

составляет 132,86 МВт. При принятой стоимости АТЭЦ 110,6 млн. \$, учете затрат на топливо, персонал, амортизацию, подготовку воды получено, что рентабельность использования такой энергоустановки равна 847 %, т.е. срок окупаемости равен 0,118 года.

Прибыль предприятия складывается из двух составляющих: продажи дополнительного количества нефти и электроэнергии. Доля нефти в структуре прибыли составляет 98 %.

При принятой стоимости АТЭЦ (низкая стоимость объясняется заводским изготовлением), ядерного топлива и электроэнергии автономная работа такой установки, как источника электроэнергии, оказывается нерентабельной.

Список литературы: 1. Никитина Л.А. Увеличение нефтеотдачи пластов с помощью термических методов. – М.: ВНИИОЭНГ, 1967. – 131 с. 2. Мухорямов М.М. Инновационные подходы к применению термических методов повышения нефтеотдачи пластов. – В матер. научно-практической конференции «Высоковязкие нефти, природные битумы и остаточные нефти разрабатываемых месторождений», 7-10 сентября 2009 г., г. Казань. 3. Попов [Л.](#) Водяной реактор достанет из песка ядерную нефть. -[www.solar.org.ua/index.php?id=1169016427&t=\(15 января 2007\)](http://www.solar.org.ua/index.php?id=1169016427&t=(15%20января%202007)). 4. Верховкер Г.П., Кравченко В.П., Дубковский В.А. Теплоснабжение от атомных электростанций. Учебник. – Одесса: ВМВ, 2010. – 486 с. 5. Бобров Е. Перспективы развития энергетики //Нефть и газ. – 2010. - №10. – С. 24-29. 6. Широков С.В. Ядерные энергетические реакторы. – К.: НТУУ «КПІ», 1997. – 280 с. 7. Вадецкий Ю.В. Бурение нефтяных и газовых скважин. – М.: Издательский центр Академия, 2003. – 352 с. 8. Методичні вказівки з техніко-економічного обґрунтування інвестиційних проєктів електричних станцій / Уклад.: Є.Г. Скловська, К.Г. Тодорович. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2002. – 24 с.

Поступила в редколлегию 11.03.2011

УДК 66.023.2

Л. І. РУЖИНСЬКА, канд. техн. наук, проф., НТУУ “КПІ”, м. Київ

К. В. КУЗЬМЕНКО, маг., НТУУ “КПІ”, м. Київ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМІНУ ПРИ ПЕРЕМІШУВАННІ МІШАЛКАМИ З МАГНІТНИМ ПРИВОДОМ

В хімічній та фармацевтичній промисловості широко використовуються апарати з мішалками з магнітним приводом. Авторами приводиться математична модель теплообміну при перемішуванні рідини в таких апаратах.

Ключові слова: математична модель, перемішування, теплообмін, магнітний привод.

В химической и фармацевтической промышленности широко используются аппараты с мешалками с магнитным приводом. Авторами предлагается математическая модель теплообмена при перемешивании жидкости в таких аппаратах.

Ключевые слова: математическая модель, перемешивание, теплообмен, магнитный привод.

Apparatus with mixers with magnetic drives are widely used in chemical and pharmaceutical industry. The authors present mathematical model of heat transfer processes in the time of liquid mixing in such apparatus.

Key words: mathematical model, heat transfer, magnetic drive.

В хімічній та фармацевтичній промисловості широко використовуються процеси перемішування. Для перемішування в апаратах використовують

механічні перемішуючі пристрої різних конструкцій. В той же час, при виготовленні більшості фармацевтичної продукції, наприклад, води для ін'єкцій, корвалолу, нафтизину та ін., необхідно зберегти стерильні умови в апаратах. Тому на сучасних підприємствах галузі застосовують перемішуючі пристрої, в яких передача руху до мішалки здійснюється безконтактно. До числа таких перемішуючих пристроїв відносяться мішалки з магнітним приводом. В той же час більшість процесів розчинення, ферментації, культивування та ін. протікають одночасно з нагріванням або охолодженням середовища в апараті.

Процеси фармацевтичного виробництва протікають в складних фізико-хімічних системах, які мають двоїсту детерміновано-стохастичну природу, змінні у часі та просторі. Такі системи характеризуються надзвичайно складною взаємодією фаз та компонентів, внаслідок чого вивчення їх з позицій класичних детермінованих законів переносу та збереження стає неможливим [1].

Процеси теплообміну при перемішуванні з використанням традиційних перемішуючих пристроїв в літературі описані достатньо повно. В той же час, на жаль, практично відсутні відомості щодо протікання процесів теплопередачі в апаратах при перемішуванні мішалками з магнітним приводом. Поширеність саме таких перемішуючих пристроїв на сучасних підприємствах, обумовлює необхідність проведення досліджень теплообміну при перемішуванні в апаратах з мішалками з магнітним приводом.

Ключ до вирішення цієї проблеми дає метод математичного моделювання, який базується на стратегії системного аналізу.

Математичне моделювання включає три взаємопов'язаних етапи:

- складання математичного опису об'єкта, що вивчається;
- вибір методу розв'язку системи рівнянь математичного опису та реалізація його;
- встановлення відповідності (адекватності) моделі об'єкту.

Формулювання математичної моделі. Для математичного описання процесів, які відбуваються в ємності з рідиною, що нагрівається та перемішується за допомогою мішалки з магнітним приводом, розглянемо математичну модель конвективного теплообміну.

Для складання математичного опису процесу застосуємо ряд припущень.

Рідина на відстані від мішалки приймається такою, що знаходиться в спокої. Внаслідок тертя шар рідини, який безпосередньо прилягає до мішалки, залучається останньою та під дією відцентрової сили відкидається назовні від мішалки. Замість відкинутої рідини до диска притікає в осьовому напрямі нова рідина, яка також захоплюється мішалкою та знову відкидається назовні. Відповідно, в даному випадку ми маємо повністю тривимірний простір. Ізометричне зображення цієї течії показане на рис. 1. Швидкість має три складові: в радіальному напрямі r , в коловому напрямі φ та в осьовому напрямі z [2].

Експериментальні дослідження процесу перемішування в посудині циліндричної форми з мішалкою з магнітним приводом показують, що рух рідини майже симетричний відносно осі посудини. Отже, рівняння Нав'є-Стокса

та рівняння нерозривності в циліндричних координатах спрощуються. Гідродинамічну обстановку в ємності математично описують рівняння [3]:

$$\left. \begin{aligned} w_r \frac{\partial w_r}{\partial r} - \frac{w_\varphi^2}{r} + w_z \frac{\partial w_r}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left[\frac{\partial^2 w_r}{\partial r^2} + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{w_r}{r} \right) + \frac{\partial^2 w_r}{\partial z^2} \right], \\ w_r \frac{\partial w_\varphi}{\partial r} + \frac{w_r w_\varphi}{r} + w_z \frac{\partial w_\varphi}{\partial z} &= \nu \left[\frac{\partial^2 w_\varphi}{\partial r^2} + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{w_\varphi}{r} \right) + \frac{\partial^2 w_\varphi}{\partial z^2} \right], \\ w_r \frac{\partial w}{\partial r} + w_z \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 w_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w_z}{\partial r} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} \right], \\ \frac{\partial w_r}{\partial r} + \frac{w_r}{r} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де w_r , w_φ , w_z – швидкість руху рідини в радіальному, коловому та осьовому напрямках відповідно, м/с; ρ – густина рідини, що перемішується, кг/м³; ν – кінематична в'язкість рідини, що перемішується, м²/с.

Граничні умови, які визначаються умовою прилипання до поверхні, яка обертається, мають вид [3]:

$$\left. \begin{aligned} w_r = 0, \quad w_\varphi = r\omega, \quad w_z = 0 \quad \text{при } z = 0; \\ w_r = 0, \quad w_\varphi = 0 \quad \text{при } z = \infty. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Для повного описання процесів теплопереносу, які відбуваються в посудині з рідиною, що перемішується, наведену систему рівнянь (1) необхідно доповнити рівнянням енергії [3]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + w_r \frac{\partial t}{\partial r} + w_\varphi \frac{\partial t}{\partial \varphi} + w_z \frac{\partial t}{\partial z} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right),$$

де t – температура рідини, °С; τ – час перемішування, с.

У зв'язку з низьким коефіцієнтом теплопровідності рідини, приймаємо, що складова теплового потоку за рахунок теплопровідності набагато менша за конвективну складову теплового потоку.

В разі відсутності хімічних перетворень приймаємо $q_v = 0$. Задача осесиметрична, тобто вважаємо, що $w_\varphi = 0$. Тоді рівняння енергії запишеться у вигляді:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + w_r \frac{\partial t}{\partial r} + w_z \frac{\partial t}{\partial z} = 0.$$

Граничні умови для описаного випадку мають вид:

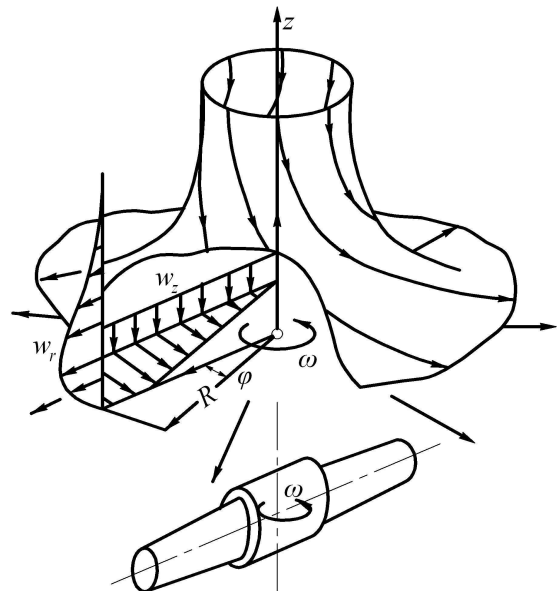


Рис.1. Схема руху рідини в шарах, близьких до мішалки, що обертається

$$\left. \begin{aligned} l \frac{\partial t}{\partial z} &= q_{нагр} && \text{при } z = 0, \\ \frac{\partial t}{\partial r} &= 0 && \text{при } r = 0, \end{aligned} \right\}$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності рідини, Вт/м·с; $q_{нагр}$ – питома потужність електричного нагрівального пристрою, Вт/м².

Таким чином, математична модель, яка описує процеси, що протікають в ємності з рідиною, яка нагрівається та перемішується за допомогою мішалки з магнітним приводом, набуває вигляду:

$$\left. \begin{aligned} w_r \frac{\partial w_r}{\partial r} - \frac{w_\varphi^2}{r} + w_z \frac{\partial w_r}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left[\frac{\partial^2 w_r}{\partial r^2} + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{w_r}{r} \right) + \frac{\partial^2 w_r}{\partial z^2} \right], \\ w_r \frac{\partial w_\varphi}{\partial r} + \frac{w_r w_\varphi}{r} + w_z \frac{\partial w_\varphi}{\partial z} &= \nu \left[\frac{\partial^2 w_\varphi}{\partial r^2} + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{w_\varphi}{r} \right) + \frac{\partial^2 w_\varphi}{\partial z^2} \right], \\ w_r \frac{\partial w}{\partial r} + w_z \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 w_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w_z}{\partial r} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} \right], \\ \frac{\partial w_r}{\partial r} + \frac{w_r}{r} + \frac{\partial w}{\partial r} &= 0; \\ \frac{\partial t}{\partial \tau} + w_r \frac{\partial t}{\partial r} + w_z \frac{\partial t}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Методика розв'язання рівнянь.

Схема розв'язку системи рівнянь (1) наступна: спочатку з рівняння нерозривності та двох рівнянь руху для напрямків, паралельних стінці, визначається поле швидкостей, а потім з третього рівняння руху для напрямку, перпендикулярного до стінки, обчислюється розподіл руху [2]. В результаті розрахунку отримані значення швидкості руху рідини [2]. Графічно отримані результати показані на рис. 2.

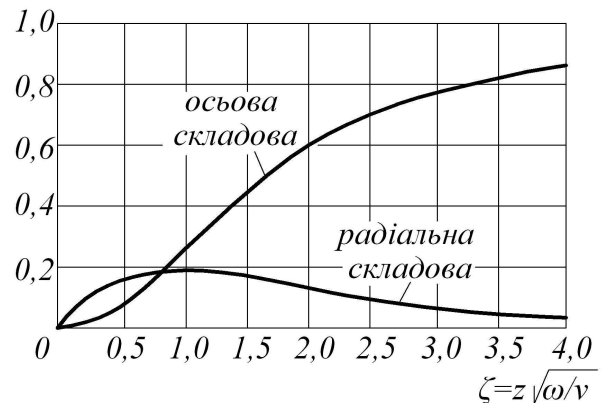


Рис.2. Розподіл швидкостей поблизу мішалки, яка обертається в рідині

Для отримання загального розв'язку системи (4), необхідно розв'язати рівняння енергії (3) сумісно з розглянутою системою (1). Розв'язати таку систему рівнянь традиційними математичними методами для диференціальних рівнянь дуже складно.

Аналітичний розв'язок цього рівняння дозволить описати процеси теплообміну, які протікають в ємності з рідиною, яка нагрівається і перемішується мішалкою з магнітним приводом. Це є дуже важливим для ведення процесів у фармацевтичній та мікробіологічній промисловості.

Список літератури: 1. Кафаров В. В. Математическое моделирование основных процессов химических производств [Текст]: учеб. пособие для вузов / В. В. Кафаров, М. Б. Глебов. – М.: Высш. шк., 1991. – 400 с. 2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя (перев. с немецкого) [Текст] / Г. Шлихтинг; Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука». – М.: «Наука», 1969. – 742 с. 3. Математическое моделирование процессов теплообмена на основе уравнений Навье–Стокса [Текст] / В. И. Полежаев, А. В. Бунэ, Н. А. Везуб и др. – М.: Наука, 1987. – 272 с.

Поступила в редколлегию 11.03.2011

УДК 629.7.035.03-036.34

І. О. ЛАСТИВКА, канд. техн. наук, доц., НАУ, м. Київ

ОЦІНКА КОЛОВОЇ НЕРІВНОМІРНОСТІ ПОТОКУ В КОМПРЕСОРАХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

Проведено аналіз показників оцінки періодичної колової нерівномірності потоку, викладено деякі результати її впливу на характеристики лопаткових вінців компресорів газотурбінних двигунів

Ключові слова: колова нерівномірність потоку, ступінь компресора, лопатки робочого колеса

Проведен анализ показателей оценки периодической окружной неравномерности потока, изложены результаты ее влияния на характеристики лопаточных венцов компрессоров газотурбинных двигателей

Ключевые слова: окружная неравномерность потока, степень компрессора, лопатки рабочего колеса

Analysis of estimate index of flow circumferential non-uniformity is given in the article. Results of flow circumferential non-uniformity effect on the gas turbine engine compressor blade row performance are stated on paper

Key words: flow circumferential non-uniformity, compressor stage, blades

1. Вступ

Одним із чинників, що негативно впливає на ефективність, експлуатаційну надійність і стійкість газотурбінного двигуна (ГТД) в широкому діапазоні режимів його роботи, є нерівномірність і пульсації в потоці повітря на вході в компресор. Причинами появи різних видів нерівномірності потоку і його пульсацій на вході в компресор є наявність збурень, що вносяться до потоку криволінійними каналами повітрозабірників, наростання товщини примежового шару на його стінках і відрив його, складна система стрибків ущільнення (на надзвукових швидкостях), наявність в повітропідвідному каналі перед компресором різних поганообтічних тіл, стійок, лопаток входного направляючого апарату (ВНА) і направляючих апаратів (НА).

2. Постановка завдання

Вирішення загальної проблеми підвищення ефективності ГТД в значній мірі залежить від вдосконалення аеродинамічних характеристик компресорів ГТД. Як на розрахунковому, так і на нерозрахунковому режимах, ефективність роботи компресорів визначається рівнем гідравлічних втрат в проточній частині, а, отже, найбільш досконалі характеристики компресор мав би за відсутності гідравлічних втрат при беззривному обтіканні лопаткових вінців.