

The effect of the asynchronous motor asynchronous generator power commensurate autonomous power supply system.

Keywords: *autonomous power supply system, a stand-alone induction generator, induction motor of comparable capacity*

УДК621.355.9

АНАЛИЗ ФАЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СОРБЦИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ

*А.В. Петренко, кандидат технических наук
e-mail: petrenko.a80@mail.ru*

Приведена математическая модель гидродинамики гетерогенных сред в эйлеровых переменных в условиях цилиндрической симметрии. Выполнен анализ исследований течения многокомпонентной смеси, когда один из компонентов конденсируется. Рассмотрены диффузионные процессы в сорбционных термотрансформаторах.

Ключевые слова: *математическое моделирование, термодинамическое равновесие, химический потенциал Гиббса, постоянная Больцмана, макроскопическая диффузия, энтропия*

В основу исследования гидродинамики многофазных сред положены математические модели. Уравнение движения и состояния для всей среды в целом, задающее напряжение и внутреннюю энергию, записываются в предположении локального термодинамического равновесия, когда в каждой точке можно определить температуру среды T . При этом принимается, что тензор скоростей деформируется, и определяется полем бароцентрических скоростей смесей v .

Цель исследований – рассмотрение диффузионных процессов в сорбционных аккумуляторах с анализом течения многокомпонентной смеси, когда один из компонентов конденсируется.

Материалы и методика исследований. Исследования выполнены на базе математических моделей с использованием метода стохастического моделирования.

Результаты исследования. Считается, что влияние состава смеси (ρ_i , $i = 1, 2, \dots, N$, где ρ – плотность) непосредственно проявляется через физико-химические параметры, входящие в уравнение движения и состояния (теплоемкость, коэффициент вязкости, модуль упругости и т.д.).

После общей постановки задачи запишем систему уравнений одномерного движения двухфазных сред в эйлеровых переменных в условиях цилиндрической симметрии:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\partial \rho_1 v}{\partial x} + \frac{\rho_1 v}{x} = I_{21}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \frac{\partial \rho_2 v}{\partial x} + \frac{\rho_2 v}{x} = -I_{21}; \quad (2)$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho v \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial \sigma^r}{\partial x} + \frac{\sigma^r - \sigma^\theta}{x}; \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u_1}{\partial t} + v \frac{\partial u_1}{\partial x} \right) + \rho \left(\frac{\partial u_2}{\partial t} + v \frac{\partial u_2}{\partial x} \right) = \sigma^r \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\sigma^\theta v}{x} - \frac{\partial q}{x} - \frac{q}{x} + I_{12}(u_1 - u_2). \quad (4)$$

Эти уравнения должны быть дополнены уравнениями состояния для внутренних энергий, тензоров напряжений, вектора потока тепла. Кроме того, нужно задать кинетику интенсивности фазовых переходов [4].

Принимая гипотезу локального равновесия в пределах фазы и допуская, что фазы представляют собой двухпараметрическую среду, приходим к выводу [2], что термодинамические функции каждой фазы зависят только от термодинамических параметров состояния (истинной плотности ρ_i^{mc} и температуры T):

$$u_i = u_i(\rho_i^{mc}, T_i); \rho_i = \rho_i(\rho_i^{mc}, T_i); S_i = S_i(\rho_i^{mc}, T_i). \quad (5)$$

При этом справедливо соотношение Гиббса:

$$T_i \frac{d_i S_i}{dt} = \frac{d_i u_i}{dt} + \rho_i \frac{d_i}{dt} + \left(\frac{1}{\rho_i^{mc}} \right). \quad (6)$$

В представленных уравнениях приняты обозначения: ρ_1, ρ_2 – приведенные плотности фаз; t – время; x – координата; v – скорость; I_{ij} – интенсивность фазовых переходов ($I_{12}=I_{21}$); u_1, u_2 – внутренняя энергия; ρ – плотность смеси; d – удельный поток тепла; σ^r, σ^θ – тензор напряжений соответственно в радиальном и окружном направлениях; T – температура; p_i – давление; S_i – энтропия.

В работе [1] анализируется течение смеси из n компонентов, один из которых может конденсироваться. В нее входит кинетическое соотношение для функции распределения капель по размерам; определены значения коэффициентов конденсации a_k и термической аккомодации β , предложенные для процессов конденсации в [2].

Составной частью процесса конденсации является нуклеация. Для условий стационарной нуклеации М. Фольмер [5] определяет скорость образования зародышей I_v :

$$I_v = b N_1 \frac{3kT}{\sigma} B \exp(-B), \quad (7)$$

где N_1 – число молекул пара в единице объема; b – количество молекул, конденсирующихся при столкновении с единицей поверхности в единицу времени; k – постоянная Больцмана; σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости (независящий от радиуса r капли).

Обозначим локальный коэффициент диффузии через $D(x)$, а адсорбционный потенциал как функцию координаты через $U(x)$.

Тогда $F = -dU/dx$ – сила, действующая на молекулу, и v – скорость ее установившегося движения.

Поток диффузии j будет равен:

$$j = -D(x) \frac{dC}{dx} + v(x)C, \quad (8)$$

где v – скорость; C – концентрация молекул:

$$C = Z \exp \int \frac{v}{D} dx = Z\gamma, \quad (9)$$

где γ – локальный коэффициент сорбции:

$$\gamma = \exp(-U/kT), \quad (10)$$

где k – показатель адиабаты; T – температура, K .

Получаем обобщенное уравнение диффузии:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} vC, \quad (11)$$

или, если введем Z ,

$$\gamma \frac{\partial Z}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} D \gamma \frac{\partial Z}{\partial x}. \quad (12)$$

В случае трех измерений получим

$$\gamma \frac{\partial Z}{\partial \tau} = \text{div}(D\gamma \text{grad}Z). \quad (13)$$

При равновесии отсюда следует:

$$Z = \text{const.}$$

При этом Z является аналогом температуры, C_p – теплоемкости и D_{cp} – коэффициента теплопроводности.

Коэффициент макроскопической диффузии для нестационарного процесса оказывается равным $D_1(1/\gamma)$, где чертой сверху обозначено усреднение по координате x .

Под действием внешних сил, например ветра, диффузия происходит в среде, представляющей собой турбулентный поток.

Одно из характерных явлений, имеющих место в сорбционных системах, – это диффузия агента.

Для установившегося турбулентного движения и стационарных внешних условий уравнение диффузии в потоке имеет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + u_x \frac{\partial C}{\partial x} + u_y \frac{\partial C}{\partial y} + u_z \frac{\partial C}{\partial z} = f(x, y, z, \tau) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial C}{\partial z} \right). \quad (14)$$

В практических заданиях диффузии можно рассматривать в рамках модели несжимаемой жидкости. В таком случае уравнение диффузии записывается следующим образом:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + (u_x) \frac{\partial C}{\partial x} + (u_y) \frac{\partial C}{\partial y} + (u_z) \frac{\partial C}{\partial z} = f(x, y, z, \tau) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} - (u_x C) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} - (u_y C) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial C}{\partial z} - (u_z C) \right) \quad (15)$$

и является уравнением диффузии в турбулентном потоке несжимаемой среды.

Осредненные значения произведений пульсационных составляющих проекций скорости и концентрации согласно гипотезе Фика-Буссинеска считают пропорциональными градиенту осредненной концентрации [4]:

$$\langle u'_\alpha C' \rangle = -D_B \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial \alpha}, \quad (16)$$

где α – координата, на которую берется проекция пульсационной составляющей скорости; D_B – величина, называемая коэффициентом

турбулентной (вихревой) диффузии и имеющая размерность коэффициента молекулярной диффузии.

Общие закономерности исследуемых явлений можно получить методом математического моделирования. Для описания уравнения диффузии рассмотрим небольшую ячейку размером δx в точке x . Число молей в такой ячейке равно $(n_k(x, t)\delta x)$, скорость изменения числа молей $\partial(n_k(x, t)\delta x)/\partial t$.

Это изменение обусловлено суммарным потоком, т.е. разностью между потоком частиц в ячейку и потоком частиц из ячейки.

Суммарный поток в ячейку размером δx равен:

$$J_{Nk}(x) - J_{Nk}(x + \delta x) = J_{Nk}(x) - \left(J_{Nk}(x) + \frac{\partial J_{Nk}}{\partial x} \delta x \right) = -\frac{\partial J_{Nk}}{\partial x} \delta x. \quad (17)$$

Суммарный поток равен скорости изменения числа молей:

$$\frac{\partial n_k(x, t)}{\partial t} = -\frac{\partial J_{Nk}}{\partial x}. \quad (18)$$

Закон Фика позволяет записать (18) как дифференциальное уравнение функции $n_k(x, t)$:

$$\frac{\partial n_k(x, t)}{\partial t} = D_k \frac{\partial^2 n_k(x, t)}{\partial x^2}. \quad (19)$$

Это уравнение в частных производных называется уравнением диффузии компонента k и выполняется для произвольной гомогенной системы. Диффузия уничтожает различия в концентрации во всей системе. Однако следует иметь в виду, что термодинамическая сила стремится выровнять химический потенциал, а не концентрацию.

Выводы

Приведенный метод анализа сорбционных процессов может быть использован при исследовании явлений, имеющих место в сорбционных аккумуляторах, различных видах тепловых насосов (компрессионных, абсорбционных и их возможных комбинациях), пористых средах.

Список литературы

1. Баханов В.П. Замкнутая система уравнений двухфазной газодинамики при наличии химических реакций и квазистационарной гомогенной конденсации / В.П. Баханов, М.В. Буйков // Тр. УкрНИГМИ. – 1971. – Вып. 99. – С. 21–24.
2. Баханов В.П. Об учете трансляционных и вращательных степеней свободы при вычислении работы образования зародыша в теории нуклеации / В.П. Баханов, М.В. Буйков // Укр. физ. журн. – 1969. – Т. 13, вып. 5. – С. 761–766.
3. Дейч М.Е. Газодинамика двухфазных сред / Дейч М.Е., Филиппов Г.А. – 2-е изд. – М.: Энергоиздат, 1981. – 472 с.
4. Уоллис Г. Одномерные двухфазные течения / Уоллис Г. – М.: Мир, 1972. – 436 с.
5. Gibbs J.W. Elementary principles in statistical mechanics / Gibbs Josiah Willard. – New York. – Yale University press. – 1902. – 207 с.

АНАЛІЗ ФАЗОВИХ ПРОЦЕСІВ У СОРБЦІЙНИХ АКУМУЛЯТОРАХ

А.В. Петренко

Наведено математичну модель гідродинаміки гетерогенних середовищ в ейлеревих змінних в умовах циліндричної симетрії. Виконано аналіз досліджень течії багатокомпонентної суміші, коли один із компонентів конденсується. Розглянуто дифузійні процеси в сорбційних термотрансформаторах.

Ключові слова: *математичне моделювання, термодинамічна рівновага, хімічний потенціал Гіббса, постійна Больцмана, макроскопічна дифузія, ентропія*

THE ANALYSIS OF PHASE PROCESSES IN SORPTION ACCUMULATORS

A. Petrenko

Presented mathematical model of fluid dynamics in heterogeneous environments Euler variables in a cylindrical symmetry. The analysis studies the flow of multicomponent mixtures, one of which is condensed. Consider the diffusion processes in the sorption thermotransformers.

Keywords: *mathematical modeling, thermodynamic equilibrium, the chemical potential of Gibbs, Boltzmann constant, macroscopic diffusion, entropy*

УДК 621.31:631.6.03

СИСТЕМА ДОПОМІЖНИХ КОМБІНОВАНИХ ЕЛЕКТРОДІВ В УСТАНОВЦІ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ОБРОБКИ РІДИН

Д.Ю.Ілюхін, аспірант

С.М.Усенко, кандидат технічних наук

e-mail: usenko2@bigmir.net

Розглянуто допоміжну комбіновану електродну систему для камери обробки води в сильному електричному полі. Визначено ефективну конструкцію додаткової комбінованої електродної системи. Наведено результати досліджень щодо залежності частоти поверхневих розрядів від конструкції допоміжних електродів.

Ключові слова: *сильне електричне поле, вода, дезінфекція, озон, поверхневі розряди*

Сучасний розвиток сільськогосподарського виробництва вимагає застосування передових технологій, які здатні забезпечити максимальну