

Список літератури

1. Общая теплотехника / [И.Т.Швец, В.И. Голубинский, Н.Ф. Кираковский и др.] – К.: Изд – во Киев. ун – та, 1963. – 561 с.
2. Рабинович О.М. Котельные агрегаты /О.М. Рабинович – М.–Л.: Машгиз, 1963. – 460 с.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАБОЧИХ РАСЧЕТОВ ПРИ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В.Е. Василенков

Приведены исследования технологического процесса определения теплотворных свойств топлив. Обоснована целесообразность обязательного учета поправок на образование серной, азотной кислот и скрытой теплоты парообразования, что влияет на реализацию теплоты в практических условиях, меньше чем реализация теплоты по бомбе.

***Ключевые слова:* теплотворная свойство топлива, калориметр, бомба, элементарный состав топлива, сжигание топлива**

IMPROVING THE ACCURACY OF WORKING ESTIMATES AT CALORIMETER STUDIES

V. Vasylenkov

Presents the research of process determining calorific properties of fuels. The expediency of the amendment on the mandatory formation of sulfuric, nitric acids and the latent heat of vaporization, which affects the implementation of heat in practical terms, is less than the realization of the heat of the bomb.

***Keywords:* the calorific value of fuel properties, calorimeter bomb elemental composition of the fuel combustion**

УДК 536.2

ПОБУДОВА СІТКИ В ANSYS MESHING ДЛЯ CFD МОДЕЛЕЙ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

В.І. Троханяк, аспірант*
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Розроблено методуку та проаналізовано побудову 2D сітки використовуючи метод кінцевих елементів в ANSYS Meshing для

* Науковий керівник – доктор технічних наук В.Г. Горобець

теплообмінників при коридорному розташуванні пучка труб. Розглянуто особливості та розроблено алгоритм побудови сітки для задач гідро- газодинаміки і тепло- масопереносу. Вибрано найбільш оптимальні та якісні сітки для CFD моделей.

Ключові слова: *метод кінцевих елементів, межовий шар, загальна товщина, плавний перехід, гібридна сітка, чотирикутна сітка*

При чисельному розрахунку задач гідродинаміки і теплопереносу використовується метод кінцевих елементів (МКЕ). В англійській літературі його називають Finite Elements Method (FEM). Суть методу полягає в наближеному вирішенні варіаційної задачі. Для формулювання цього завдання використовуємо поняття функціонала. Оператор $I[f(x)]$ називається функціоналом, який заданий на деякій множині функцій, якщо для кожної функції $f(x)$ ставиться у відповідність певне числове значення $I[f(x)]$ [2]. Іншими словами, функціонал є як би «функцією від функції». Часто функціонали мають вигляд інтегралів. Варіаційна задача полягає у знаходженні такої функції $f(x)$, яка б відповідала мінімальному значенню функціонала $I[f(x)]$. Вигляд цього функціонала різний для різних завдань, який підбирається спеціальним вибором.

Нині МКЕ знайшов широке застосування при вирішенні задач теплопровідності в твердих тілах і при розрахунках на міцність. Однак він може бути застосований і при розрахунку течій рідин і газів [1]. Відомі також методи, які поєднують у собі елементи методу кінцевих об'ємів і методу кінцевих елементів [3, 5]. Поєднання цих методів дозволяє використовувати більш широкий ряд розрахункових сіток (тетрагональні сітки, піраміди, призми, поліедри), що необхідно при вирішенні завдань зі складною геометрією. Цей підхід використовують CFD пакети Ansys CFX, Ansys Fluent, Star-CD, Star-CCM+, Comsol та ін.

Пакет ANSYS має безліч застосувань практично для всіх галузей сучасної науки і техніки, в тому числі в сільськогосподарській галузі. Розглянемо деякі особливості побудови сітки для задач гідро- газодинаміки, тепло- масопереносу – створення її в ANSYS Meshing, зокрема 2D. ANSYS Meshing відмінно підходить для створення сітки для CFD додатків ANSYS - CFX або FLUENT. Побудова сітки проводилася в сіткогенераторі ANSYS Meshing на базі платформи Workbench.

Існує багато методів для оцінки якості сітки. Основними критеріями якості елементів (осередків) для Fluent є Orthogonal Quality і Skewness, які наведені в табл. 1. Рекомендується використовувати сіткові моделі, для яких мінімальне значення Orthogonal Quality > 0.1 або максимальне значення Skewness «перекіс» < 0.95 [4]. «Перекіс» – це міра зміни елемента в порівнянні з початковою його формою, яка знаходиться в діапазоні від 0 (Відмінна) до 1 (Неприпустима). Елементи низької якості можуть призвести до неточних результатів, або в деяких випадках рішення може не зійтися!

1. Діапазон показника якості сітки Orthogonal Quality та Skewness.

Критерії якості сітки	Якість сітки					
	Відмінна	Дуже гарна	Гарна	Задовольняє	Погана	Не припустима
Orthogonal Quality	0,95–1,00	0,70–0,95	0,20–0,70	0,10–0,20	0,001–0,10	0,00–0,001
Skewness	0,00–0,25	0,25–0,50	0,50–0,80	0,80–0,95	0,95–0,98	0,98–1,00

Мета досліджень – створення 2D сітки МКЕ таким чином, щоб проаналізувати область обтікання трубок у відповідних точках та поверхнях (температура, теплові та гідродинамічні потоки, тиск), похибка при цьому має бути не більше 5 %, при бажаній точності ~ 1 %.

Матеріали та методика досліджень. Розглянемо кожухотрубний теплообмінник із кожухом прямокутного перерізу при поперечному обтіканні пучків труб діаметром $d=10$ мм традиційного коридорного розташування $A \times B 1.5 \times 1.5$ (рис. 1).

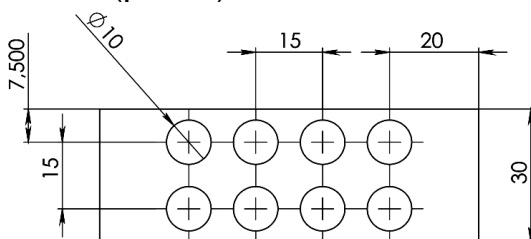


Рис. 1. Схема традиційного коридорного розташування пучка труб

Робоча область ANSYS Meshing Application використовує підхід ділення. Різний "Метод розбивки" може бути застосований до кожної частини геометрії. Сітки в окремих тілах можуть бути несумісними. Спільні сітки створюються в одному тілі. Всі сітки зберігаються в центральній базі даних. Існує багато методів для 2D геометрії [5].

В ANSYS Meshing Platform для 2D геометрії є чотири методи, які можуть бути застосовані для поверхневих тіл або оболонок:

- автоматичний (Automatic Method) (Quadrilateral Dominant);
- всі триангулярні елементи (All Triangles);
- рівномірний розподіл чотирикутних і триангулярних елементів;
- рівномірний розподіл чотирикутних елементів.

Результати досліджень. При побудові сітки для теплообмінного апарата використано локальне управління сіткою. Створювались постійні шари в межовому шарі (МШ) при різній кількості шарів (табл. 2) для отримання повної товщини, тобто товщини першого шару ($2 \cdot 10^{-4}$ м), а для кожного наступного шару товщина вибиралася постійною.

Для всіх геометрій та видів побудови сітки вибиралися однакові параметри, а саме:

- мінімальний розмір елемента $5 \cdot 10^{-4}$ м;
- максимальний розмір грані $1 \cdot 10^{-3}$ м;
- кривизна кута 450.

2. Параметри побудови сітки 2D МКЕ для теплообмінного апарата традиційного коридорного розташування пучків труб.

Показник якості сітки (Orthogonal Quality)	0,68	0,64	0,58	0,63	0,7	0,75
Показник якості сітки (Skewness)	0,49	0,53	0,70	0,65	0,63	0,4
Кількість елементів, шт.	22354	17452	10771	10504	8098	16460
Кількість вузлів, шт.	14676	10209	11232	10963	8569	8705
Межовий шар, шт.	12	4	4	3	-	-
Товщина першого шару, м	$2 \cdot 10^{-4}$	-	-	$2 \cdot 10^{-4}$	-	-
Метод побудови сітки	Гібридна	Гібридна	Квадратна	Квадратна	Квадратна	Гібридна
Метод побудови межового шару	Загальна товщина	Плавний перехід	Плавний перехід	Загальна товщина	-	-

Традиційне коридорне розташування пучка труб. На рис. 2 видно, що застосовується гібридна сітка: в області навколо поверхні трубок використовується чотирикутна сітка і трикутна сітка у всій іншій області. Чотирикутна сітка забезпечує більшу точність градієнтів в'язкості поблизу поверхні труб.

При побудові гібридної сітки було виявлено, що використовуючи побудову межового шару методом загальної товщини (ЗТ) (Total Thickness), товщиною першого шару $2 \cdot 10^{-4}$ м при кількості від 3 до 12 шарів якість сітки за двома параметрами залишається незмінною і знаходиться в межах Orthogonal Quality 0,68, Skewness 0,49 (див. табл. 2). Моделюючи гідродинаміку обтікання трубок, вибір кількості шарів має велике значення для аналізу відривних зон. Тому, рекомендується задавати максимальну кількість шарів – до 12 шарів (рис. 2). Така побудова вимагає використовувати велику кількість елементів порівняно з квадратною сіткою.

Із застосуванням методу плавного переходу (ПП) (Smooth Transition) найякіснішою буде сітка, що містить 4 шари (Orthogonal Quality 0,64, Skewness 0,53). При збільшенні або зменшенні кількості шарів якість розрахунку суттєво знижується.

Побудова квадратних елементів сітки займає значно більше розрахункового часу та не дає бажаного результату для цієї геометрії. Найякісніша буде сітка при використанні методу побудови межового шару ЗТ (рис. 3), який становить Orthogonal Quality 0,63, Skewness 0,65.

Розроблені алгоритми та методики побудови оптимальних сіток були використані при тепловому та гідравлічному розрахунку теплообмінних апаратів різного призначення – теплообмінників для охолодження вентиляційного повітря у пташниках, теплообмінників для утилізації теплоти відпрацьованих газів когенераційних установок та інших теплообмінних апаратів.

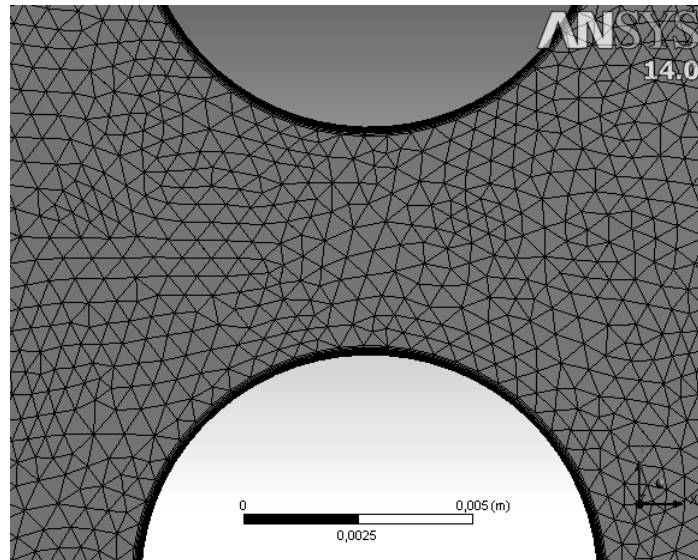


Рис. 2. Гібридна сітка, побудована методом межового шару 3Т, у кількості 12 шарів з початковою товщиною $2 \cdot 10^{-4}$

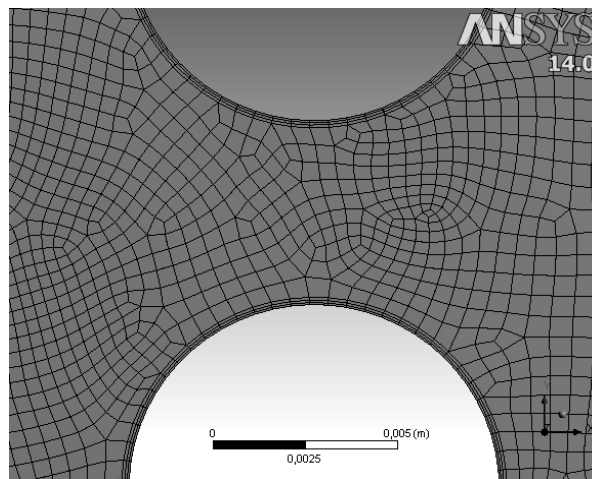


Рис. 3. Чотирикутна сітка, побудована методом межового шару 3Т, у кількості 3 шари з початковою товщиною $2 \cdot 10^{-4}$

Висновки

1. Створено алгоритм та проаналізовано побудову 2D сітки МКЕ в ANSYS Meshing для традиційного коридорного розташування пучка труб.
2. Розглянуто особливості побудови сітки для задач гідрогазодинаміки і тепло- масопереносу при поперечному обтіканні пучків труб.
3. У результаті розробленого підходу вибрано найбільш оптимальні та якісні сітки для CFD моделей, що дає змогу отримати достовірні та точні результати розрахунку теплообмінників різного призначення.

Список літератури

1. Власова Е.А. Приближенные методы математической физики / Е.А. Власова, В.С. Зарубин, Г.Н. Кувыркин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 700 с.

2. Дульнев Г.Н. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена / Г.Н. Дульнев, В.Г. Парфенов, А.В. Сигалов. – М: Высш. шк., 1990. – 207 с.
3. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Патанкар; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
4. ANSYS Meshing User's Guide. / ANSYS Inc.– ANSYS Meshing Release 15.– 2013.
5. J.H. Ferziger, M. Perić. Computational Methods for Fluid Dynamics 3., rev. ed. - Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milan; Paris; Tokyo: Springer, 2002.

ПОСТРОЕНИЕ СЕТКИ В ANSYS MESHING ДЛЯ CFD МОДЕЛЕЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.И. Троханяк

Разработана методика и проанализированы построение 2D сетки используя метод конечных элементов в ANSYS Meshing для теплообменников при коридорном расположении пучка труб. Рассмотрены особенности и разработан алгоритм построения сетки для задач гидро- газодинамики и тепло- массопереноса. Выбраны наиболее оптимальные и качественные сетки для CFD моделей.

Ключевые слова: метод конечных элементов, пограничный слой, общая толщина, плавный переход, гибридная сетка, четырехугольная сетка

CONSTRUCTION MESH IN ANSYS MESHING MODELS FOR CFD FINITE ELEMENTS METHOD

V. Trokhanyak

The method of construction and analyzed using 2D grid finite element method in ANSYS Meshing for heat exchangers in the corridor location of the beam pipe. The features and mesh construction algorithm for problems of hydraulic gas dynamics and thermal mass transfer. Your best and high quality meshes for CFD models.

Keywords: finite elements method, boundary layer, total thickness, smooth transition, hybrid mesh, quadrilateral mesh