К ТЕОРИИ СМЕСЕЙ ГРИНА И НАХДИ

Р. И. Нигматулин (Москва)

Рассмотрены некоторые положения работы А. Э. Грина и П. М. Нахди [1] и показана неприменимость некоторых из них к исследованию гетерогенных смесей, что не исключает возможности применения их к описанию гомогенных смесей (смеси газов, растворы, сплавы и т. д.).

В указанной статье [1] записаны уравнения энергии и неравенства для энтропии каждой из n составляющих смеси, находящихся во взаимном относительном движении. Исходя из требования инвариантности этих соотношений при наложении жестких движений на смесь в целом, получены ограничения на выражения, характеризующие взаимодействие этих n составляющих. Эта часть работы имеет отношение к любым смесям (в том числе и к многофазным), которые могут быть описаны движением n континуумов. Далее вводятся температура и другие термодинамические функции для смеси, и, исходя, казалось бы, из общих термодинамических допущений (в случае двух составляющих) относительно внутренних энергий U_1, U_2 и давлений p_1, p_2 составляющих

$$U_1 = U_1(\rho_1, \rho_2, T_1, T_2), \; U_2 = U_2(\rho_1, \rho_2, T_1, T_2),$$
$$p_1 = p_2(\rho_1, \rho_2, T_1, T_2), \; p_2 = p_2(\rho_1, \rho_2, T_1, T_2) \qquad (1)$$

где ρ_i, T_i — средняя плотность (масса i-й составляющей в единице объема смеси) и температура i-й составляющей ($i = 1,2$), получено уравнение энергии и неравенство для энтропии смеси в целом. Причем соотношения между термодинамическими функциями смеси и составляющими в общем случае зависят от истории температуры и кинематических переменных. В частном случае, если принять аддитивность внутренней энергии и энтропии смеси по массам составляющих

$$\rho U = \rho_1 U_1 + \rho_2 U_2, \qquad \rho S = \rho_1 S_1 + \rho_2 S_2 \qquad (2)$$

то должно выполняться условие $T_1 = T_2 = T$.

Но допущения (1) справедливы только для гомогенных смесей. Для гетерогенных же сред, в которых имеются поверхности, где терпят разрыв какие-либо параметры (смесь газа или жидкости с частицами, смесь жидкости с пузырями и т. д.), параметров ρ_1, ρ_2, T_1, T_2 недостаточно, чтобы характеризовать состояние каждой фазы. В теории взаимопроникающего движения многофазных сред поэтому для каждой фазы имеются величины α_i (объемное содержание i-й фазы), показывающие долю объема смеси, занятого i-й фазой. Например, в смеси газа с частицами, размер которых достаточно велик, чтобы пренебречь поверхностными эффектами, справедливо (2) и (см., [2])

$$p_1 = p_2 = p(\rho_1^\circ, T_1) \qquad (\rho_1^\circ = \rho_1 / \alpha_1) \qquad (3)$$

где $p(\rho_1^\circ, T_1)$ — уравнение состояния для чистого газа. Таким образом, в уравнения состояния фаз входят истинные плотности фаз $\rho_i^\circ = \rho_i / \alpha_i$, а допущение об аддитивности внутренней энергии и энтропии смеси по массам фаз (2) связано с возможностью пренебречь влиянием поверхностного слоя, что можно делать, когда размеры включений во много раз превышают межмолекулярные размеры. Величины α_i, кроме того, входят в уравнения движения фаз. Соответствующий термодинамический анализ, в котором отсутствует понятие температуры смеси, проведен для различных случаев в [2,3].

Поступила 4 II 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. Green A. E., Naghdi P. M. A theory of mixtures. Archive for Rational Mechanics and Analysis, 1967, vol. 24, No. 4, pp. 243—263. (Рус. перев.: Теория смесей. Механика, 1968, № 4.)
2. Нигматулин Р. И. Некоторые соотношения неравновесной термодинамики для двухтемпературного и двухскоростного газа с фазовыми переходами. Изв. АН СССР, МЖГ, 1968, № 5.
3. Золотарев П. П., Николаевский В. Н. Термодинамический анализ нестационарных процессов в насыщенных жидкостью и газом деформируемых пористых средах. В сб. «Теория и практика добычи нефти», М., «Недра», 1966.

ЗАМЕЧАНИЕ К РАБОТЕ Ю. Д. ШМЫГЛЕВСКОГО О «ПЕРЕНОСЕ ЭНЕРГИИ ИЗЛУЧЕНИЕМ В СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЯХ», ПМТФ, 1969 г., № 3.

На стр. 18 сделано замечание о количестве энергии Q_2, излучаемой единицей объема. Приведенная там же величина вычислена неправильно и должна определяться формулой

$$Q_2 = 2\pi B_{\nu a} |\nabla n| [1 - 2E_3(\rho K |\nabla n|^{-1})]$$

Этот результат может быть получен по аналогии с расчетом излучения тонкого слоя.

Ю. Д. Шмыглевский