

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІКИ ТЕПЛОВОГО
АГЕНТУ ПІД ЧАС ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ПОДРІБНЕНИХ СТЕБЕЛ
СОНЯШНИКА**

Гаврилів Р. І., Кіндзера Д. П., Атаманюк В. М.

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ТЕПЛОВОГО
АГЕНТА ПРИ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ СУШКЕ ИЗМЕЛЧЕННЫХ СТЕБЛЕЙ
ПОДСОЛНЕЧНИКА**

Гаврылив Р. И., Киндзера Д. П., Атаманюк В. М.

**THE THERMAL AGENT HYDRODYNAMICS MODELING FOR FILTRATION
DRYING PROCESS OF SUNFLOWER GRINDED STEMS**

Havryliv R., Kindzera D., Atamanyuk V.

Національний університет

«Львівська політехніка»

Львів, Україна

havrilivroman@gmail.com

kindzera74@ukr.net

atamanyuk@ukr.net

Метою даного дослідження є визначення емпіричних параметрів моделі пористих середовищ для розрахунку перепаду тиску під час моделювання процесу фільтраційного сушіння. Визначення параметрів моделі пористого середовища базується на експериментальних даних в широкому діапазоні висот шару подрібненого соняшнику і швидкостей руху теплового агенту. Запропонований підхід на основі CFD (обчислювальної гідродинаміки) добре узгоджується з існуючими експериментальними даними і може бути використаний для створення нової конструкції фільтраційної сушарки.

Ключові слова: *фільтраційне сушіння, чисельне моделювання, гідродинаміка, модель пористої зони, стаціонарний шар, гідравлічний опір*

Целью данного исследования является определение эмпирических параметров модели пористых сред для расчета перепада давления при моделировании процесса фильтрационной сушки. Определение параметров модели пористой среды было основано на экспериментальных данных в широком диапазоне высот слоя измельченного подсолнечника и скоростей теплового агента. Такой подход на основе CFD (вычислительной гидродинамики) хорошо согласуется с существующими экспериментальными данными и может быть использован для создания новой конструкции фильтрационной сушилки.

Ключевые слова: *фильтрационная сушка, численное моделирование, гидродинамика, модель пористой зоны, стационарный слой, гидравлическое сопротивление*

The objective of this study is to define empirical parameters of the porous-media model for pressure drop calculation in filtration drying process simulation. Determination of the porous-media model parameters was based on experimental data in a wide range of the grinded sunflower stems packed bed height and the thermal agent velocities. The CFD (computational fluid dynamics) modeling approach shows good agreement with existing experimental data and can be used to create the new design of filtration dryer.

Keywords: *filtration drying, numerical simulation, hydrodynamics, porous zone model, packed bed, pressure drop*

Вступ

Перспективним напрямком розвитку промислових методів сушіння дисперсних сипких матеріалів є фільтраційний метод, високі техніко-економічні показники якого вигідно відрізняють його від інших традиційних способів теплової обробки матеріалів у тому числі рослинного походження.

Не дивлячись на значну кількість наукових досліджень кінетики сушіння дисперсних матеріалів різної природи фільтраційним методом, які відомі на сьогоднішній день, широкого промислового провадження установок фільтраційного сушіння поки що не має. Як правило, це пов'язано з відсутністю надійних методів інженерного розрахунку впливу конструктивних параметрів сушарок та характеристик матеріалу на гідродинаміку теплового агенту в шарі та на кінетику процесу сушіння, що вимагає додаткових досліджень.

Постановка задачі

В роботах [1, 2] автори експериментально досліджували гідродинаміку теплового агенту через стаціонарний шар подрібнених стебел соняшника різної висоти, що дало змогу на основі апроксимації дослідних даних у вигляді критеріального рівняння запропонувати теоретичну розрахункову залежність для розрахунку гідравлічного опору шару в діапазоні виконаних досліджень.

Іншим методом, який можна використати в інженерній практиці є метод чисельного моделювання, що реалізований у *CFD* пакетах обчислювальної гідродинаміки. Авторами роботи запропоновано використати як інструмент моделювання ПК *ANSYS Fluent*, який дає змогу моделювати широкий спектр завдань пов'язаних з рухом потоків рідин і газів в тому числі в пористих структурах і дисперсних шарах шляхом використання моделі пористого середовища.

Аналіз досліджень

Для реалізації методу комп'ютерного моделювання руху теплового агенту в пористому середовищі в програмі *ANSYS Fluent* використано метод апроксимації дослідних залежностей гідравлічного опору шару різної висоти від фіктивної швидкості руху теплового агенту на основі модифікованого рівняння Ергана. Експериментальні залежності втрати тиску мають параболічний характер, що свідчить про вплив на гідравлічний опір як в'язкісної, так й інерційної складової. Відповідно, базова система усереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є –Стокса і рівняння нерозривності потоку, яка реалізована в програмі *ANSYS Fluent*, була доповнена додатковими членами (емпіричними константами), що виражають вплив сил в'язкості та інерції в стаціонарному шарі дисперсного матеріалу.

За результатами математичної обробки експериментальних даних були визначені числові значення емпіричних констант у рівнянні Ергана – вязкісного ($1/\alpha = 9,35 \cdot 10^8 \text{ м}^{-2}$) і інерційного ($C_2 = 34540 \text{ м}^{-1}$) опору, відповідно. Для замикання усереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є –Стокса і рівняння нерозривності потоку була використана $k-\omega$ SST модель турбулентності.

Як граничні умови моделювання на вході в розрахункову область задавалися початкові параметри турбулентності потоку і швидкість теплового агенту. Інтенсивність турбулентних пульсацій приймалася 5%, а швидкість теплового агенту змінювалася в межах від 0,3 до 2 м/с, що відповідало умовам проведення фізичного експерименту. Як тепловий агент використовували повітря. Висота шару змінювали від 50 до 160 мм.

За результатами чисельного експерименту визначені поля швидкостей і зміни тиску в шарі, а також профілі швидкості на виході з розрахункової області та гідравлічний опір шару. Відносна похибка між значеннями гідравлічного опору отриманими на основі моделювання і дослідними даними не перевищує 8%.

Висновки

Запропонований метод моделювання гідродинаміки теплового агенту на основі моделі пористої зони дає змогу з високою для інженерних розрахунків точністю прогнозувати втрати тиску в шарі дисперсного матеріалу під час фільтраційного сушіння. Низькі значення гідравлічного опору підтверджують можливість використання даного методу в промисловості.

Література

1. Атаманюк В. М. Сушіння подрібнених стебел соняшника в умовах фільтрації теплоносія / В. М. Атаманюк, Д. П. Кіндзера, Р. Р. Госовський // Сучасні технології та обладнання харчових виробництв: зб. тез доп. Міжнар. наук.-техн. конф.(м. Тернопіль, 2011). Тернопіль. 2011 – С. 188.
2. Кіндзера Д. П. Дослідження процесу формування паливних брикетів із рослинної сировини та визначення їх характеристик / Д. П. Кіндзера, В. М. Атаманюк, Р. Р. Госовський, І. М. Мотіль // Науковий вісник НЛТУ України. 2013. Вип.23.17. – С. 138-144.