

Аналитическое описание фазового поведения углеводородных растворов

Научный руководитель – Колдоба Елена Валентиновна

Романова А.Ю.¹, Колдоба Е.В.²

1 - Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
 Механико-математический факультет, Кафедра вычислительной механики, Москва, Россия,
E-mail: romashka224@mail.ru; 2 - Московский государственный университет имени
 М.В.Ломоносова, Москва, Россия, *E-mail: elenakoldoba@mail.ru*

Для моделирования фазовых переходов в углеводородных растворах предложены функции, аппроксимирующие молярные объемы газовой и жидкой фаз в двухфазной области. Функции учитывают изменения концентраций компонент в фазах. Такие функции упрощают применение техники термодинамических потенциалов и соотношений Гиббса-Дюгема, позволяют построить упрощенную термодинамически согласованную систему для расчета фазового равновесия двухкомпонентных растворов, что актуально для использования модели черной нефти. В современных гидродинамических симуляторах при расчете фазового равновесия используются итерационные методы, сходимость которых в некоторых областях проблематична. В частности, возможны случаи, в которых функции оказываются термодинамически рассогласованы настолько, что при моделировании фазовых переходов возникают численные неустойчивости или нефизические решения.

Ключевые слова: уравнения состояния, термодинамические потенциалы, фазовое равновесие, углеводородные растворы, математическое моделирование, модель черной нефти

В работе для моделирования фазового равновесия в растворах предложены функции гиперболического типа, аппроксимирующие молярные объемы газовой и жидкой фазы в двухфазной области.

В двухфазной области ($L + G$) молярные объемы газовой v_G и жидкой фаз v_L равны молярным объемам вдоль кривых конденсации $c_G(p)$ и кипения $c_L(p)$ и зависят только от давления. Переобозначим эти функции как $\omega_G(p), \omega_L(p)$, таким образом имеем:

$$\omega_a(p, c_a(p)) = \omega_a(p),$$

где a – индекс фазы (жидкая или газовая).

Предлагается аппроксимировать $\omega_G(p), \omega_L(p)$ функциями следующего вида:

$$\tilde{\omega}_G(p) = \frac{\beta RT}{p} + b_G, \tilde{\omega}_L(p) = \frac{\alpha RT}{p + P_*} + b_L$$

где R – газовая постоянная, β, b_G – параметры аппроксимации для газовой фазы; α, P_*, b_L – параметры аппроксимации для жидкой фазы.

Для вычисления параметров аппроксимации необходимо знать точные значения $\omega_G(p), \omega_L(p)$ при трех разных давлениях p_0, p_1, p_2 , которые можно вычислить по композиционной модели либо по лабораторным данным.

В результате предложенные аппроксимации объемов фаз в двухфазной области использовались для расчета фазового равновесия двухкомпонентных растворов. Была построена термодинамически согласованная система. Для численного счета применялся метод Эйлера, а не итерационные методы, что повысило скорость и надежность расчетов. На примере раствора «метан-декан» было показано, что предложенный подход позволяет рассчитывать фазовое поведение в значительном диапазоне давлений, но не работает вблизи критической точки. Таким образом, модель применима для расчетов фазовых переходов модели черной нефти, в которой критическая точка не рассматривается.

Источники и литература

- 1) Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа, Москва: Грааль. 2002. 575.
- 2) Колдоба А.В., Колдоба Е.В. Термодинамически согласованная модель многокомпонентной смеси с фазовыми переходами Математическое моделирование. 2010. 22. № 4. 147-155.
- 3) Колдоба Е.В. Метод построения констант фазового равновесия многокомпонентных растворов. Математическое моделирование. 2018. 30. № 4. 84-96.
- 4) Firoozabadi A. Thermodynamics of Hydrocarbon Reservoirs, New York: McGraw-Hill. 1999. 430.
- 5) Michelsen M.L. The Isothermal Flash Problem. Part.I. Stability Fluid Phase Equilibrium. 1982. 9(1). 1-19.