

4. Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації / О. Є. Колосов, В. І. Сівецький, Є. М. Панов та ін. — К. : ВД «Едельвейс», 2012. — 268 с.
5. Статюха Г. О. Розробка комп'ютерної системи підготовки та обробки даних у межах застосування експериментально-статистичної методології для хіміко-технологічних систем / Г. О. Статюха, А. Г. Петрань // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2000. — №1. — С. 100–106.
6. Колосов О. Є. Формування полімерних композиційних матеріалів із застосуванням фізико-хімічної модифікації (у двох частинах) / О. Є. Колосов. — К. : НТУУ «КПІ», 2005. — Ч. 1. Дослідження передумов направлено здійснення фізико-хімічної модифікації. — 251 с.
7. Колосов О. Є. Формування полімерних композиційних матеріалів із застосуванням фізико-хімічної модифікації (у двох частинах) / О. Є. Колосов, В. І. Сівецький. — К. : НТУУ «КПІ», 2006. — Ч. 2. Ефективні режими та обладнання для здійснення фізико-хімічної модифікації. — 196 с.
8. Колосов О. Є. Технологія одержання багатокomпонентних епоксиполімерів із застосуванням направленої фізико-хімічної модифікації / О. Є. Колосов, В. І. Сівецький, Є. М. Панов. — К. : НТУУ «КПІ», 2010. — 220 с.

The features of the using of modeling techniques in applied problems on the example of the optimization of technological parameters of ultrasonic molding reactoplastic polymer composites are analyzed.

Key words: *technology, parameter, modeling, experiment, mathematics, statistics, epoxy, polymer, resin binder, ultrasonic.*

Отримано: 24.07.2014

УДК 533.17

І. М. Кузьменко, канд. техн. наук

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ПОВІТРЯ ПО КАНАЛУ НАСАДКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАКЕТУ ANSYS FLUENT

У пакеті ANSYS Fluent виконано комп'ютерне моделювання руху повітря в каналі насадки. Для верифікації моделі результати порівнювалися з експериментальними даними Нікурадзе за турбулентного руху в каналі. Шляхом моделювання визначено товщину граничного шару та рекомендовано конструктивне розміщення каналів з мінімальною товщиною граничного шару.

Ключові слова: *пакет Ansys Fluent, канал, насадка, повітря, поле швидкостей.*

Вступ. Застосування методів комп'ютерного моделювання при розрахунку складних технологічних процесів дозволяє підвищити їх ефективність [1]. Зокрема для процесів в нафто-хімічній промисловості, енер-

гетиці (наприклад в градирнях) важливою є задача вибору ефективної насадки. Призначенням насадки є забезпечення контакту теплоносіїв за рахунок розвинутої питомої поверхні, великого вільного об'єму, не високого гідравлічного опору. Розрізняють два типи насадок — регулярні та насипні (не регулярні) [2]. Регулярні мають нижчу об'ємну вагу (до 115 кг/м^3 проти 960 кг/м^3 у насипних), нижчий аеродинамічний опір (до 200 Па проти 2000 Па у насипних) та вищу питому поверхню (до $700 \text{ м}^2/\text{м}^3$ проти $350 \text{ м}^2/\text{м}^3$ у насипних), що призводить до їх широкого застосування. Регулярні насадки виготовляють пакетами, набраними з плоских, або гофрованих листів, скріплених між собою стяжками, і встановлених один на інший (плоско-паралельні насадки) [3]. Для збільшення питомої поверхні в регулярних плоско-паралельних насадках перекладають гофровані листи плоскими (щільникові насадки). Це дає похилі, або вертикальні канали правильної конфігурації. При цьому питома поверхня зростає, але спостерігається нерівномірний рух пливки з утворенням застійних зон, оскільки зростає опір насадки.

Пакетні насадки, наприклад Спрейпак, Вакупак, Mellapak, відрізняються кращими технологічними характеристиками, порівняно з щільниковими. Проте, їх перевершують сітчасті пакетні насадки, зокрема насадка MellapakPlus, що містить гофри на листах у вигляді рівнобедреного прямокутного трикутника з гранями, довжиною 10 мм та кутом нахилу 30° до вертикалі. Гофри суміжних листів нахилено в протилежні боки і завдяки цьому між сітчастими листами створюється мережа перехресних каналів. Порівняно з Mellapak кут гофрів при русі газу знизу вгору зростає від 0° до максимуму в середині пакету насадки, а далі поступово зменшується до 0° на виході, що знижує швидкість газу та опір насадки на 25% .

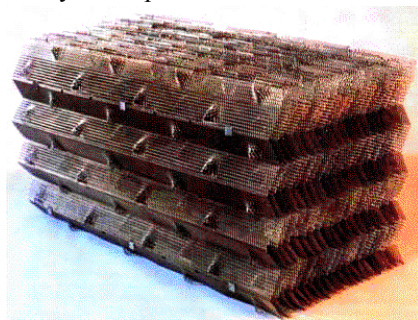


Рис. 1. Регулярна насадка Вакупак з паралельних гофрованих похилих листів

Тобто, покращення технологічних характеристик насадок досягається за рахунок ускладнення конструкції насадки, що обмежує їх виготовлення. Тому розроблена насадка, яка поєднує простоту виготовлення та високі технологічні характеристики [4], і виготовляється крученням гофрованої сітки в ролон циліндричної форми. За рахунок почергового

розміщення гофрованих та плоских листів, утворюються канали трикутного поперечного перерізу з протилежно направленим нахилом. Насадка має достатню питому поверхню ($600 \text{ м}^2/\text{м}^3$), невисокий гідравлічний опір (400 Па/м), достатній вільний об'єм 85% та проста в виготовленні. Проте, на даний час відсутні дослідження конструкції такої насадки, що дозволить вдосконалити конструкцію розробленої насадки.

Постановка задачі. Тому, метою роботи є моделювання руху повітряного потоку в каналах насадки. Мета досягалася шляхом комп'ютерного моделювання висхідного руху повітря з температурою 20°C в каналі насадки. Оскільки швидкість повітряного потоку є основним фактором інтенсифікації процесів в насадці, вивчено розподіл локальних швидкостей повітряного потоку та товщину пристінного граничного шару залежно від конфігурації каналу та його нахилу.

Основна частина. Для комп'ютерного моделювання використано один з відомих пакетів ANSYS Fluent 14.5, який використовується для чисельного розрахунку в задачах міцності, гідро-, аеродинаміки, теплофізики, електромагнетизму в діалоговому режимі з візуалізацією отриманих результатів [5]. Об'єктна структура представлення задач в пакеті ANSYS дозволяє в процесі проектування моделі створювати, змінювати, видаляти складові моделі, що відображаються в вікні Workbench, показаному на рис. 2. Зокрема, при моделюванні даної задачі вибрано проект Fluid Flow (Fluent). Формування ескізу з нанесенням розмірів виконується в вікні DesignModeler, що відображено на рис. 2 (справа). Також пакет ANSYS надає можливість імпорту готових 2D та 3D моделей з відомих CAD-систем (UG, Pro/E, CATIA, CADD5) в форматах IGES, SAT, Parasolid, або об'єднання кількох геометричних моделей в одну.

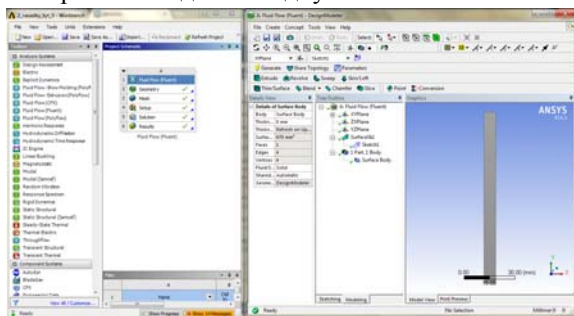


Рис. 2. Основне вікно Workbench та DesignModeler системи

Наступним етапом моделювання є накладання кінцево-різницевої сітки на модель, що виконується в вікні Meshing. В даному випадку, як показано на рис. 3, в автоматично генерованій сітці уточнено мінімальний та максимальний крок, які складають 10^{-5} та 10^{-4} м, відповідно.

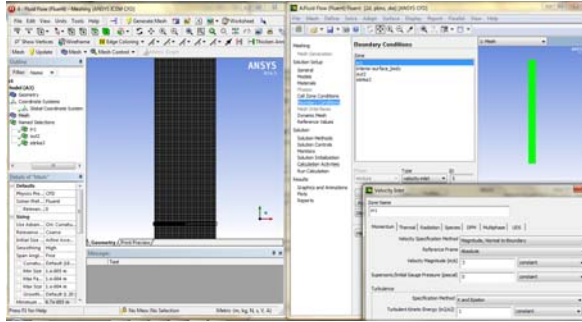


Рис. 3. Вікна Meshing та Setup системи

У наступному вікні — Setup (рис. 3, справа) встановлюються фізичні характеристики, граничні умови та обирається вирішувач із числа вбудованих. У цьому ж вікні проводиться вибір моделі руху — багатофазна, турбулентна, з теплообміном, з кипінням та ін. Далі вказується кількість ітерацій та запускається процес обрахунку. Отримані результати можна візуалізувати в вікні Setup. Проте, пакет ANSYS має окреме вікно Results з розширеним інтерфейсом для відображення результатів та їх експорту.

Результати моделювання. В пакеті ANSYS Fluent побудовано модель ламінарного та турбулентного руху повітря, температурою $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в каналі, діаметром $6,7\text{ мм}$. Рухом плівки води по стінці каналу нехтували, оскільки її товщина та швидкість на кілька порядків менші, ніж повітря. Всі розрахунки на моделі проведено з кроком кінцево-різницевої сітки до $0,10\text{ мм}$, що забезпечувало повторюваність результатів з достатньою точністю на сітках з меншим кроком. Верифікація результатів розрахунку моделі в пакеті ANSYS Fluent проводилася для турбулентного руху повітря зі швидкістю 30 м/с в вертикальному каналі, діаметром 30 мм (рис. 4). Як видно з рис. 4, найвище відхилення розрахованих даних від експериментальних даних Нікурадзе складає до 7% поза пристінною областю, що пояснюється коректністю вибору граничних умов. Тобто, модель руху в пакеті ANSYS Fluent з достатньою точністю описує поле швидкостей в каналі насадки.

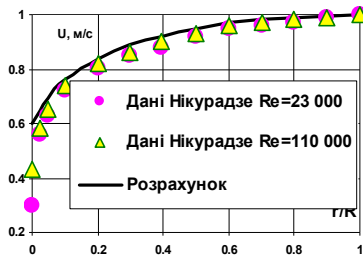


Рис. 4. Розрахунок середньої швидкості, порівняно з експериментальними даними Нікурадзе [6]

На рис. 5 показано візуалізацію процесу руху в вертикальному каналі, виконану в пакеті ANSYS Fluent 14.5. З аналізу швидкостей на рис. 5 видно, що на відстані від входу 5 мм товщина граничного шару за ламінарного та турбулентного руху складає 0,7 мм. Проте, на відстані до 10 мм граничний шар в ламінарному потоці збільшується до 1,0 мм, хоча граничний шар в турбулентному потоці залишається сталим — 0,7 мм. Подальше зростання відстані до 20 мм збільшує граничний шар в ламінарному потоці до 1,1 мм і не змінює значення граничного шару в турбулентному.

На рисунку 6 показано поле швидкостей на моделі у місці переходу з нижнього каналу в верхній за швидкості повітря 3 м/с.

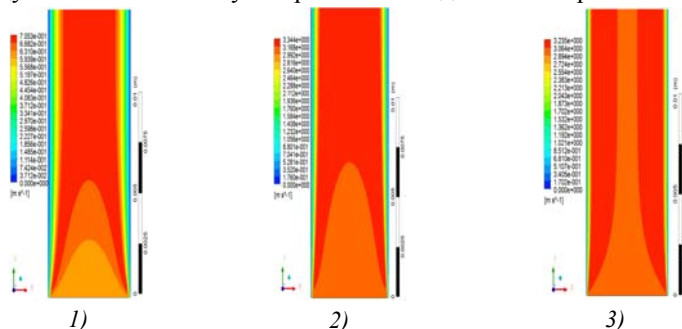


Рис. 5. Візуалізація руху повітря проти сили тяжіння в вертикальному каналі. Зліва направо 1 — ламінарний рух, швидкість на вході 0,6 м/с; 2 — ламінарний рух, швидкість на вході 3 м/с; 3 — турбулентний рух, швидкість на вході 3 м/с

Як видно з рис. 6, у місці переходу каналу в канал поле швидкостей змінюється, порівняно з одиночним каналом, показаним на рис. 5 за відстані від входу, більшої 20 мм. Якщо в одиночному каналі на певній відстані течія стабілізується і граничний шар не збільшується (рис. 5), то в схемі з послідовним розміщенням вертикальних каналів, граничний шар наростає вздовж всієї довжини нижнього вертикального каналу (рис. 6). При цьому, в місці переходу з нижнього каналу у верхній, він руйнується та надалі починає наростати вздовж верхнього каналу.

На рис. 7 зображено результати обрахунку поля швидкостей за послідовного розміщення різнонаправлених похилих каналів, які омиваються повітрям з початковою швидкістю 3 м/с, що рухається проти сили тяжіння. Розрахунки проведено з кроком сітки до 0,10 мм, що забезпечило повторюваність результатів з достатньою точністю на сітках з меншим кроком.

Видно, що вздовж всього каналу товщина граничного шару наростає, оскільки за ламінарного та турбулентного режимів руху повітря не досягається стабілізація течії.

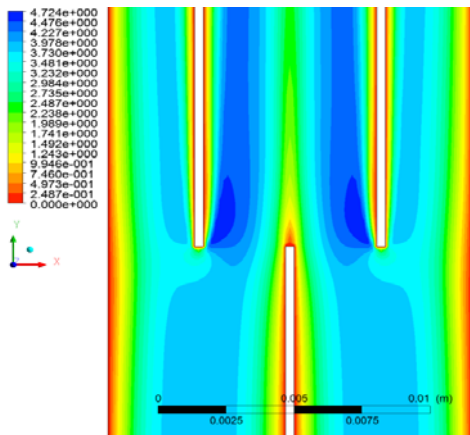


Рис. 6. Поле швидкостей на моделі у місці переходу з нижнього каналу в верхній за швидкості повітря на вході 3 м/с

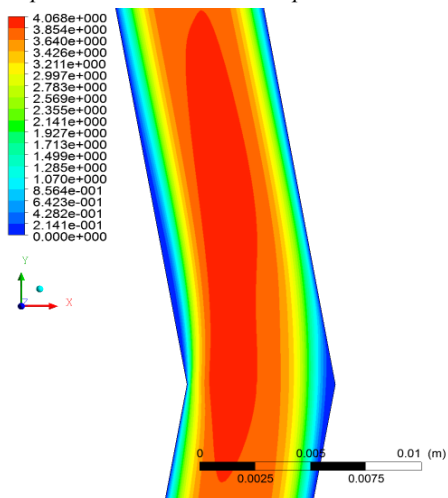


Рис. 7. Поле швидкостей на моделі у місці переходу з нижнього похилого каналу в верхній за швидкості повітря на вході 3 м/с

При цьому, ламінарна течія повітря не є осесиметричною, — товщина граничного шару напроти входу зменшується та з боку протилежного ходу потоку повітря, граничний шар заповнює весь перетин каналу, що залишився. Зокрема, на відстані до входу 20 мм. товщина граничного шару складає 6,6 мм.

У місці переходу з нижнього похилого каналу в верхній товщина граничного шару мінімізується та знов продовжує зростати у верхньому похилому каналі.

Висновки. Розроблена в пакеті ANSYS Fluent 14.5 модель з достатньою точністю описує рух повітряного потоку в каналі та системі каналів. Відхилення від даних експерименту складає до 7% поза пристінною областю.

Турбулізація зменшує товщину граничного шару в вертикальному каналі.

В місці переходу з нижнього каналу у верхній у системі каналів граничний шар руйнується і надалі починає наростати вздовж верхнього каналу. За рахунок цього ефективність системи каналів вища, ніж в одиночному каналі.

За послідовного розміщення різнонаправлених похилих каналів граничний шар займає весь поперечний перетин каналу, а його товщина є мінімальною зі сторони проти входу та максимальною з протилежної. Товщина граничного шару в верхньому похилому каналі менша, ніж в вертикальному.

Рекомендована довжина каналу становить до 50 мм. для системи вертикально розміщених каналів та більше 100 мм. у випадку послідовного розміщення різнонаправлених похилих каналів, що зменшує товщину граничного шару та інтенсифікує процеси в насадці.

Список використаних джерел:

1. Кузнецов В. А. Основы математического моделирования теплотехнологических процессов : учеб. пособие / В.А. Кузнецов. — Белгород : Изд. БГТУ, 2004. — 95 с.
2. Марценюк А. С. Пленочные тепло- и массообменные аппараты в пищевой промышленности / А. С. Марценюк, В. Н. Стабников. — М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 160 с.
3. Ель-Таллаа А. А. М. Теплообмен при пленочной конденсации в трубах : дисс. ... канд. техн. наук : 05.14.05 / А. А. М. Ель-Таллаа. — К., 1997. — 130 с.
4. Кузьменко І. М. Гідродинаміка та тепломасообмін в протитоківому контактному випаровувачі з сітчастою гофрованою насадкою : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.06 / І. М. Кузьменко. — К., 2003. — 17 с.
5. Режим доступу <http://ansys.com>.
6. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. — М. : Физматгиз, 1974. — 430 с.

Modeling of air motion in channel of regular packing made using package ANSYS Fluent. The results were compared with experimental data for Nikuradze turbulent motion in the channel at the verification of model. The thickness of the boundary layer and recommended constructive placement channels with a minimum thickness of the boundary layer is determined from the model.

Key words: *package Ansys Fluent, channel, regular packing, air, the velocity field.*

Отримано: 18.09.2014