

УДК 664.061.3

ББК 36.81-5

К-76

Кошевой Евгений Пантелеевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, факультета машиностроения и автосервиса ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»; 350058, г. Краснодар, ул. Красная, 135; тел.: 8(861)2752279; e-mail: koshevoi@kubstu.ru;

Кошевая Софья Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»; 350058, г. Краснодар, ул. Красная, 135; e-mail: sofia-koshevaya@yandex.ru;

Верещагин Александр Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения факультета машиностроения и автосервиса ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»; 350058, г. Краснодар, ул. Красная, 135; тел.: 8(861)2550391;

Схалыхов Анзаур Адамович, доктор технических наук, профессор, декан технологического факультета ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»; 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191; тел.: 8(8772)570412; e-mail: arama75@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАСЛЯНО-АЦЕТОНОВОЙ МИСЦЕЛЛЫ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПЕНГА-РОБИНСОНА
(рецензирована)

Статья посвящена определению теплофизических свойств масляно-ацетоновой мисцеллы на основе уравнения состояния Пенга-Робинсона. Данные теплофизических свойств масляно-ацетоновой мисцеллы позволяют моделировать процессы разделения масляно-ацетоновой мисцеллы в экстракционной технологии.

***Ключевые слова:** теплофизические свойства, энтальпия, уравнение состояния, Пенг-Робинсон, фазовые равновесия, экстракция, дистилляция, фосфолипиды.*

Koshevoy Evgeny Panteleevich, Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Technological Equipment and Life Support Systems of the Faculty of Mechanical Engineering and Automotive Service of FSBEI HE “Kuban State Technological University”; 350058, Krasnodar, 135 Red str., tel.: 8 (861) 2752279; e-mail: koshevoi@kubstu.ru;

Koshevaya Sofya Evgenievna, Candidate of Technical Sciences, an associate Professor of the Department of Informatics and Computer Science of FSBEI HE “Kuban State Technological University”; 350058, Krasnodar, 135 Red str., e-mail: sofia-koshevaya@yandex.ru;

Vereshchagin Alexander Gennadievich, Candidate of Technical Sciences, an associate Professor of the Department of Technological Equipment and Life Support Systems of the Faculty of Mechanical Engineering and Automotive Service of FSBEI HE “Kuban State Technological University”; 350058, Krasnodar, 135 Red str., tel.: 8(861)2550391;

Skhalyakhov Anzaur Adamovich, Doctor of Technical Sciences, professor, dean of the Technological Faculty of FSBEI HE "Maikop State Technological University"; 385000, the Republic of Adygeya, Maikop, 191 Pervomayskaya str; tel.: 8 (8772) 570412; e-mail: arama75@mail.ru.

DETERMINATION OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF OIL-ACETONE MISCELLA BASED ON THE PENG-ROBINSON EQUATION OF STATE

(reviewed)

The article is devoted to the determination of thermophysical properties of oil-acetone miscella based on the Peng-Robinson equation of state. The data of the thermophysical properties of the oil-acetone miscella allow to simulate processes of separation of oil-acetone miscella in extraction technology.

Keywords: *thermophysical properties, enthalpy, equation of state, Peng-Robinson, phase equilibria, extraction, distillation, phospholipids.*

Процесс дистилляции масляных мисцелл является одним из основных процессов в экстракционной технологии получения растительных масел [1]. Для моделирования процесса дистилляции необходимы данные по теплофизическим свойствам масляных мисцелл [2].

Уравнения состояния позволяют определять различные свойства многокомпонентных систем и на этой основе моделировать тепловые процессы.

Кубическое уравнение состояния Пенга-Робинсона является наиболее распространенным и принятым для жидкофазных систем [3]:

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v(v+b)+b(v-b)} \quad (1)$$

Уравнение (1) может быть представлено в виде кубического полинома:

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

где A, B – параметры:

$$A = a\alpha P / R^2 T^2 = 0,45724\alpha P_r / T_r^2, \quad (3)$$

$$B = bP / RT = 0,07780P_r / T_r \quad (4)$$

в критической точке:

$$a(T_c) = 0,45724R^2 T_c^2 / P_c, \quad (5)$$

$$b(T_c) = 0,07780RT_c / P_c, \quad (6)$$

При других значениях температуры значение параметра a определяется через α -функцию следующим образом:

$$a(T) = a(T_c)\alpha \quad (7)$$

В стандартном уравнении Пенга-Робинсона выражение α -функции для различных веществ получено при сопоставления с кривой давления пара до критической точки:

$$\alpha = \left[1 + m(\omega, T) \left(1 - T_r^{0,5} \right) \right]^2 \quad (8)$$

Параметр m при этом является функцией только фактора ацентричности ω :

$$m = 0,37464 + 1,54226\omega - 0,26992\omega^2 \quad (9)$$

$P_r = \frac{P}{P_c}$ – относительное давление; $T_r = \frac{T}{T_c}$ – относительная температура; P – рабочее давление, атм; T – рабочая температура, К; R – универсальная газовая постоянная, 82,04 см³ атм/(моль К); P_c – критическое давление, атм; T_c – критическая температура, К; z – сжимаемость, определяемая из уравнения (2), показатель степени которого равняется количеству агрегатных состояний; ω – фактор ацентричности; v – удельный объем агрегатного состояния, определяется как $v = \frac{zRT}{PM}$, м³/кг в зависимости от значения z ; M – относительная молекулярная масса, кг/кмоль; ρ – плотность, $\rho = \frac{1}{v}$, кг/м³; ($\omega_1 = 0,71$, $T_{c1} = 1042$ К и $P_{c1} = 8,2$ атм – для масла; $\omega_2 = 0,309$, $T_{c2} = 508,1$ К и $P_{c2} = 46,4$ атм – например, для растворителя (ацетона)).

Уравнение состояния Пенга-Робинсона (1) для смеси компонентов принимает вид:

$$P = \frac{RT}{(v-b_m)} - \frac{a_m}{v(v+b_m)+b_m(v-b_m)} \quad (10)$$

Различные правила объединения (смешивания) параметров компонентов используются для предсказания фазовых равновесий смесей, а смешивающее правило Ван-дер-Ваальса и его модификации получило наибольшее распространение [4]. Для описания фазового равновесия многокомпонентных систем достаточно параметров парного взаимодействия, определяемого по данным о бинарных системах.

$$a_m = \sum_i \sum_j x_i x_j (a_i a_j)^{0,5(1-k_{ij})} \quad (11)$$

$$b_m = \sum_i \sum_j x_i x_j \frac{(b_i + b_j)}{2} (1-l_{ij}) \quad (12)$$

где k_{ij} и l_{ij} коэффициенты взаимодействия, $k_{ij} = l_{ij} = 0$ когда $i = j$ – ($i = 1$ – масло; $i = 2$ – растворитель (ацетон));

Параметры данного уравнения были идентифицированы для системы масляно-ацетоновой мисцеллы [5], которая применяется при обосновании экстракционной технологии получения фосфолипидных продуктов. Таким образом, целесообразно применить данное уравнение для определения теплофизических свойств.

Основным параметром теплофизических свойств является полная энтальпия и скрытая теплота испарения (рисунки 1 и 2).

$$H = \Delta H \cdot y_2 + h \quad (13)$$

где ΔH – скрытая теплота испарения, кДж/кг; $y_2 = 1 - x_2$ концентрация растворителя в паровой фазе, кмоль/кмоль (1 – масло; 2 – растворитель (ацетон)); h – энтальпия смеси, кДж/кг.

Скрытая теплота испарения или парообразования может быть определена из уравнения Клаузиуса-Клайперона [3]:

$$\Delta H = R \cdot T \cdot \Delta Z \cdot \left(\frac{d \ln(P_i^o)}{d\left(\frac{1}{T}\right)} \right) \quad (14)$$

где P_i^o – давление паров компонента, определяемое по уравнению Антуана; ΔZ – разность коэффициентов сжимаемости жидкой и паровой фаз.

ΔZ – определяется из уравнения состояния Пенга-Робинсона.

$$\Delta Z = Z_{\max} - Z_{\min} \quad (15)$$

Численно продифференцируем множитель $d \ln(P_i^o) / d(1/T)$ уравнения (14) и полученные значения аппроксимируем функцией:

$$\left(\frac{d \ln(P_i^o)}{d(1/T)} \right) = -0,0118 \cdot T^2 + 10,546 \cdot T - 5892,8 \quad (16)$$

В результате было получено уравнение:

$$\Delta H = R \cdot T \cdot \Delta Z \cdot (-0,0118 \cdot T^2 + 10,546 \cdot T - 5892,8) \quad (17)$$

Энтальпия масляно-ацетоновой мисцеллы h рассчитывается по методу избыточных свойств, из которого определяется суммой избыточная энтальпии h^{ex} и энтальпией идеальной жидкости:

$$h = h^{ex} + \sum x_i \cdot h_i \quad (18)$$

где h_i энтальпия чистого i -компонента, Дж/моль; x_i – мольная доля i -компонента в смеси, кмоль/кмоль.

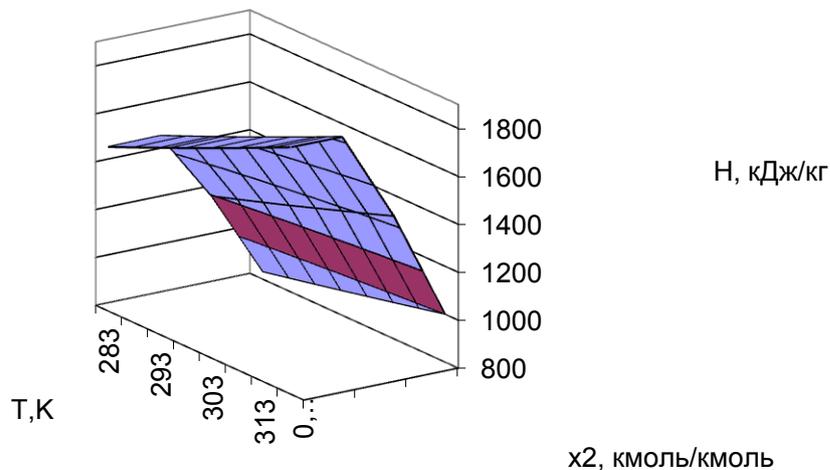


Рисунок 1. Расчетные значения H полной энтальпии масляно-ацетоновой мисцеллы кДж/кг

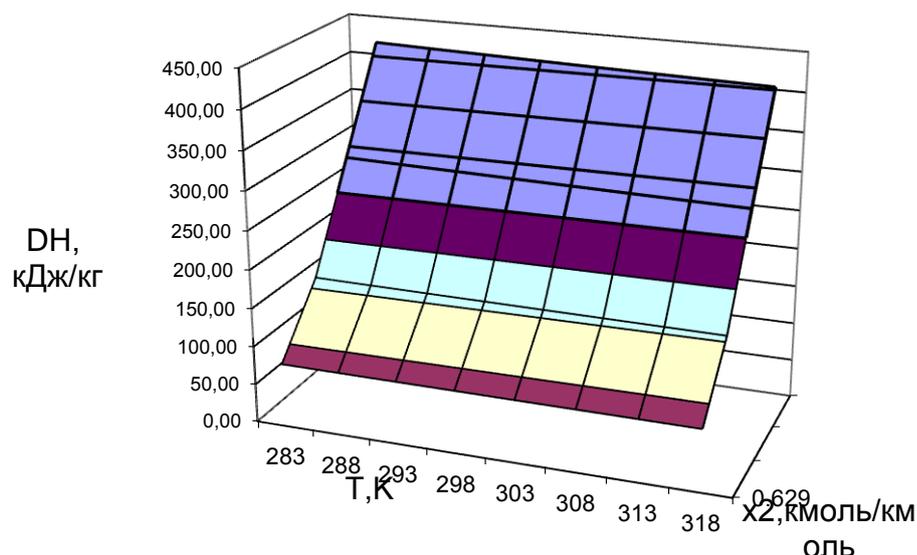


Рисунок 2. Расчетные значения ΔH скрытой теплоты парообразования мисцеллы, кДж/кг

Вывод:

В работе дана методика, по которой были определены теплофизические свойства мисцеллы: полная энтальпия H ; скрытая теплота парообразования мисцеллы ΔH . Данные свойства позволяют моделировать термодинамические процессы взаимодействия многокомпонентных систем экстракционной технологии расчет конструкции дистилляционного оборудования.

Литература:

1. Кошевой Е.П. Технологическое оборудование производства растительных масел. Москва: ЮРАЙТ, 2017. 368 с.
2. Модель процесса предварительной дистилляции масляных мисцелл в трубчатом элементе / Верещагин А.Г. [и др.] // Новые технологии. 2012. Вып. 1. С. 33-36.
3. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: справочное пособие / пер. с англ. под ред. Б.И. Соколова. 3-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Химия, 1982. 592 с.
4. Уэйлес С. Фазовые равновесия в химической технологии: в 2-х ч. Ч. 1. / пер. с англ. Москва: Мир, 1989. 304 с., ил.
5. Верещагин А.Г. Кошевой Е.П., Косачев В.С. Идентификация параметров уравнения состояния Пенга-Робинсона для масляно-ацетоновой мисцеллы // Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: материалы международной научно-практической конференции. Краснодар, 2011. С. 161-165.
6. Схаляхов А.А., Бутина Е.А., Верещагин А.Г. Обоснование системы процессов получения фосфолипидных продуктов и биодизеля при переработке отходов гидратации масла // Новые технологии. 2009. Вып. 3. С. 39-42.

Literature:

1. Koshevoy E.P. Technological equipment for the production of vegetable oils. Moscow: YURAYT, 2017. 368 p.
2. Model of the process of preliminary distillation of oil miscella in a tubular element / Vereshchagin A.G. [and others] // New technologies. 2012. Issue. 1. P. 33-36.

3. Reed R., Prausnitz J., Sherwood T. *Properties of gases and liquids: reference book / transl. from English ed. by B.I. Sokolov. 3d ed., rev. And add. Leningrad: Chemistry, 1982. 592 p.*

4. Weiles S. *Phase equilibrium in chemical technology: in 2 p. P.1. / Trans. From English. Moscow: Mir, 1989. 304 p., Ill.*

5. Vereshchagin A.G., Koshevoy E.P., Kosachev V.S. *Identification of the parameters of the Peng-Robinson equation of state for oil-acetone miscella // Innovative food technologies in the field of storage and processing of agricultural raw materials: materials of the international scientific-practical conference. Krasnodar, 2011. P. 161-165.*

6. Skhalyakhov A.A., Butina E.A., Vereshchagin A.G. *Substantiation of the system of processes for obtaining phospholipid products and biodiesel during processing of oil hydration waste // New technologies. 2009. Issue. 3. P. 39-42.*