCEJ)*. — 2010. — V. 13. — P. 55—65.
9. *Jin Y.* Numerical Study of the Drying Process of Different Sized Particles in an Industrial-Scale Spray Dryer / Y. Jin, X.D. Chen // *Drying Technology*. — 2009. — V. 3, Issue 27. — P. 371—381.