

5. Inozemcev, H. B., Yakovliev, V. F., Kozyrskiy, V. V. (2013). Zastosuvannia akustychnykh tekhnolohii v ahrarynomu vyrobnytstvi [The use of acoustic technologies in agricultural production]. Kyiv, Ukraina: TOV "AhrarMediaHrup", 171.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ В РЕМОНТНЫХ МАСТЕРСКИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Г. Б. Иноземцев,
А. В. Окушко**

Аннотация. *Рассмотрены современные технологии по восстановлению и ремонту техники и оборудования сельскохозяйственного назначения в ремонтных мастерских*

Ключевые слова: *электротехнологии, ремонтная мастерская, техника, оборудование, электростатический метод, покрытия, ультразвуковая обработка*

APPLICATION OF MODERN ELECTROTECHNOLOGIES A REPAIR SHOP FOR AGRICULTURAL PURPOSES

**G. Inozemtsev,
O.Okushko**

Annotation. *The modern technology for the restoration and repair of machinery and equipment for agricultural purposes in repair shops*

Keywords: *electrotechnologies, repairshops, machinery, equipment, electrostaticmethod, coating. ultrasoundtreatment*

УДК 621.11:532(078.8)

ДИНАМИКА НЕРАВНОВЕСНЫХ МНОГОФАЗНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

Б. Х. ДРАГАНОВ, доктор технических наук, профессор
**Национальный университет биоресурсов
и природопользования Украины**

А. А. ДОЛИНСКИЙ, академик НАН Украины, профессор
Институт технической теплофизики НАН Украины
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Аннотация. *Изложены общие принципы неравновесности, приведены закономерности производства энтропии, выполнен анализ энтропии теплообменных процессов в пористых средах.*

Ключевые слова: *неравновесный режим, производство энтропии, принципы неустойчивости энергетических систем, теплообменные процессы, пористая среда*

Процессы теплообмена многофазной среды в пористой среде имеют место во многих установках. Поэтому важно установить законы протекания этих процессов.

Цель исследований – разработка метода анализа динамики адсорбционных процессов в пористой среде.

Материалы и методика исследований. Приведем общую характеристику многофазной среды. Рассмотрим гетерогенную систему, состоящую из нескольких гомогенных частей, каждая из которых содержит массы m_1, m_2, \dots, m_n . В соответствии со свободной энергией Гиббса [1] следует уравнение, которое выполняется в любой гомогенной части системы:

$$dU = TdS - pdV + \mu_1 dm_1 + \mu_2 dm_2 + \dots + \mu_n dm_n, \quad (1)$$

где μ_n - химический потенциал;

U – внутренняя энергия;

S – энтропия;

p – давление;

V – объем.

Запишем уравнение (1), выразив количество вещества в молях [2]:

$$d_i S = -\frac{1}{T} \sum_1^n \mu_k d_i N_k > 0. \quad (2)$$

Для закрытой системы $d_e N_k = 0$ скорость химической реакции по компоненту k определяется величиной dN_k/dt , поэтому производство энтропии можно записать следующим образом:

$$d_i S = -\frac{1}{T} \sum_1^n \mu_k \frac{dN_k}{dt} > 0. \quad (3)$$

В общем случае необратимое изменение $d_i S$ связано с потоком некоторой величины dX , например, теплоты или вещества за время dt . Для $dX=dQ$, где dQ – количество теплоты, которое передано за время dt для $dX=dN$, где dN – количество молей вещества, которые перешли (преобразовались) за все время dt . И в том, и в другом случаях изменения энтропии можно представить в виде [3]:

$$d_i S = FdX, \quad (4)$$

где F – термодинамическая сила.

Изменения энтропии есть сумма всех изменений, вызванных необратимыми потоками dX_k , что позволяет обобщить:

$$d_i S = \sum_k F_k dX_k \geq 0 \quad \text{или} \quad \frac{d_i S}{dt} = \sum_k F_k \frac{dX_k}{dt} \geq 0. \quad (5)$$

Неравенство (5) выражает второе начало термодинамики. Производство энтропии каждым необратимым процессом равно производству соответствующей термодинамической силы F_k и потока $J_k = dX_k/dt$ [4].

Степень неравновесности, т.е. несовершенство анализируемых процессов определяется значением производства энтропии [5].

Так как $P = \int_v \sigma dV = \int_v \sum_k F_k dV$, изменения P при малых изменениях δF_k и δJ_k можно записать так [4]:

$$\frac{dP}{dt} = \int \left(\frac{\delta \sigma}{dt} \right) dV = \int \left(\sum_k \frac{dF_k}{dt} J_k \right) dV + \int \left(\sum_k F_k \frac{dJ_k}{dt} \right) dV \equiv \frac{d_F P}{dt} + \frac{d_J P}{dt}, \quad (6)$$

где $\frac{d_F P}{dt}$ - изменения, вызванные силами F_k ,

$\frac{d_J P}{dt}$ - изменения под действием потоков J_k .

Теперь могут быть установлены два общих свойства:

- в линейном режиме:

$$\frac{d_F P}{dt} = \frac{d_J P}{dt}; \quad (7)$$

- для независимых от времени граничных условий, даже вне линейного режима:

$$\frac{d_F P}{dt} \leq 0; \quad (8)$$

Результаты исследований. Выполним анализ процесса тепло-массообмена приведенной выше среды в пористом теле.

Динамику потока можно принять двухмерным. Основные характеристики жидкости – плотность и температура изменяются в соответствии с линейным соотношением Буссинеска.

Система уравнений анализируемый процесс представляет следующим образом [4]:

- уравнение движения:

$$\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} = - \frac{Kg\beta}{\nu} \frac{\partial T}{\partial x}; \quad (9)$$

- сплошности:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0; \quad (10)$$

- энергии:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_m \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad (11)$$

где u, v – компоненты скорости;

T – температура;

K, g, β, ν – соответственно постоянная неразрывности; ускорение свободного падения; коэффициент теплового изменения объема; кинематическая вязкость.

Коэффициент термической диффузии $\alpha_m = K_m / (\rho c_p)$ определяется значением теплопроводности K_m жидкости при постоянном давлении (ρc_p) .

Уравнения (1) - (3) могут быть сведены к соотношениям:

$$\frac{\partial v}{\partial z} = \frac{Kg\beta}{\nu} \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (12)$$

$$\nu \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_m \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (13)$$

которые можно интегрировать в функции v и T .

Граничные условия $\partial T / \partial x = 0$, для $x = \pm L$.

При этом $T(-L_r; H) = T_c$ и $T(L_r; 0) = T_n$, где H – высота объекта, м; L_r – длина пористой поверхности, м; T_n – температура поверхности объекта.

Решение сформулированной задачи равно [5]

$$v(x) = \frac{\alpha_m}{2H} \left[Ra_p - \left(\frac{\pi H}{2L_r} \right)^2 \right] \sin \left(\frac{\pi x}{2L_r} \right), \quad (14)$$

$$T(x, y) = \frac{\nu}{Kg\beta} v(x) + \frac{\nu}{Kg\beta} \left(2 \frac{y}{H} - 1 \right) \frac{\alpha_m}{2H} \left[Ra_p - \left(\frac{\pi H}{2L_r} \right)^2 \right] + (T_n - T_c) \left(1 - \frac{y}{H} \right), \quad (15)$$

где Ra – число Релея для среднего значения в пористой среде.

Уменьшение температуры в процессе теплообмена равно:

$$\Delta T_t = T_{x=L_r} - T_{x=-L_r} = \frac{\nu}{Kg\beta} \frac{\alpha_m}{H} \left[Ra_p - \left(\frac{\pi H}{2L_r} \right)^2 \right], \quad (16)$$

Значение удельного теплового потока q' , Вт·м⁻¹:

$$q' = \int_{-L}^L (\rho c_p)_f \nu T dx. \quad (17)$$

Выводы

В энергетических процессах часто имеют место процессы, сопровождающиеся фазовыми превращениями. Особую роль они играют в адсорбционных термотрансформаторах. В статье приведен метод анализа процесса теплообмена многофазной среды в пористой среде.

Список литературы

1. Gibbs J. W. On the equilibrium of heterogeneous substances / J. W. Gibbs // Trans. Conn. Acad. Scr. III, 1878. - 343-524p. –
2. Пригожин И. Химическая термодинамика / И. Пригожин, Р. Дефзи. – М: Наука, Сибирское отделение. – Новосибирск, 1966. – 509 с.
3. Пригожин И. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / И. Пригожин, Д. Кондепуди. – М.: Мир, 2002 – 461 с.

4. Пригожин И. Химическая термодинамика / И. Пригожин, Р. Дефэй – Новосибирск: Наука, 1956.
5. Драганов Б. Х. Энтропия / Б. Х. Драганов. – К.: НУБіП України, 2016. – 102 с.
6. Bejan A. Shape and Structure, from Engineering to Nature/ A. Bejan - England. Cambridge University Press, 2000. – 230 p.

References

1. Gibbs. J. W. (1878). On the equilibrium of heterogeneous substances. Trans. Conn. Acad. Scr. III, 343-524.
2. Prigozhin, I., Defei, R. (1966). Khimicheskaya termodinamika [Chemical thermodynamics]. Moscow: Nauka, Sibirskoye otdeleniye. – Novosibirsk, 509.
3. Prigozhin, I., Kondepudi, D. (2002). Sovremennaya termodinamika. Ot teplovykh dvigateley do dissipativnykh struktur [Modern thermodynamics. From Heat Engines to Dissipative Structures]. Moscow: Mir, 461.
4. Prigozhin, I., Defei, R. (1956). Khimicheskaya termodinamika [Chemical thermodynamics]. Novosibirsk: Nauka, 1956.
5. Draganov, B. Kh. (2016). Entropiya [Entropy]. Kiyiv: NUBiP Ukrainy, 102.
6. Bejan, A. (2000). Shape and Structure, from Engineering to Nature. England. Cambridge University Press, 230.

ДИНАМІКА НЕРІВНОВАЖНИХ БАГАТОФАЗОВИХ ПРОЦЕСІВ В ПОРИСТИХ СЕРЕДОВИЩАХ

***Б. Х. Драганов,
А. А. Долінський***

Анотація. Викладено загальні принципи нерівноважності, наведені закономірності виробництва ентропії, виконаний аналіз ентропії тепломасообмінних процесів в пористих середовищах.

Ключові слова: *нерівноважний режим, виробництво ентропії, принципи стійкості енергетичних систем, тепломасообмінні процеси, пористе середовище*

NONEQUILIBRIUM MULTIPHASE DYNAMIC PROCESSES IN POROUS MEDIA

***B. Draganov,
A. Dolinsky***

Annotation. *The general principles of non-equilibrium, given the laws of entropy production, the analysis of entropy heat and mass transfer processes in porous media.*

Key words: *nonequilibrium conditions, the entropy production, the principles of sustainable energy systems, heat and mass transfer processes, the porous medium*