

УДК 536.24:533.6.011

CFD-МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННОГО АПАРАТУ З ПРЯМОТОЧНОЮ СХЕМОЮ РУХУ ТЕПЛОНОСІЇВ

Баранюк О.В., к.т.н.,

Рачинський А.Ю., к.т.н.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)

Відомо, що на сьогоднішній день система охолодження високопродуктивних повітряних компресорів, яка дозволяє охолодити як нагріті частини компресора, так і одержуваний стиснене повітря, що викидає тепло в навколишнє середовище. Це тепло можна використовувати з користю, наприклад, для нагрівання води для побутових потреб. Існуючі системи охолодження можна умовно розділити на два види: системи повітряного охолодження і водяного. У разі використання водяної системи охолодження стає можливим використання пластинчастого теплообмінника. Відомо, що пластинчасті теплообмінники володіють високою компактністю, малим гідравлічним опором при одночасно високій інтенсивності теплообміну.

На сьогоднішній день розроблено безліч достовірних аналітичних методик розрахунку теплообміну та гідродинаміки в каналах пластинчастих теплообмінних апаратів і теплового стану таких теплообмінників, проте робіт виконаних засобами CFD-моделювання недостатньо. Авторами зроблена спроба, визначити теплове навантаження і гідравлічний опір та характеристики міцності конструкції пластинчастого теплообмінного апарату розбірного типу. Дослідження виконано за допомогою методів CFD-моделювання в середовищі програмного комплексу ANSYS-Fluent. Проведена верифікація результатів моделювання з розрахунковими даними, отриманими за відомим інженерним методикам розрахунку теплогідравлічних характеристик пластинчастих теплообмінних апаратів. Результати дослідження можуть бути використані для оцінки інтенсифікації теплообміну і аналізу течії з метою підвищення ефективності пластинчастого теплообмінника.

Ключові слова: пластинчастий теплообмінник, чисельне дослідження, теплообмін, протягом, моделювання.

Постановка проблеми. Пластинчасті теплообмінники використовуються на теплогенеруючих та теплоиспользующих підприємствах у всьому світі. Цьому сприяє їх висока компактність, малий гідравлічний опір при одночасно високій інтенсивності теплообміну, простота виготовлення, зручність монтажу і доступність очищення поверхонь від забруднень.

У статті пропонується на основі фізично обґрунтованих методів CFD-моделювання в середовищі програмного комплексу ANSYS-Fluent розраховувати теплові, гідравлічні та міцності пластинчастих теплообмінників розбірного типу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні розроблено безліч аналітичних та інженерних методів розрахунку теплообміну та гідродинаміки для різних типів пластинчастих теплообмінників [1-5]. Однак, незважаючи на безперервне зростання публікацій з даної тематики, кількість досліджень шляхом чисельного моделювання за допомогою відомих програмних продуктів для вирішення цього складного завдання вельми обмежена, а їх результати часто носять суперечливий і випадковий характер, а отримані моделі недостатньо детальні і точні [8]. Тому завдання підвищення ефективності при виробництві, передачі і використанні теплової енергії є актуальною і безпосередньо залежить від ефективності застосовуваних теплообмінних апаратів. В свою чергу дана задача вирішується на основі перспективних способів інтенсифікації теплообміну в цих теплообмінниках з урахуванням застосування надійних і достовірних методів їх розрахунку.

До переваг пластинчастого теплообмінника [1-5] можна віднести компактність ($120...660 \text{ м}^2/\text{м}^3$) і малу вагу (в 6 раз менше ваги еквівалентного кожухотрубчасті теплообмінника), високу турбулізацію потоків теплоносіїв, які забезпечують високу ефективність теплообміну і ефект самоочищення поверхонь, можливість легкого нарощування потужності теплообмінника шляхом додавання нових пластин, здійснення контролю та технічного обслуговування. Пластинчастим теплообмінникам властиві високі ККД - до 93%.

Однак, пластинчасті теплообмінники через конструктивних особливостей мають значно обмежені діапазони робочих параметрів. Так, максимальний тиск теплоносія не може перевищувати 3 МПа, зазвичай номінальний тиск становить 1 МПа. Матеріал прокладок обмежує і максимальну робочу температуру - до 260 °С. Тому, щоб уникнути використання прокладок з дорогих матеріалів, номінальна температура становить 150 °С.

Розробка і проектування пластинчастого теплообмінника включає ряд розрахунків: теплової, гідродинамічний, прочностной, техніко-економічний. Основним видом розрахунку є теплової, який дозволяє визначити, при задається теплової потужності, необхідну площу поверхні теплообміну [1-5]. Однак, кількісні співвідношення для теплогідравлічного розрахунку міжпластинчастих каналів в широкому діапазоні зміни їх геометричних характеристик (висота, форма поперечного перерізу, тип рельєфу пластини) і гідродинамічних умов течії в каналі визначені поки далеко не в повному обсязі і не завжди фізично обгрунтовані [1-5]. Пояснюється це відсутністю строгих аналітичних моделей і методів розрахунку, а також недостатньою розробкою чисельних методів розрахунку, що розширюють діапазони зміни характеристик. Існує також дефіцит надійних експериментальних досліджень, в тому числі щодо детального з'ясування істоти механізму інтенсифікації теплообміну, а також можливих маловивчених особливих гідродинамічних режимів течії в геометрично складних каналах пластинчастого теплообмінника.

Формулювання цілей статті. Метою цієї роботи є створення методу розрахунку теплообміну та гідродинаміки пластинчастих теплообмінників з каналами різної геометричної конфігурації, на основі комп'ютерного моделювання з використанням пакета ANSYS (модуль FLUENT).

Для досягнення мети поставлені такі завдання:

- створити детальну розрахункову модель, підготовлену для чисельного рішення з мінімізованою похибкою в завданні вихідних даних;
- налаштувати вирішувач і рішення, що забезпечують збіжність і стійкість ітераційного процесу, а також запуск рішення задачі з результатом чисельного рішення в широкому діапазоні його застосовності;
- обробити і представити результати моделювання у вигляді візуалізації розподілу шуканих розподілів температур на поверхнях теплообмінника та характеристик міцності.

Основна частина. Процедура моделювання здійснюється шляхом моделювання геометрії та розрахункової сітки, а після задання граничних умов виходить CFD-модель, вирішення якої можливе в середовищі програмного комплексу ANSYS-Fluent. Розроблена CFD-модель являє собою тривимірну модель пластинчастого теплообмінника (рис. 1,а) і дозволяє розраховувати тепло- і гідравлічні характеристики потоків, що рухаються в межпластинчатом просторі. Процедура

моделювання передбачає дискретизацію основних конструктивних елементів і рідкої фази пластинчастого теплообмінного апарата за допомогою нерівномірних розрахункових сіток, що дозволяють уявити фізико-математичний опис течії всередині простору між пластинами, яке ґрунтується на чисельному рішенні усереднених по числу Рейнольдса рівнянь Нав'є-Стокса, замкнених за допомогою RNG моделі турбулентності з нерівновагими пристінними функціями. Згадані рівняння не наводяться у зв'язку з тим, що вони приведені в User's Guide of Fluent.

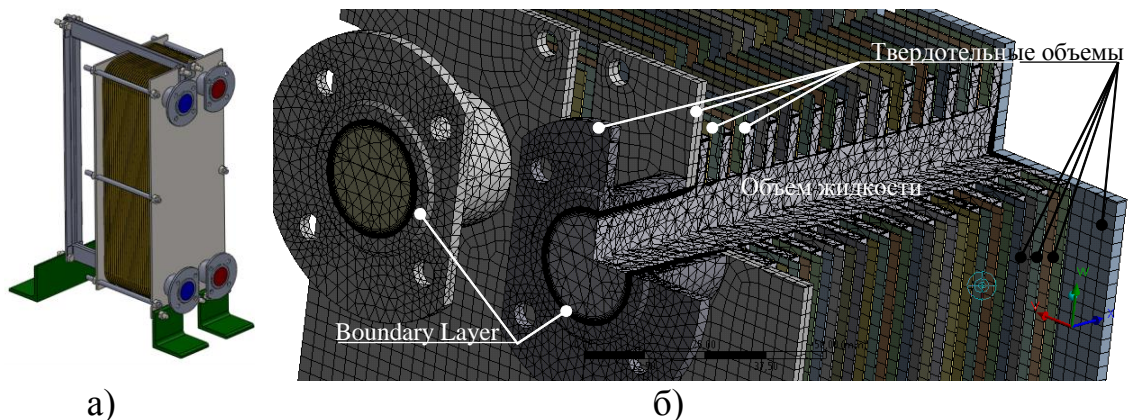


Рис. 1. CFD-модель пластинчастого теплообмінника (а) і фрагмент розрахункової кінцево-елементної сітки для розрахунку міцності (б)

Як об'єкт моделювання використовувалася, розроблена авторами реально діюча конструкція пластинчастого теплообмінника (підприємство «СІГМА-ІНЖИНІРИНГ», м.Київ). Конструкція складалася з окремих пластин, розділених гумовими прокладками, двох плит (однією нерухомою, а інший притискної), вхідних і вихідних патрубків з різними видами з'єднань, комплекту жорстко і герметично з'єднаних робочих гладких пластин, спеціальних напрямних, різьбових метизів і штуцерів для приєднання технологічних трубопроводів (рис. 1,б).

В якості гріючого середовища вибрано масло гідравлічне марки А / МГ-32-В / Агринол ISO VG 32 [6], а в якості нагріваемого - дистильована вода. Теплофізичні властивості води і масла записувалися у вигляді поліноміальних залежностей від температури. Температура масла і води на вході, відповідно 80 °С і 15 °С. Витрата масла, обраний відповідно до рекомендацій [2] становив 2,94 кг/с, при цьому витрата води становив 0,85 кг/с.

Для аналізу міцності теплообмінника необхідно розподілу інтенсивності напружень σ_i і деформацій ϵ_i , які зображені на рис. 2. На

зазначених рисунках видно, що найбільші напруги і деформації будуть виникати в корпусі теплообмінника зі сталі 3.

Згідно ГОСТ Р 52857.1-2007 при робочій температурі теплообмінника 150 °С Допустима напруга для сталі 3 становитиме $[\sigma] = 145$ МПа.

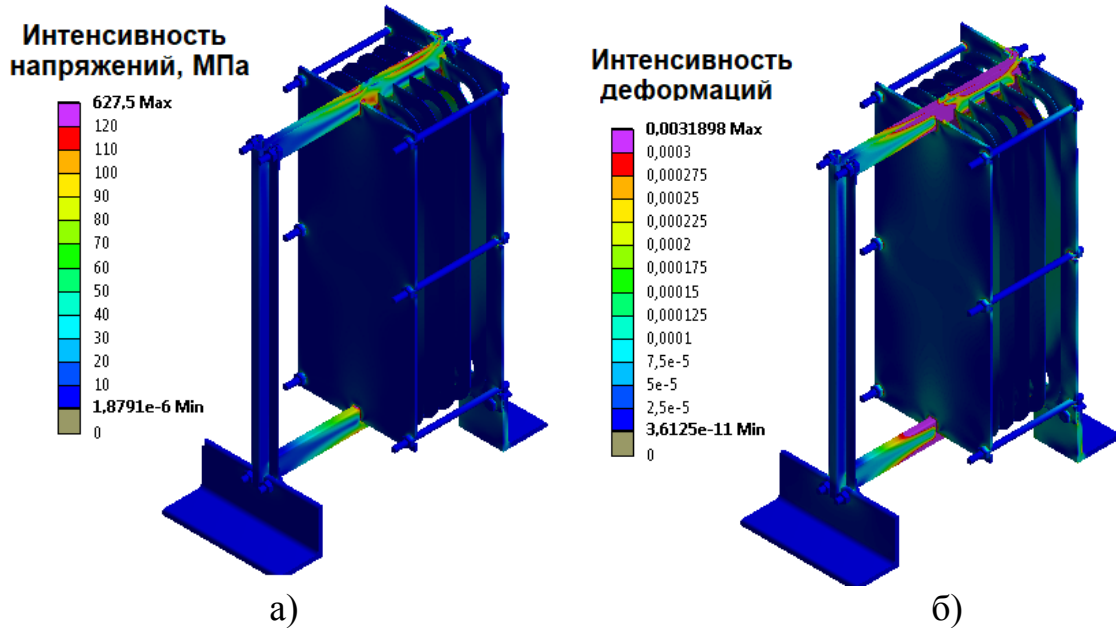


Рис. 2. Розподіл інтенсивності напружень (а) і деформацій (б) в теплообміннику

Для аналізу міцності конструкції використовуємо четверту теорію міцності – енергетичну. Енергетична теорія міцності (теорія найбільшої питомої потенційної енергії формозміни) виходить з передумови про те, що кількість потенційної енергії формозміни, накопиченої до моменту настання небезпечного стану (повзучості матеріалу), незмінна як при складному напруженому стані, так і при простому розтягуванні. Наведені напруги при об'ємному напруженому стані:

$$\sigma_{np} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \sigma_u, \quad (1)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруги.

Виходячи з рис. а можна встановити, що $\sigma_{np} = \sigma_i = 120$ МПа $< [\sigma] = 145$ МПа. Умова міцності по четвертій теорії виконується.

Висновки. В якості основних висновків по проведеній роботі можна констатувати, що розроблена CFD-модель:

- оцінювати вплив геометричних і режимних характеристик на ефективну роботу теплообмінника і визначати теплогідравлічні і міцності теплообмінника;

- забезпечувати швидке виконання інженерних розрахунків і дозволяють своєчасно вносити корективи в конструкторську документацію.

Аналізуючи результати CFD-моделювання також свідчить, що при заданих теплових і режимних характеристиках (температурі і витраті теплоносія) пластинчастий теплообмінник не деформується.

Литература

1. Ведерникова М.И., Терентьев В.Б., Таланкин В.С., Юрьев Ю.Л. Стандартное оборудование для переработки растительного сырья. Ч.IV. Теплообменные аппараты: справочные материалы: учебное издание. Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. 100 с.
2. Ведерникова М.И., Таланкин В.С. Расчет пластинчатых теплообменников. Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. 29 с.
3. Хавин Г. Л. Расчет пластинчатого теплообменника с каналами разных типов в одном аппарате. *Проблемы машиностроения*, 2011. Т. 14, № 4. С. 40-45.
4. Кошельник А. В., Морозов А. Е. Методика расчета пластинчатых теплообменников для утилизации тепла отходящих газов высокотемпературных теплотехнических систем. *Проблемы машиностроения*, 2011. Т. 14, № 2. С. 62-66.
5. Черемискина Н.А., Лавров В.В., Спиринов Н.А. Разработка компьютерной модели в пакете ANSYS для исследования работы пластинчатого теплообменника и проведения лабораторных работ. Труды X Всероссийской научно-практической конференции (17–19 декабря 2015 г.) Сиб. гос. индустр. ун-т. Новокузнецк, 2015. С. 120-124.
6. Спиринцев // [Електронний ресурс режим доступу: <http://arlanda.com.ua/ua/product/maslo-gidravlichesкое-marki-a-marki-r/>].

CFD-МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ПРИ ПРЯМОТОЧНОЙ СХЕМЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

Баранюк О.В., Рачинський А.Ю.

Известно, что на сегодняшний день система охлаждения высокопроизводительных воздушных компрессоров, которая позволяет охладить как нагретые части компрессора, так и получаемый сжатый

воздух, что выбрасывает тепло в окружающую среду. Это тепло, можно использовать с пользой, например для нагрева воды для бытовых нужд.

Существующие системы охлаждения можно условно разделить на два вида: системы воздушного охлаждения и водяного. В случае использования водяной системы охлаждения становится возможным использование пластинчатого теплообменника. Известно, что пластинчатые теплообменники обладают высокой компактностью, малым гидравлическим сопротивлением при одновременно высокой интенсивности теплообмена.

На сегодняшний день разработано множество достоверных аналитических методик расчета теплообмена и гидродинамики в каналах пластинчатых теплообменных аппаратов и теплового состояния таких теплообменников, однако работ выполненных средствами CFD-моделирования недостаточно.

Авторами предпринята попытка, определить тепловую нагрузку и гидравлическое сопротивление пластинчатого теплообменного аппарата разборного типа с помощью разработанных методов CFD-моделирования в среде программного комплекса ANSYS-Fluent. Проведена верификация результатов моделирования с расчетными данными, полученными по известным инженерным методикам расчета теплогидравлических характеристик пластинчатых теплообменных аппаратов.

Результаты исследования могут быть использованы для оценки интенсификации теплообмена и анализа течения с целью повышения эффективности пластинчатого теплообменника.

Ключевые слова: пластинчатый теплообменник, численное исследование, теплообмен, течение, моделирование.

CFD-MODELING OF CHARACTERISTICS OF STRENGTH OF PLATE HEAT-EXCHANGE EQUIPMENT UNDER CONDITIONS OF DIRECT CIRCUIT MOTION OF HEAT CARRIERS

Baraniuk A., Rachinskiy A.

It is known that today the cooling system of high-performance air compressors, which allows to cool both the heated parts of the compressor

and the resulting compressed air, releases heat into the environment. This heat can be used with advantage, for example for heating domestic water.

Existing cooling systems can be divided into two types: air cooling and water cooling systems. In the case of using a water cooling system, it becomes possible to use a plate heat exchanger. It is known that plate heat exchangers have a high compactness, low hydraulic resistance at the same time high intensity of heat exchange. Today, many reliable analytical methods have been developed for calculating heat transfer and hydrodynamics in the channels of plate heat exchangers and the thermal state of such heat exchangers, however, the work performed by means of CFD modeling is not enough.

The authors attempted to determine the heat load and hydraulic resistance of a plate-type heat exchanger of dismountable type using the developed CFD-modeling methods in the ANSYS-Fluent software environment. Verification of simulation results with calculated data obtained by well-known engineering methods for calculating the thermal-hydraulic characteristics of plate heat exchangers has been carried out.

The results of the study can be used to assess the intensification of heat transfer and flow analysis in order to increase the efficiency of the plate heat exchanger.

Keywords: plate heat exchanger, numerical study, heat exchange, flow, simulation.