

Для підвищення надійності електропостачання розроблено алгоритм реалізації контролю успішного АПВ секціонувального вимикача ЛЕП.

Ключові слова: підвищення надійності електропостачання, дистанційний контроль успішного автоматичного повторного включення секціонувального вимикача

ALGORITHM AND THE BLOCK DIAGRAM REMOTE CONTROL SUCCESSFUL AUTOMATIC RECLOSING SECTIONALIZING CUTOUTS POWER LINES

I. Fomin, V. Zelyukin, R. Belikov

In order to increase reliability of power supply control of the implementation of the algorithm of successful reclosing partitioned switch lines.

Keywords: improving the reliability of power supply , remote control of a successful auto-reclose circuit breaker partitioned

УДК 536(075.8)

К ВОПРОСУ О ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ

***В.Г. Демченко, кандидат технических наук
Институт технической теплофизики НАН Украины
Б.Х. Драганов, доктор технических наук
Национальный университет биоресурсов
и природопользования Украины
e-mail: nni.elektrik@gmail.com***

Выполнен термодинамический анализ фазовых переходов, в том числе при переходах пар – жидкость (жидкость – пар). Приведен химический потенциал Гиббса для определения процесса массообмена в гетерогенных средах.

Ключевые слова: фазовый переход, гетерогенная система, химический потенциал, теплообмен, правило фаз Гиббса, теорема Дюгена, пористая среда, энтропия

Фазовые переходы имеют место в большинстве теплофизических и химико–физических явлениях. Поэтому в настоящее время исследования фазовых переходов выделились в обширную интересную область науки. Условия (температура и давление), при которых вещество существует в

различных фазах (газ, жидкость или твердое тело), представляют в виде фазовой диаграммы [1, 6].

Цель исследований – анализ фазовых переходов на основе термодинамического метода.

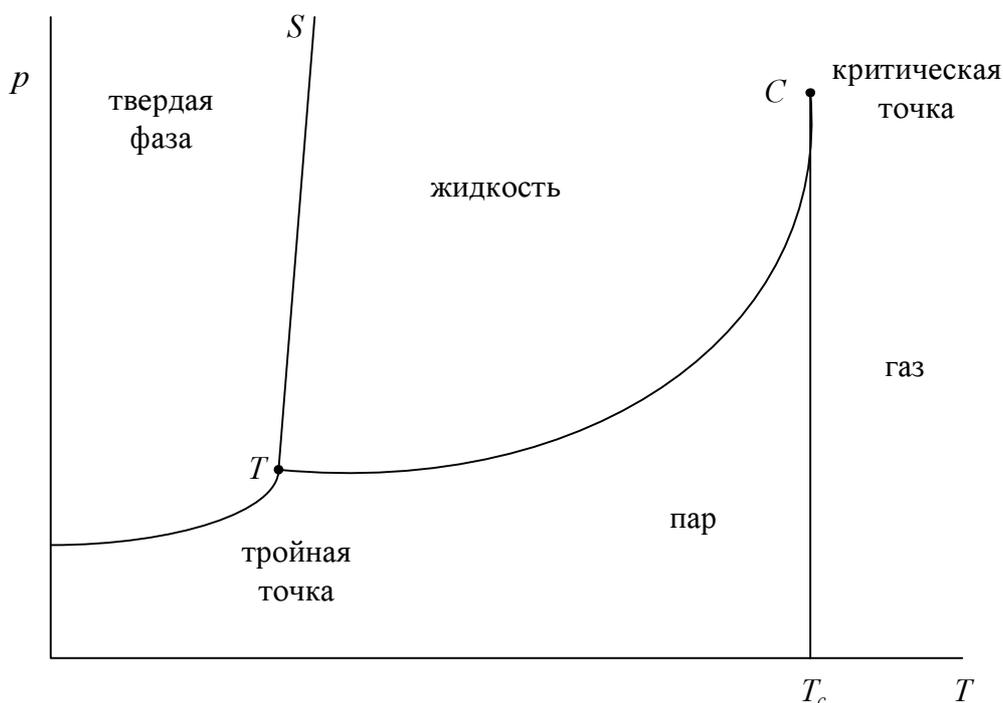
Результаты исследований. Рассмотрим равновесие между жидкой и газоподобной фазами (см. рисунок). Система закрыта и при фиксированной температуре состоит только из жидкости и пара, находящихся в равновесии.

Когда температура приближается к T_c , равновесие приближается к критическому состоянию C .

Рассмотрим гетерогенную систему, в которой две фазы занимают разные объемы. При этих условиях жидкость необратимо превращается в пар или наоборот; процесс идет до тех пор, пока между двумя фазами не наступает равновесие. Обмен веществом между двумя фазами можно рассматривать как «химическую реакцию», уравнение которой условно запишем в виде:



т. е. пар = жидкость. Обозначим: газ – G , пар – $П$, жидкую фазу – $Ж$, твердую – S . Обмен веществом между фазами называют фазовой реакцией. Фазовые реакции используют для количественного описания превращения фаз.



Фазовая диаграмма однокомпонентной системы:

$p - T$ – равновесные кривые (во всех точках на этих кривых химические потенциалы равновесных фаз равны); T – тройная точка; C – критическая точка; T_c – критическая температура, выше которой газ невозможно перевести в жидкое состояние, увеличивая давление

Пусть μ_k^{II} и $\mu_k^{\text{Ж}}$ – химические потенциалы вещества k в двух фазах. Индексы «II» и «Ж» означают паровую и жидкую фазы. В равновесии производство энтропии любым необратимым процессом должно обратиться в нуль. Отсюда следует, что химическое сродство, соответствующее фазовому переходу жидкость – пар, должно обратиться в нуль, т.е.

$$A = \mu_k^{\text{Ж}}(p, T) - \mu_k^{\text{II}}(p, T) = 0; \quad (2)$$

$$\mu_k^{\text{Ж}}(p, T) = \mu_k^{\text{II}}(p, T),$$

где в явном виде указано, что оба химических потенциала – функции от давления и температуры. Из равенства химических потенциалов следует, что когда жидкость находится в равновесии со своим паром давление и температура на являются независимыми переменными, и поэтому на фазовой диаграмме и появляется равновесная кривая TC .

Между фазами происходит массообмен.

Примерами переноса массы между фазами являются испарение жидкости в газ (газ-жидкость), массообмен между твердой поверхностью конструкционного материала и теплоносителем. При движении вещества из одной фазы в другую возникает сопротивление внутри каждой фазы и на их границе. В некоторых задачах массообмена принимают сопротивление межфазной границы пренебрежимо малым, что подтверждается опытными данными реальных систем. Исключение составляют системы, в которых на границе наблюдаются какие-либо отложения, примеси поверхностно-активных веществ, коррозионные процессы и т.д. При распространении тепла, например, из жидкости в газ возникает непрерывное поле температур. Температура на границе фаз одинакова для каждой фазы ($T_{\text{ст}}$). Общее термическое сопротивление (величина, обратная коэффициенту теплопередачи) может быть представлена как сумма термических сопротивлений со стороны каждой фазы.

Сумма коэффициентов теплообмена с каждой стороны:

$$1/k = 1/a' + 1/a''. \quad (3)$$

Плотность теплового потока

$$q = k(T' - T'').$$

В случае массопереноса, если две фазы находятся в равновесии и сопротивление переносу массы на границе отсутствует, концентрации на границе не равны. Это объясняется тем, что в качестве движущего потенциала выбрана именно концентрация – движущий потенциал для массопереноса лишь внутри фазы, но не между фазами. Правильнее рассматривать в качестве движущей силы разницу химических потенциалов.

Разность между объемной и поверхностной концентрациями вещества в каждой фазе может быть выражена через плотность потока массы j и локальные коэффициенты массопереноса в каждой фазе β' , β'' .

Содержание влаги в воздухе можно определить психрометрическим методом, в основу которого положено измерение температуры с помощью сухого и мокрого термометров. Если все тепло, идущее на испарине, подводится за счет конвекции, то поток массы с единицы поверхности и плотность теплового потока определяются выражениями:

$$\left. \begin{aligned} j &= \beta \rho (d_s - d); \\ q &= \alpha (t - t_M) = jr, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где d – влагосодержание (масса водяного пара в 1 кг сухого воздуха); d_s – влагосодержание насыщенного воздуха; t , t_M – температуры сухого и мокрого термометров; r – теплота испарения воды при данном давлении.

Отсюда имеем

$$\frac{t - t_M}{d_s - d} = \frac{r\beta}{\alpha} \approx \frac{r}{c_p}, \quad (5)$$

Введем понятие химического потенциала. С перераспределением массы происходит перераспределение энергии в системы. Масса, являющаяся количественной мерой изменения, претерпеваемого системой, рассматривается как координата состояния. В качестве потенциала массы Дж. У. Гиббс предложил величину μ , называемую химическим потенциалом. Количество массообменного воздействия определяется в виде μdm , где m – масса [4].

Если система является гетерогенной, состоящей из нескольких компонентов, первый закон термодинамики запишется так:

$$dU = TdS = pdV + \sum_{k=1}^n \mu_k dm_k, \quad (6)$$

где U – внутренняя энергия; T – температура; S – энтропия; p – давление; V – объем; k – компонент; μ_k – химический потенциал компонента k ; m_k – масса компонента k .

Изобарно-изотермический потенциал Гиббса выражается так:

$$dG = Vdp - SdT. \quad (7)$$

Для равновесного процесса $dG = 0$.

Ясно, что равенство химических потенциалов (2) должно выполняться между любыми двумя фазами, находящимися в равновесии. Если бы имелось P фаз, то выполнялось бы общее условие равновесия:

$$\mu_k^1(p, T) = \mu_k^2(p, T) = \mu_k^3(p, T) = \dots = \mu_k^P(p, T). \quad (8)$$

где верхней индекс указывает фазу, а нижний – компонент.

На рисунке можно заметить еще одну интересную особенность: имеется критическая точка C , в которой заканчивается равновесная кривая TC (между жидкой и паровой фазами). Если температура газа выше T_c , то газ невозможно сжать (перевести в жидкость) путем увеличения давления: при увеличении давления плотность возрастает, но переход в конденсаторную фазу не происходит.

В однофазной системе, где имеется, например, только газ, интенсивные переменные – давление и температура – могут изменяться независимо. Но когда в равновесии находятся две фазы, например пар и жидкость, p и T перестают быть независимыми. Так как химические потенциалы двух фаз должны быть равны, т.е. $\mu^1(p,T) = \mu^2(p,T)$, независима только одна из двух интенсивных переменных. Число независимых интенсивных переменных связано с числом фаз, находящихся в равновесии, и числом компонентов в системе.

Кроме правила фаз, открытого Гиббсом, существует еще одно замечание, сделанное Пьером Дюгемом, и получившее название теоремы Дюгема. Она формулируется так: при любом числе фаз, компонентов и химических реакций, если начальное число молей N_k всех компоненты задано, равновесное состояние закрытой системы полностью определяется двумя независимыми переменными.

Отметим, что правило фаз Гиббса определяет полное число независимых интенсивных переменных, а теорема Дюгема – полное число независимых интенсивных и экстенсивных переменных в закрытой системе.

Различают фазовые переходы первого и второго рода [2]. Химический потенциал при фазовых переходах первого рода изменяется непрерывно, но его производная имеет разрыв.

Характерные особенности фазовых переходов второго рода заключается в том, что в этом случае изменения термодинамических величин не столь значительны: изменения молярной энтропии S_m и молярного объема V_m непрерывны, но их производные имеют разрывы. Аналогично, имеет разрыв вторая производная химического потенциала.

В результате фазовых переходов, как правило, происходит изменение симметрии системы, которое характеризуется так называемым параметром порядка. Последний обычно выбирают так, чтобы он был равен нулю по одну сторону фазового перехода.

В системе жидкость – жидкость или жидкость – пар и пар – жидкость симметрия не изменяется. Деление фазовых переходов на два рода несколько условно, так как в жидкокристаллических системах известны фазовые переходы первого рода, очень близкие к фазовым переходам второго рода. Это переходы с малым скачком параметра порядка и малыми теплотами при сильно развитых флуктуациях.

В некоторых системах, например в адсорбционных тепловых насосах, в пористых аккумуляторах тепла, эффективность энергетических систем в основном определяется уровнем протекающих фазовых переходов.

Отметим, что пористые среды играют существенную роль не только в технических областях, но и в природе, в биологии и заслуживают всестороннего анализа.

Исходная система уравнений записывается так:

– в направлении Z :

$$; \frac{\partial}{\partial Z}(VU) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R}(R^n VU) = -\frac{\partial P}{\partial Z} + \frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{\partial}{\partial Z} \left(\frac{\partial U}{\partial Z} \right) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^n \frac{\partial U}{\partial R} \right) \right] - f \frac{U}{D_a \text{Re}}; \quad (9)$$

– в направлении R :

$$\frac{\partial}{\partial Z}(UV) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R}(R^n VU) = -\frac{\partial P}{\partial R} + \frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{\partial}{\partial Z} \left(\frac{\partial V}{\partial Z} \right) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^n \frac{\partial V}{\partial R} \right) \right] - f \frac{V}{D_a \text{Re}} - f \frac{V}{\text{Re} R^2} n; \quad (10)$$

– уравнение энергии:

$$\frac{\partial}{\partial Z}(U\Theta) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R}(R^n V\Theta) = \frac{1}{P_e} \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial Z^2} \right) + \frac{1}{P_e R^n} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^n \frac{\partial \Theta}{\partial R} \right); \quad (11)$$

– генерация энтропии:

$$E_g = \left(\frac{\partial \Theta}{\partial Z} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Theta}{\partial R} \right)^2 + (1-f) Br_m \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial V}{\partial R} \right)^2 + \left(\frac{V}{R} n \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial Z} \right)^2 \right] + \left[\frac{\partial V}{\partial Z} + \frac{\partial U}{\partial R} \right]^2 \right\} + f \frac{Br_m}{D_a} [\bar{V}]^2. \quad (12)$$

В уравнениях (8 – 12) приняты обозначения:

$Z = z/z_{in}$; $U = u/u_{in}$; $V = v/v_{in}$; $R = r/r_{in}$; $\Theta = (T - T_{in})/T_w - T_{in}$; $P = p/p_{in}$; $\Theta = (T - T_{in})/T_w - T_{in}$; $P = p/p_{in}$; D_a – число Дарси; Re – число Рейнольдса; Br_m – преобразованное число Бринкмана, z и r – координаты (r – радиус); u , v – компоненты скорости; ρ – плотность; f – параметры, определяющие степень пористости исследуемого тела.

Энтропийный метод анализа энергетических систем получил особое развитие в последние два-три десятилетия благодаря научным работам А. Бежана и Т. Морозюк [3, 5].

Выводы

Приведенные закономерности фазовых переходов могут служить основой для более полного и правильного решения указанных процессов. Оценку уровня фазовых переходов рекомендуется основывать на энтропийном анализе.

Список литературы

1. Пригожин И. Современная термодинамика от тепловых двигателей до диссипативных структур / И. Пригожин, Д. Кондепуди. – М.: Мир, 2002. – 461 с.
2. Стенли Г. Фазовые переходы и критические явления / Г. Стенли; пер. с англ. – М.: Мир, 1973. – 425 с.
3. Bejan A. Entropy generation minimization in heat transfer. In: E. Sciubba, M. Moran (Eds.) second Law Analysis of Energy systems: toward the 21st century. Proceedings of International Conferences ROMA', 1995. – P. 363 – 372.
4. Gibbs J.W. On the equilibrium of heterogeneous substance. Trans. Conn. Aco. d. Sci, III, 1828. – P. 343-524.

5. Morosuk T. Entropy generation in conduits filled with porous medium totally and partially/International Journal of Heat and Mass Transfer 48 (2005). – P. 2548 – 2560.

6. Prigogine J., Defay R. Chemical Thermodynamics. 2 th. ed. – London: Longman, 1967. – 211 p.

ДО ПИТАННЯ ПРО ФАЗОВІ ПЕРЕХОДИ

В.Г. Демченко, Б.Х. Драганов

Виконано термодинамічний аналіз фазових переходів, у тому числі при переходах пара – рідина (рідина – пара). Наведено хімічний потенціал Гіббса для визначення процесу масообміну в гетерогенних середовищах.

Ключові слова: фазовий перехід, гетерогенна система, хімічний потенціал, тепломасообмін, правило фаз Гіббса, теорема Дюгена, пористе середовище, ентропія

ON THE PROBLEM OF PHASE TRANSITIONS

V. Demchenko, B. Draganov

A thermodynamic analysis of phase transitions, including the transitions vapor - liquid (liquid - vapor). Shows the chemical Gibbs potential to determine the mass transfer process in heterogeneous environments.

Keywords: phase transition, heterogeneous system, the chemical potential, heat and mass transfer, Gibbs phase rule, Theorem Dyugena, porous medium, entropy

УДК 621.316.542.9:621

ЗАПРЕТ ВКЛЮЧЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ АВР ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ КОНТРОЛЕ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ В ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

*И.Н. Фомин, инженер
ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный
университет»
e-mail: gaalx@ukr.net*

Разработан способ дистанционного контроля работы выключателей, осуществляемый путем сравнения длительности проте-