

УДК 532:536

ОСОБЕННОСТИ СЕПАРАЦИИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СРЕД В РЕЖИМАХ РАБОТЫ АППАРАТОВ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ

Николаев Евгений Владимирович¹,
nickolaev_evgeny@mail.ru

Харламов Сергей Николаевич¹,
kharsn@mail.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

При проектировании и эксплуатации аппаратов и устройств нефтегазового комплекса важным является оптимизация параметров работы оборудования. При этом эффективное прогнозирование механизмов сепарации, обусловленных фазовыми переходами и структурной нестабильностью компонентного состава и переменностью теплофизических свойств, является немаловажным. В силу дороговизны проведения экспериментальных работ по предсказанию таких явлений и процессов теоретический подход в решении данных вопросов является актуальным, ценным и практически значимым.

Цель работы: выявление закономерностей эволюции многокомпонентных углеводородных сред в режимах сепарации в аппаратах подготовки нефти в рабочем диапазоне температуры $T \approx 0...70$ °С и давления $P \approx 0,1...3,5$ МПа.

Методы исследования: термодинамические модели в программном комплексе Aspen HYSYS: уравнения состояния Пенга–Робинсона, Ли–Кеслера–Плокера, уравнение NRTL (non-random two-liquid), полуэмпирическая модель Грейсона–Стрида; теория подобия.

Результаты. Представлены сведения об особенностях изменений критериев подобия в газообразных сплошных средах, характеризующих процессы переноса импульса, тепла и массы. Изучены особенности изменений состава смеси и теплофизических свойств выходящего потока газа в отдельных режимах изменений поля температуры и давления, характерных для функционирования промышленных аппаратов подготовки нефти. Установлено, что данные расчета изменений критериев успешны для прогноза процессов в реальных газах. Отмечается, что рассчитанные значения чисел Грандтля, Шмидта и Льюиса для однокомпонентных химически однородных систем достаточно хорошо коррелируют с экспериментальной информацией. Обсуждаемая математическая модель по определению параметров процессов переноса, в частности, числа Шмидта, для смеси может быть верифицирована данными экспериментальных исследований явлений самодиффузии в газообразных системах.

Ключевые слова:

Моделирование, углеводородная среда, многокомпонентная система, теплофизические свойства, сепарация.

Введение

Эффективное прогнозирование процессов разделения является важной частью при проектировании и эксплуатации оборудования для многоступенчатой сепарации нефти. В настоящее время существует большое количество эмпирических уравнений, с различной степенью точности позволяющих прогнозировать термодинамические процессы в углеводородных средах. Известно, что в практике прикладных расчетов состава вязких систем очень популярны модели с многокоэффициентными, а также полиномиальными связями между искомыми параметрами. В частности, наиболее удобными, относительно простыми и корректными в сравнении с имеющимися опытными данными являются полиномиальные уравнения состояния [1].

Анализ библиографических данных [1–3] показывает, что при математическом моделировании процессов переноса в углеводородных средах большое внимание следует уделять определению безразмерных комплексов [числа Грандтля (Pr), Шмидта (Sc) и Льюиса (Le)], так как нередко с их помощью можно получить сведения об особенностях интенсивности процессов переноса, осложненных фазовыми превращениями, нелинейными изменениями теплофизических свойств и струк-

турной нестабильностью компонентного состава. В связи с этим цель настоящей работы состоит в выявлении закономерностей поведения многокомпонентных углеводородных сред в режимах сепарации в аппаратах подготовки нефти в рабочем диапазоне температуры $T \approx 0...70$ °С и давления $P \approx 0,1...3,5$ МПа.

Формулировка физико-математической модели

Предполагается, что расчет фазового равновесия производится в первом приближении с помощью совместного решения уравнений Дальтона и Рауля, допуская, что паровая фаза подчиняется законам идеального газа, а жидкая фаза представляет собой идеальный раствор. Второе приближение фазового равновесия с использованием уравнений состояния проводится путем итераций и основано на строгом применении классических положений термодинамики многокомпонентных систем – равнозначности летучестью компонентов смеси во всех сосуществующих фазах [1, 4]. В качестве метода решений на первых итерациях применяют метод последовательных приближений. Сходимость численного решения обеспечивается в рамках использования метода Ньютона [1].

Модель первой ступени сепарации была построена на базе данных пластовой нефти Вынгапуровского ме-

сторождения [5], плотность которой $\rho=817,4$ кг/м³, молекулярная масса $M=91$ кг/кмоль. При формулировке модели были приняты следующие допущения: режим стационарный; расходы газа и жидкости постоянны; гидравлическое сопротивление емкости и штуцеров сепаратора пренебрежимо мало; система находится в термодинамическом равновесии; геометрия сепаратора не учитывается; тепловые потери через стенку сепаратора за счет теплообмена с окружающей внешней средой отсутствуют.

Заметим, что усилия по корректировке алгоритмов, составляющих ядро HYSYS, в силу его закрытости, достаточно трудоемки [6]. В качестве термодинамического пакета было выбрано популярное в приложениях уравнение состояния Пенга–Робинсона, которое в полиномиальной форме имеет вид [4, 7]:

$$Z^3 + (B-1)Z^2 + (A-2B-3B^2)Z + (B^2 + B^3 - AB) = 0. \quad (1)$$

Здесь A , B – коэффициенты уравнения, которые выражаются через критические свойства и ацентрические факторы компонентов, а также через давление и температуру системы; Z – коэффициент сжимаемости.

Усовершенствованное фирмой Huprotech данное уравнение состояния (1) наиболее точно описывает разнообразные системы в широком диапазоне термобарических условий по сравнению с другими уравнениями [8–11].

Отметим, что в предыдущих работах [12–14] было проведено детальное исследование изменений теплофизических свойств в углеводородных средах по двум методам (статистический и феноменологический), выполнено сравнение с результатами расчета по HYSYS в рамках алгоритмов, учитывающих принцип соответственных состояний [7], при формулировке теплофизических свойств газовой смеси. По результатам расчетов установлена достаточная хорошая корреляция с результатами HYSYS [14].

Валидация и верификация модели

С целью проверки предложенной модели на адекватность прогноза процессов сепарации выполнено сравнение полученных результатов с результатами расчетов других авторов [5] при аналогичных термобарических условиях: $P=0,6$ МПа, $T=15$ °С. В качестве термодинамического пакета помимо уравнения состояния Пенга–Робинсона были использованы различные модели: уравнение состояния Ли–Кеслера–Плокера, полуэмпирическая модель Грейсона–Стрида, уравнение NRTL (non-random two-liquid), разработанное Реноном и Праусницем. Исследование показывает, что наилучшую корреляцию с результатами [5] даёт уравнение состояния Пенга–Робинсона (среднее расхождение по компонентному составу газовой смеси 6,82 %), что подтверждает его превосходство над другими уравнениями состояния в анализируемых процессах. При этом стоит отметить, что

концентрации легких углеводородов (метан, этан, пропан), углеводородов C_{6+} и неуглеводородных компонентов в выходящем потоке газовой смеси хорошо коррелируют с данными [5], а концентрации бутанов и пентанов имеют относительно высокое расхождение, что объясняется нехваткой информации входных данных промыслового сепаратора и различием методов расчета.

Для проверки адекватности расчетов теплофизических свойств выполнено сравнение полученных результатов расчетов с экспериментальными данными [15, 16]. Данные этой сравнительной оценки приведены в таблице.

Таблица. Сравнение расчетных значений теплофизических свойств для чистых веществ с экспериментальными значениями

Table. Comparison of calculated values of individual components thermal and physical properties with the experimental values

Компонент Component	Значения из HYSYS $\mu \times 10^6$, Па·с Values from HYSYS $\mu \times 10^6$, Pa·s	Экспериментальные данные из [15] $\mu \times 10^6$, Па·с Experimental data from [15] $\mu \times 10^6$, Pa·s	Значения из HYSYS λ_i , Вт/(м·К) Values from HYSYS λ_i , W/(m·K)	Экспериментальные данные из [16] λ_i , Вт/(м·К) Experimental data from [16] λ_i , W/(m·K)
Двуокись углерода Carbon dioxide	14,62	14,6	0,0170	0,0142
Азот Nitrogen	18,33	17,79	0,0258	0,0239
Метан Methane	11,34	11,4	0,0338	0,0306
Этан Ethane	9,41	9,29	0,0213	0,0180
Пропан Propane	8,18	8,11	0,0178	0,0151
Изобутан i-Butane	7,45	7,58	0,0156	0,0138
н-Бутан n-Butane	7,23	7,49	0,0155	0,0134
Изопентан i-Pentane	6,65	6,38	0,0141	0,0126
н-Пентан n-Pentane	6,45	6,8	0,0140	0,0130
Среднее расхождение Average divergence, %	2,26	–	13,62	–

Из таблицы видно, что средняя погрешность значений коэффициента динамической вязкости, полученных с помощью HYSYS, относительно экспериментальных данных составила всего 2,26 %, что подтверждает достоверность результатов, получаемых с помощью данного программного продукта. Расхождение значений коэффициентов теплопроводности с экспериментальными данными, по сравнению с вязкостью, относительно высокое.

Следует отметить, что экспериментальный материал, относящийся к теплопроводности газов, невелик и в большинстве случаев недостаточно точен [16]. В силу того, что расчет теплопроводности в пакете HYSYS проводится с использованием табличных параметров (ацентрический фактор, молекулярный вес и идеальная теплоемкость) всех имеющихся библиотечных компонентов, имеет смысл доверять результатам расчетов данного пакета [7].

Результаты и их обсуждение

Известно, что на качество процесса и на свойства продуктов сепарации углеводородных сред оказывают влияние давление и температура. Вследствие фазовых превращений отдельных компонентов в зависимости от термобарических условий изменяются компонентные составы фаз и, соответственно, их свойства. При эксплуатации оборудования подготовки нефти, с целью поддержания определенных характеристик продуктов разделения, регулируют термобарические условия, так как свойства и компонентные составы данных продуктов напрямую зависят от данных факторов. В связи с этим в работе детально исследованы процессы эволюции концентраций отдельных компонентов углеводородной газовой смеси в зависимости от температуры $T \approx 0 \dots 70$ °С и давления $P \approx 0,1 \dots 3,5$ МПа. Ранее в [13, 14] было проведено исследование для невысоких давлений (до 700 кПа), где показана динамика немонотонных изменений концентраций некоторых компонентов в газовой смеси, обусловленная изменениями T и P . Следует отметить, что с возрастанием давления для углеводородных компонентов наблюдается тенденция перехода в практически линейные зависимости.

Результаты вычислений теплофизических свойств двух различных газов сепарации с разными компонентными составами позволяют построить и сравнить изменения числа Прандтля обеих газových смесей с числом Прандтля метана при тех же термобарических условиях (рис. 1). Сравнительный анализ производится именно с метаном, так как он является основным компонентом даже в попутном нефтяном газе.

Из рисунка видно, что для всех случаев число Pr , как и ожидалось [17], слабо меняется в зависимости от температуры и варьируется в пределах значений от 0,74 до 0,86. Однако стоит отметить, что в случаях газовых смесей (GM-1, GM-2) вместе с давлением и температурой меняется и их компонентный состав. Это означает, что число Pr слабо реагирует на диффузионные процессы второго порядка из-за изменения компонентного состава углеводородной газовой смеси. Это позволяет утверждать, что вполне корректными являются рекомендации задания $Pr \approx 0,72 \dots 0,86$ при моделировании явлений переноса в углеводородной газовой смеси для указанных термобарических условий. Эти заключения дают возможность прогнозировать особенности молярных процессов переноса тепла в открытых термодинамических системах со сложным характером течений и с учетом рекомендаций о сопряженности теплообмена в средах, предложенных в [18]. В частности, более общей представляется связь, хорошо апробированная на классе задач теплообмена при течении теплоносителей в каналах, учитывающих теплофизические особенности границ области исследований [18–20]:

$$Pr_t = Pr \times \frac{(1 + y^{+2} / (2\Delta) - \exp(-y^+ / \sqrt{\Delta}))}{\left(1 + Pr y^{+2} / (2\Delta) - \frac{\Lambda}{1 + \Lambda} \exp(-y^+ \sqrt{Pr / \Delta})\right)}, \quad (2)$$

где Pr_t – турбулентное число Прандтля; y – расстояние от стенки; Δ – характерное безразмерное расстояние от стенки; Λ – критерий влияния характеристики материала стенки на величину пульсаций температуры. Заметим, что сведения изменений Pr_t из уравнения (2) в пристенной зоне весьма ценны в уяснении особенности скоростей диссипации в пульсационных процессах импульса и тепла, что выявлено при детальном моделировании локальных свойств вихрей в углеводородных средах [19, 20].

Согласно кинетической теории [3], коэффициент самодиффузии однокомпонентной системы связан с коэффициентом динамической вязкости следующим соотношением:

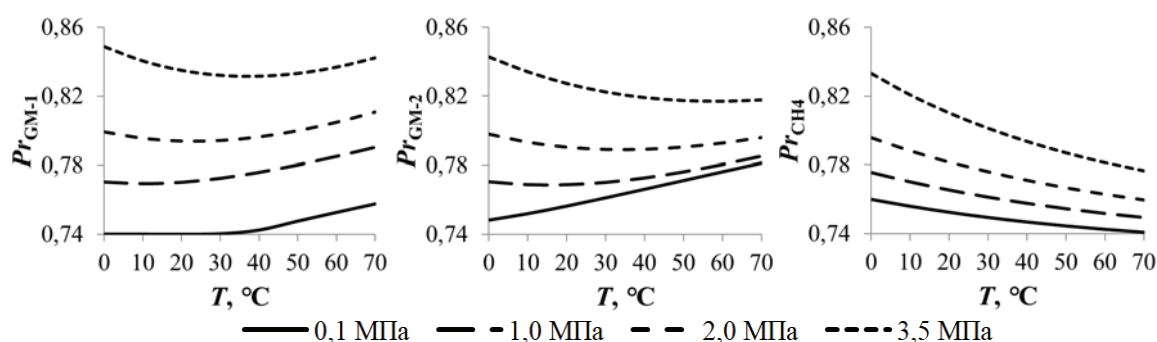


Рис. 1. Зависимость числа Прандтля для газовых смесей (Pr_{GM-1} , Pr_{GM-2}) и метана (Pr_{CH_4}) от T при различных P

Fig. 1. Dependence of the Prandtl number for gas mixtures (Pr_{GM-1} , Pr_{GM-2}) and methane (Pr_{CH_4}) on T at various P

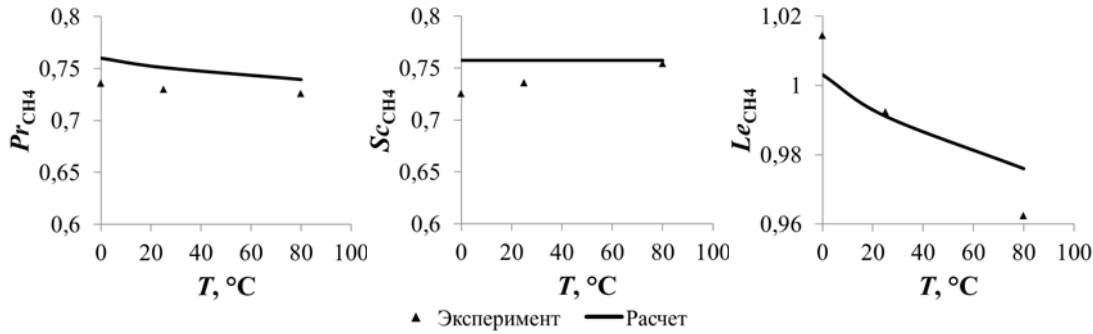


Рис. 2. Экспериментальные и расчетные величины критериев подобия для метана Pr_{CH_4} , Sc_{CH_4} и Le_{CH_4} в зависимости от T
Fig. 2. Experimental and calculated values of similarity criteria for methane Pr_{CH_4} , Sc_{CH_4} and Le_{CH_4} depending on T

$$D_{ii} = \frac{6}{5} \mu_i \frac{RT}{M_i P} \frac{\Omega_v}{\Omega_D} = \frac{6}{5} \frac{\mu_i}{\rho_i} \frac{\Omega_v}{\Omega_D}, \quad (3)$$

где D_{ii} – коэффициент самодиффузии, m^2/c ; ρ_i – плотность, kg/m^3 ; μ_i – коэффициент динамической вязкости, $Pa \cdot s$; M_i – молекулярная масса; R – универсальная газовая постоянная, $J/(mol \cdot K)$; Ω_v , Ω_D – интегралы столкновений для переноса импульса и массы, соответственно. Соотношение интегралов столкновений Ω_v/Ω_D является слабой функцией характеристической температуры $T_i^* = kT/\varepsilon_i$ (здесь k – постоянная Больцмана, $эрг/К$; ε_i/k – параметр потенциальной функции межмолекулярного взаимодействия, $К$) и приблизительно равно 1,1. Отсюда следует, что число Шмидта для однокомпонентной газовой системы может быть представлено:

$$Sc_i = \frac{\mu_i}{\rho_i D_{ii}} = \frac{5}{6} \frac{\Omega_D}{\Omega_v}, \quad (4)$$

и является практически независимой величиной ($\approx 0,76$). В таком случае число Льюиса ($Le = Pr/Sc$) для однокомпонентной системы будет близко к 1. Данный вывод можно верифицировать путем получения значений критериев подобия из экспериментальных данных индивидуального компонента, например метана и двуокиси углерода. Данные о теплофизических свойствах указанных веществ получены для атмосферного давления и температур $T = \{0, 25, 80\} \text{ } ^\circ\text{C}$ [15]. Так, на рис. 2 представлены результаты сравнительного анализа расчетных и экспериментальных значений критериев подобия (Pr, Sc, Le) для метана.

Данные анализа (рис. 2) хорошо подтверждают адекватность расчетных значений тройной аналогии для однокомпонентной среды. Относительные погрешности, как для метана, так и для двуокиси углерода, по всем критериям подобия не превышают 3,5 %.

При исследовании диффузионных задач следует признать, что для тестирования математических моделей экспериментальных данных по явлению самодиффузии веществ крайне мало, особенно в зоне высоких давлений. Так, в выражении (4) отсутствует параметр, определяющий влияние давления, но не температуры. Поэтому при расчете

числа Шмидта для высоких давлений параметр Ω_v/Ω_D требует уяснения характера влияния давления. Для оценки фактора давления на величину самодиффузии и числа Шмидта однокомпонентной газовой системы выведем число Шмидта для двуокиси углерода из экспериментальных значений коэффициента самодиффузии [21] и других теплофизических свойств. Результаты представлены на рис. 3.

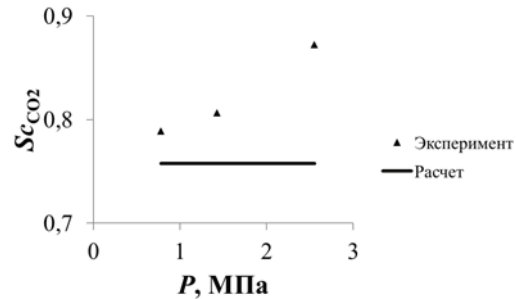


Рис. 3. Экспериментальные и расчетные величины числа Шмидта для двуокиси углерода Sc_{CO_2} в зависимости от P
Fig. 3. Experimental and calculated values of Schmidt number for carbon dioxide Sc_{CO_2} depending on P

Из рис. 3 хорошо видно, с увеличением давления отклонение расчетных и экспериментальных величин растет. Максимальная относительная погрешность составила 13,15 %, что вполне удовлетворительно. На основании проведенного анализа можно дать предварительную оценку Le для газовых смесей (GM-1, GM-2) и метана, с использованием уравнения (4) для оценки Sc при допущении, что соотношение интегралов столкновения приблизительно равно 1,1 (рис. 4).

Из рис. 4 видно, что число Льюиса, как для газовых смесей, так и для метана, близко к 1. Очевидно, что при неизменном значении чисел Шмидта зависимость числа Льюиса от температуры и давления будет обратной числу Прандтля. Тем не менее, по некоторым данным [22], число Льюиса для горючих газов принимается равным 1. Рис. 4 удовлетворительно подтверждает данное положение. Однако для более точной формулировки числа Льюиса для газовых смесей необходимо учитывать

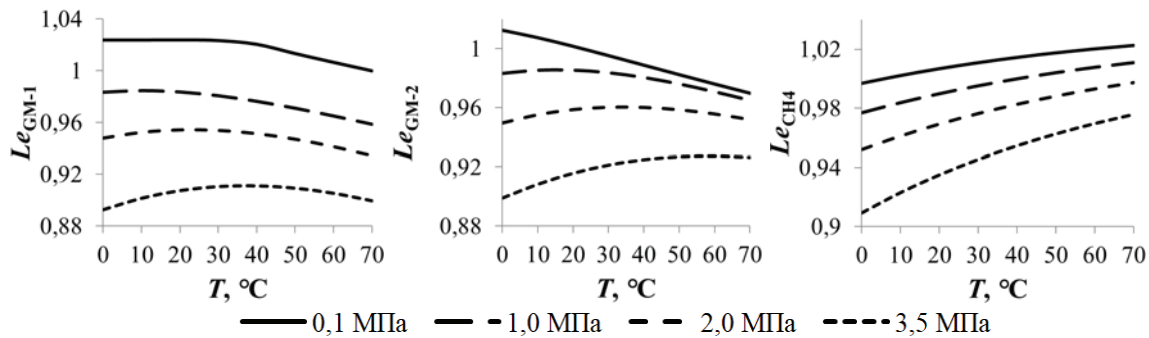


Рис. 4. Зависимость числа Льюиса для газовых смесей (Le_{GM-1} , Le_{GM-2}) и метана (Le_{CH_4}) от T при различных P

Fig. 4. Dependence of the Lewis number for gas mixtures (Le_{GM-1} , Le_{GM-2}) and methane (Le_{CH_4}) on T at various P

влияние давления на число Шмидта, а именно посредством изменений в интегралах столкновений: Ω_V и Ω_D .

Заключение

Проведенные численные исследования сепарации в углеводородных многокомпонентных неоднородных гомогенных и гетерогенных системах свидетельствуют о многопараметричности и многофакторности механизмов массопереноса, обусловленных характером изменений термобарических условий, поведения теплофизических свойств, специфичности компонентного состава смеси вследствие фазовых превращений и ее структурной неустойчивости. В таких условиях проникновению в суть сепарационных процессов, построению адекватных и гибких математических моделей массопереноса в аппаратах подготовки нефти способствуют данные детального анализа особенностей изменений определяющих критериев подобия тепло- и массообмена в открытых термодинамических системах, таких как критерий Шмидта (Sc), Прандтля (Pr), и Льюиса–Семенова (Le). Исследованы закономерности процессов переноса массы, тепла и импульса, а также их тройная аналогия в сложных углеводородных средах. Эти результаты расширяют банк данных о достоинстве используемого метода в возможности расчета пространственных задач сепарации в условиях неравновесности с интенсивным изменением в системах давления, температуры и компонентного состава смесей с учетом отслеживания контактных границ

взаимодействия фаз без сложных 3D сеточных генераторов и нетривиальных деталей прогноза значений полных потоков скалярной субстанции (массы и тепла) в рамках аксиоматических соотношений Онзагера.

Таким образом, результаты настоящего исследования позволяют отметить.

1. Представленная в работе информация об особенностях динамики изменений критериев подобия газовых сред, характеризующих явления переноса импульса, тепла и массы, качественно подтверждается в рабочем диапазоне значений T и P для реальных газов.
2. Рассчитанные значения Pr , Sc , Le для однокомпонентных систем достаточно хорошо коррелируют с экспериментальной информацией, что опосредованно подтверждает достоверность полученных результатов моделирования.
3. Математическая модель по определению параметров процессов переноса, в частности числа Sc для смеси, вполне успешна в прогнозах диффузии на базе соотношений (3) и (4), определяющих механизмы самодиффузии в газовых средах.

Кроме того, расчетами установлено, что при сепарации повышенное внимание требуют процессы переноса на границе раздела систем «газ–жидкость», существенно зависящие от распределений теплофизических свойств, состав которых вполне корректно предсказывать по методу, включающему уравнение состояния Пенга–Робинсона, и данным изменений критериев подобия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа. – М.: Грааль, 2002. – 572 с.
2. Александров И.А. Массопередача при ректификации и абсорбции многокомпонентных смесей. – М.: Химия, 1975. – 320 с.
3. Hirschfelder J.O., Curtiss C.F., Bird R.B. Molecular Theory of Gases and Liquids. – New York: John Wiley and Sons, 1954. – 1219 p.
4. Peng D.Y., Robinson D.B. A new two-constant equation of state // Ind. Eng. Chem. Fundam. – 1976. – V. 15. – P. 59–64.
5. Леонтьев С.А., Марченко А.Н., Фоминых О.В. Обоснование рациональных технологических параметров подготовки скважин-

- ной продукции Вынгапуровского месторождения // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – № 3. – С. 211–221. URL: http://ogbus.ru/authors/LeontievSA/LeontievSA_1.pdf (дата обращения: 25.09.2015).
6. Акберов Р.Р. Особенности расчета фазового равновесия пар–жидкость многокомпонентных систем при использовании уравнения Соавы–Редлиха–Квонга // Теорет. основы хим. технологии. – 2009. – Т. 45. – № 3. – С. 329–335.
7. HYSYS Simulation Basis. – Cambridge: Aspen Technology, Inc., 2005. – 527 p.
8. Kylling O.W. Optimizing separator pressure in a multistage crude oil production plan: M. Sc. Diss. – Trondheim, 2009. – 76 p.

9. Фаловский В.И., Хорошев А.С., Шахов В.Г. Современный подход к моделированию фазовых превращений углеводородных систем с помощью уравнения состояния Пенга-Робинсона // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – № 3. – С. 120–125.
10. Kou J., Sun S. Unconditionally stable methods for simulating multi-component two-phase interface models with Peng–Robinson equation of state and various boundary conditions // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2016. – V. 291. – P. 158–182.
11. Моделирование систем трубопроводов в стационарном режиме / А.М. Чионов, В.С. Кулик, С.А. Коршунов, К.А. Казак // Журнал нефтегазового строительства. – 2014. – № 2. – С. 54–59.
12. Nikolayev E.V., Kharlamov S.N. Detailed Modelling of Hydrocarbonaceous Media Separation Process // Applied Mechanics and Materials. – 2016. – V. 835. – P. 315–320.
13. Nikolayev E.V., Kharlamov S.N. Separation Features in Hydrocarbon Media at Thermobaric Regimes of Petroleum Preparation Devices Functioning // Key Engineering Materials. – 2017. – V. 743. – P. 373–377.
14. Николаев Е.В., Харламов С.Н. Исследование сепарационных процессов углеводородных многокомпонентных систем в режимах функционирования оборудования предварительной подготовки нефти // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 7. – С. 84–99.
15. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
16. Бретшнайдер С. Свойства газов и жидкостей. – М.; Л.: Химия, 1966. – 536 с.
17. Коган В.Б. Теоретические основы типовых процессов химической технологии. – Л.: Химия, 1977. – 592 с.
18. Гешев П.И. Влияние теплопроводности стенки на величину турбулентного числа Прандтля в вязком подслое // Инженерно-технический журнал, 1978. – Т. 35. – № 2. – С. 292–296.
19. Lai Y.G., So R.M.C. Near-wall modeling of turbulent heat fluxes // International Journal of the Heat and Mass Transfer. – 1990. – V. 33. – № 7. – P. 1429–1440.
20. Бубенчиков А.Н., Харламов С.Н. Математические модели неоднородной анизотропной турбулентности во внутренних течениях. – Томск: Изд-во ТГУ, 2001. – 441 с.
21. Новый справочник химика и технолога. Электродные процессы. Химическая кинетика и диффузия. Коллоидная химия / Р.Ш. Абиев, Е.Е. Бибик, Е.А. Власов и др. – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. – 838 с.
22. Williams F.A. Combustion theory. – Boston: Addison-Wesley Publishing Company, 1965. – 447 p.

Поступила 07.02.2018 г.

Информация об авторах

Николаев Е.В., аспирант Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Харламов С.Н., доктор физико-математических наук, профессор, профессор Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 532:536

FEATURES OF MULTICOMPONENT HYDROCARBON MEDIA SEPARATION IN OPERATING MODES OF OIL PREPARATION APPARATUS

Eugeny V. Nikolayev¹,
nickolaev_evgeny@mail.ru

Sergey N. Kharlamov¹,
kharsn@mail.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

Optimization of oil preparation apparatus parameters is significant for designing and exploitation of oil and gas equipment. Furthermore, the effective predicting of separation mechanisms accompanied by phase transformation and structural instability of component composition and thermal properties is important. Theoretical approach in this problem is extremely actual, valuable and practically significant due to the absence of experimental data.

The main aim of the study is to determine the regularities of multicomponent hydrocarbon media evolution in separation modes in oil preparation apparatus: the temperature is $T_{70...70}^{\circ}\text{C}$ and pressure is $P_{1...3,5}\text{MPa}$.

The methods: thermodynamic models in HYSYS software such as Peng–Robinson equation of state, Lee–Kesler–Plocker equation of state, NRTL equation, Grayson–Streed semi-empirical model; similarity theory.

The results. The paper introduces the data on the features of changes in similarity criteria in gaseous continuous media characterizing heat, mass and impulse transfer. The authors have studied the features of changes in composition and thermal properties of gas mixture depending on temperature and pressure of oil preparation apparatus. It was determined that the data of calculation of criteria change are successful for predicting the processes in real gases. It was noted that calculation values of Prandtl, Schmidt and Lewis numbers for one-component chemically homogeneous systems are correlated well enough with the experimental information. The discussed mathematical model for determining the transfer parameters can be verified by the data of the experimental study of self-diffusion phenomena.

Key words:

Modeling, hydrocarbon media, multicomponent system, thermal and physical properties, separation.

REFERENCES

1. Brusilovsky A.I. *Fazovyie prevrashcheniya pri razrabotke mestorozhdeniy nefti i gaza* [Phase transitions in development of oil and gas fields]. Moscow, Graal Publ., 2002. 572 p.
2. Aleksandrov I.A. *Massopredacha pri rektifikatsii i absorbtzii mnogokomponentnykh smesey* [Mass transfer at rectification and absorption of multicomponent mixtures]. Moscow, Khimiya, 1975. 320 p.
3. Hirshfelder J.O., Curtis C.F., Bird R.B. *Molecular Theory of Gases and Liquids*. New York, John Wiley and Sons, 1954. 1219 p.
4. Peng D.Y., Robinson D.B. A new two-constant equation of state. *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, 1976, vol. 15, pp. 59–64.
5. Leontiev S.A., Marchenko A.N., Pominykh O.V. Basis of Preparation of Technological Parameters of Rational Production Borehole Field Vyngapurovskoe. *The Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2012, no. 3, pp. 211–221. In Rus. Available at: http://ogbus.ru/authors/LeontievSA/LeontievSA_1.pdf/ (accessed 15 April 2014).
6. Akberov R.R. Calculating the Vapor-Liquid Phase Equilibrium for Multicomponent Systems Using the Soave-Redlich-Kwong Equation. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2011, vol. 45, no. 3, pp. 329–335. In Rus.
7. *HYSYS Simulation Basis*. Cambridge, Aspen Technology, Inc., 2005. 527 p.
8. Kylling O.W. *Optimizing separator pressure in a multistage crude oil production plan*. M. Sc. Diss. Trondheim, 2009. 76 p.
9. Falovsky V.I., Khoroshev A.S., Shakhov V.G. The Modern Approach to Phase-Behavior Predictions of Hydrocarbon Systems By Means of the Peng-Robinson Equation of State. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2011, vol. 13, no. 3, pp. 120–125. In Rus.
10. Kou J., Sun S. Unconditionally stable methods for simulating multi-component two-phase interface models with Peng-Robinson equation of state and various boundary conditions. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2016, vol. 291, pp. 158–182.
11. Chionov A.M., Kulik V.S., Korshunov S.A., Kazak K.A. Modeling of the Pipeline System in the Stationary Mode. *Zhurnal neftegazovogo stroitel'stva*, 2014, no. 2, pp. 54–59. In Rus.
12. Nikolayev E.V., Kharlamov S.N. Detailed Modelling of Hydrocarbonaceous Media Separation Process. *Applied Mechanics and Materials*, 2016, vol. 835, pp. 315–320.
13. Nikolayev E.V., S.N. Kharlamov. Separation Features in Hydrocarbon Media at Thermobaric Regimes of Petroleum Preparation Devices Functioning. *Key Engineering Materials*, 2017, vol. 743, pp. 373–377.
14. Nikolayev E.V., Kharlamov S.N. Research of multicomponent hydrocarbon systems separation in modes of functioning of oil preliminary preparation equipment. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 7, pp. 84–99. In Rus.
15. Vargaftik N.B. *Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey* [Directory of thermal and physical properties of gases]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 720 p.
16. Bretshnayder S. *Svoystva gazov i zhidkostey* [Properties of Gases and Liquids]. Moscow, Leningrad, Khimiya Publ., 1966. 536 p.
17. Kogan V.B. *Teoreticheskie osnovy tipovykh protsessov khimicheskoy tekhnologii* [Theoretical foundations of chemical engineering unit operations]. Leningrad, Khimiya Publ., 1977. 592 p.
18. Geshev P.I. Vliyaniye teploprovodnosti stenki na velichinu turbulentnogo chisla Prandtlya v vyazkom podsloe [Influence of wall thermal conductivity on the turbulent Prandtl number in viscous sublayer]. *Inzhenerno-tekhnicheskyy zhurnal*, 1978, vol. 35, no. 2, pp. 292–296.
19. Lai Y.G., So R.M.C. Near-wall modeling of turbulent heat fluxes. *International Journal of the Heat and Mass Transfer*, 1990, vol. 33, no. 7, pp. 1429–1440.

20. Bubenchikov A.N., Kharlamov S.N. *Matematicheskie modeli neodnorodnoy anizotropnoy turbulentnosti vo vnutrennikh techeniyakh* [Mathematical models of non-homogeneous anisotropic turbulence in internal currents]. Tomsk, TGU Publ., 2001. 441 p.
21. Abiev P.Sh., Bibik E.E., Vlasov E.A. *Novy spravochnik khimika i tekhnologa. Elektrodnye protsessy. Khimicheskaya kinetika i difuziya. Kolloidnaya khimiya* [New directory of chemist and technologist. Electrode processes. Chemical kinetics and diffusion. Colloid chemistry]. St-Petersburg, Professional Publ., 2004. 838 p.
22. Williams F.A. *Combustion theory*. Boston, Addison-Wesley Publishing Company, 1965. 447 p.

Received: 18 February 2018.

Information about the authors

Eugeny V. Nikolayev, postgraduate, National Research Tomsk Polytechnic University.

Sergey N. Kharlamov, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.