

Меретуков Заур Айдамирович, кандидат технических наук, докторант кафедры технологии, машин и оборудования пищевых производств Майкопского государственного технологического университета, e-mail: zamer@radnet.ru;

Кошевой Евгений Пантелеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машины и аппараты пищевых производств Кубанского государственного технологического университета, e-mail: Koshevoi@kubstu.ru;

Косачев Вячеслав Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств факультета машиностроения и автосервиса Кубанского государственного технологического университет, т.: (861) 275-22-79.

ПЛОТНОСТЬ И ВЯЗКОСТЬ РАСТВОРОВ ДВУОКСИ УГЛЕРОДА В РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЛАХ ПРИ ПРЕССОВАНИИ МАСЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

(рецензирована)

Целью работы является получение достаточно точной зависимости для расчета плотности и вязкости растворов растительных масел в двуокиси углерода. Оценку полученной модели проводили сравнением результатов с известными экспериментальными данными.

Ключевые слова: растительные масла, отжим, плотность, вязкость, температура.

Meretukov Zaur Aydamirovich, Candidate of Technical Sciences, doctoral student of the Department of Technology, Machinery and Equipment of Food Production, Maikop State Technological University, e-mail: zamer@radnet.ru;

Koshevoi Eugene Panteleevich, Doctor of Technical Sciences, professor, head of the Department of Technology, Machinery and Equipment of Food Production, Maikop State Technological University, e-mail: Koshevoi@kubstu.ru;

Kosachev Vyacheslav Stepanovich, Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Food Machinery and Apparatus of the Faculty of Machine Building and Service of the Kuban State Technological University, tel: (861) 275-22-79.

DENSITY AND VISCOSITY OF THE SOLUTIONS OF CARBON DIOXIDE IN VEGETABLE OILS WHEN PRESSING OIL MATERIALS

(reviewed)

The aim is to obtain a sufficiently accurate calculating of the dependence of the density and viscosity of vegetable oils in carbon dioxide. Evaluation of the resulting model has been performed by comparing the results with available experimental data.

Keywords: vegetable oil extraction, density, viscosity and temperature.

Для извлечения ценных веществ из растительных материалов технология экстракции двуокисью углерода получает все большее распространение [1]. При экстракции CO₂ в сверхкритическом состоянии возможен высокий выход растительных масел [2], однако растворимость масел при обычных используемых режимах (25-30 МПа, 40-60°C) низкая (0,5-1,5 % веса), что требует высоких расходов двуокиси углерода, энергетических затрат и капитальных вложений.

Перспективным является применение отжима для извлечения растительных масел [3] предварительно получив раствор в двуокиси углерода в пористом масляном материале.

Физико-химические свойства отжимаемой фазы, прежде всего плотность и вязкость оказывают влияние на процесс отжима. Плотность связана с занимаемым объемом отжимаемой фазы в деформируемой структуре. Вязкость определяет сопротивление течению отжимаемой фазы в каналах деформируемой структуры.

Свойства плотности и вязкости растительных масел [4,5] могут быть представлены уравнениями в зависимости от температуры

$$\rho = \rho_0 - m T \quad (1); \quad \mu = \mu_0 \exp(w/T) \quad (2)$$

где T - температура, К; ρ_0 и m - коэффициенты для ρ ; μ_0 и w - коэффициенты для μ .

Таблица 1 - Коэффициенты уравнений (1) и (2) и молекулярная масса растительных масел

Наименование масел	Плотность		Вязкость		Молекулярная масса масел MW_{oil}
	ρ_0	m	μ_0	w	
Подсолнечное	1131	0,699	2,69379	2890,42	878,37
Рапсовое	1102	0,655	1,75297	3156,39	973,03
Соевое	1117	0,668	2,37076	2960,9	878,56

Льняное	1126	0,673	1,6125	3032,8	878,75
Кунжутное	1115	0,671	0,5276	3486,37	877,49
Пальмоядровое	1109	0,673	0,6236	3471,76	724,04
Какао	1107	0,677	0,6533	3480,4	867,36

Предложенная регрессионная модель [6]

$$x(P, T) = \frac{0.0259 \cdot T - 9.4152}{0.0264 \cdot T - 9.6074} - \frac{0.0259 \cdot T - 9.4152}{0.0264 \cdot T + (0.0149 \cdot T - 5.3500) \cdot P - 9.6074} \quad (3)$$

описывает изменение растворимости в пределах температуры от 313 до 353 К и давления от 16 до 65 МПа и может быть использована для расчета плотности и вязкости раствора двуокиси углерода в растительных маслах.

Изменение плотности CO_2 от давления и температуры определяли по литературным данным [7] и представляли сплайнами.

Наиболее полные данные по плотности масел в зависимости от температуры и давления получены для масла какао [8], которые представлены в таблице 2 и сравнены с расчетными. Предложено описать данные по плотности зависимостью

$$\rho_{\text{масла}} = (\rho_0 - m \cdot T) \cdot [1 + b_p \cdot (P - 0,1) - b_t \cdot T + b_{pt} \cdot (P - 0,1) \cdot T] \quad (4)$$

где $\rho_0 = 1107$ и $m = 0,677$ – коэффициенты для масла какао $\rho_{\text{масла}}$ при атмосферном давлении; коэффициенты $b_p = 1,685 \cdot 10^{-4}$; $b_t = 1,38 \cdot 10^{-5}$; $b_{pt} = 2,1 \cdot 10^{-6}$.

Таблица 2 - Экспериментальные и расчетные значения плотности масла какао

Температура								
313 К			323 К			353 К		
P(МПа)	ρ_s , кг/м ³	ρ_D , кг/м ³	P(МПа)	ρ_s , кг/м ³	ρ_D , кг/м ³	P(МПа)	ρ_s , кг/м ³	ρ_D , кг/м ³
0,1	894,76	894,86	0,1	888,54	888,18	0,1	868,14	868,14
5,17	897,48	897,53	5,18	891,48	890,97	5,26	871,70	871,32
10,12	899,50	900,14	10,15	892,52	893,70	10,28	874,99	874,42
15,19	901,84	902,82	15,14	897,68	896,45	15,28	877,06	877,51
20,12	905,01	905,42	20,07	900,06	899,16	20,27	879,98	880,58
25,07	908,08	908,03	25,01	902,76	901,87	25,24	883,65	883,65

Видно, что с ростом температуры плотность масла уменьшается, а с ростом давления увеличивается.

Зависимость (4) с высокой точностью описывает экспериментальные данные, множитель в квадратных скобках, который, как принято, учитывает вклад области повышенного давления в среднем по всем экспериментальным данным для растительных масел. Специфичными для каждого масла являются параметры плотности масла по зависимости (1) из таблицы 1.

В результате обработки экспериментальных данных получена зависимость плотности раствора двуокиси углерода в масле

$$\rho_{\text{смеси}} = \rho_{\text{масла}} \cdot (1 + b_x \cdot x) \quad (5)$$

По данным в диапазоне давления $P=0,1 \div 26$ МПа и температуры $T=323 \div 346$ К определен коэффициент $b_x=0,004$. При этом $\rho_{\text{масла}}$ определяется по уравнению (4), а x по уравнению (3). Отклонение от экспериментальных данных для масла какао не превышает 2%.

Полученные зависимости могут быть использованы для расчета объемного расширения при образовании раствора двуокиси углерода в масле по соотношению предложенному в работе [8]

$$E(\%) = \left(\frac{\rho_{\text{масла}}(T, P)}{\rho_{\text{смеси}}(T, P)} \left(\frac{1}{1 - \bar{x}_{\text{CO}_2}(T, P)} \right) - 1 \right) \cdot 100 \quad (6)$$

Как видно из рисунка 1 наибольшее расширение $E_{\text{макс}}$ наблюдается при высоких давлениях и низких температурах.

Другим фактором, влияющим на процесс извлечения масла прессованием, является вязкость отжимаемой фазы, снижение которой при образовании раствора увеличивает скорость этого процесса. Расчет вязкости смеси осуществлялся по формуле [9]

$$\text{Ln}[\mu_{\text{mix}}(T, P)] = x_{\text{CO}_2} \cdot \text{Ln}(\mu_{\text{CO}_2}) + (1 - x_{\text{CO}_2}) \cdot \text{Ln}(\mu_{\text{кокоа}}) + x_{\text{CO}_2} \cdot (1 - x_{\text{CO}_2}) \cdot G_{w12}(T) \quad (7)$$

где G_{w12} – бинарный параметр, зависимость которого, как установлено, носит весьма сложный характер.

Упрощенная (без учета вязкости чистой двуокиси углерода) и достаточно точная зависимость вязкости раствора двуокиси углерода в масле предложена в работе [8]:

$$\text{Ln}[\mu_{\text{mix}}(T, P)] = \text{Ln}[\mu_{\text{oil}}(T, P_0)] + x_{\text{CO}_2} \cdot A_{w12}(T, P) \quad (8)$$

Зависимость параметра A_{w12} имеет малую величину отклонений, что позволяет усреднить его по давлению и описать зависимостью от температуры.

Зависимость вязкости бинарного раствора масла в CO_2 от температуры и давления представлена на рисунке 2.

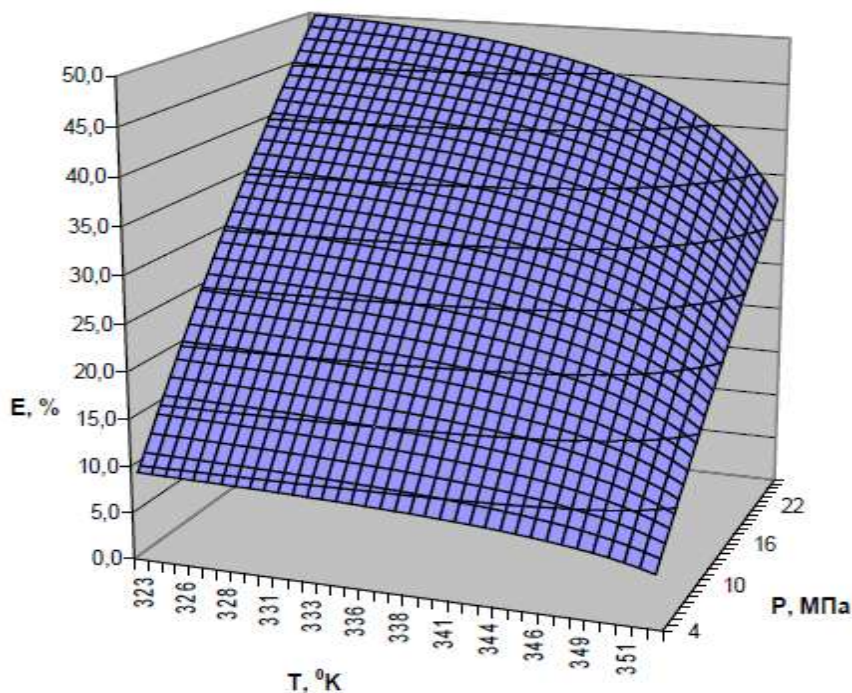


Рис. 1. Объемное расширение растворов двуокиси углерода и масла в зависимости от давления и температуры

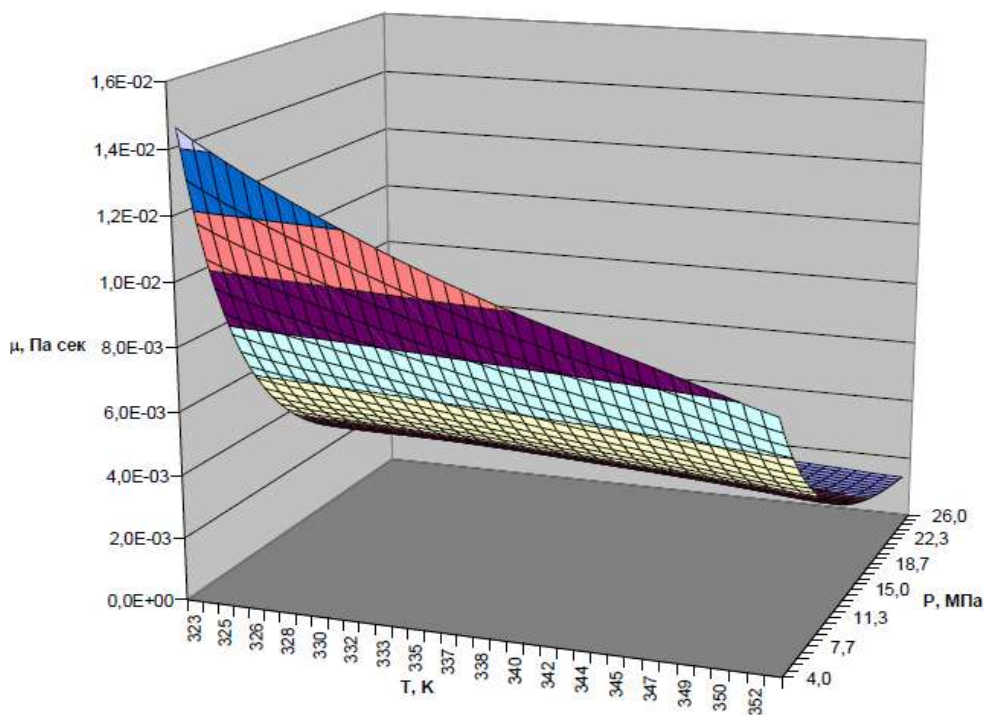


Рис. 2. Зависимость вязкости раствора двуокиси углерода в масле какао от давления и температуры (расчет по уравнению 8)

Следовательно, расчет вязкости от изучаемых параметров может быть выполнен по формуле

$$\mu_{mix}(T, P) = \mu_{oil}(T, P_0) \cdot \exp(Aw_{avg12}(T) \cdot x_{CO_2}(T, P)) \quad (9)$$

где $Aw_{avg12}(T)$ - бинарный параметр, учитывающий изменение от температуры выражается формулой

$$Aw_{avg12}(T) = -8,0895 \cdot 10^{-7} \cdot T^5 + 1,3567 \cdot 10^{-3} \cdot T^4 - 0,91 \cdot T^3 + 305,2 \cdot T^2 - 51171 \cdot T + 3431372$$

ВЫВОД

Получены зависимости для расчета плотности и вязкости раствора двуокиси углерода и растительных масел, необходимые для анализа нового способа извлечения растительных масел прессованием масличных материалов.

Литература:

1. Кошевой Е.П., Блягз Х.Р. Экстракция двуокисью углерода в пищевой технологии. Майкоп: Адыгея, 2000. 495 с.

2. Eggers R., Sievers U., Stein W. High Pressure Extraction of Oil Seed JAOCS, 1985, Vol. 62, no. 8 (August).
3. Способ отжима масла из масличного материала: пат. 2292384 Рос. Федерация: МПК С11В001/06 / Кошевой Е.П., Калиниченко С.С., Латин Н.Н., Чундышко В. Ю.; заявитель и патентообладатель Кубан. гос. технол. ун-т. № 2005121348/13, Бюл. 2007. 4. Nouredдини Н., Тео В.С., Clements L. D. Densities of Vegetable Oils and Fatty Acids. JAOCS. 1992, Vol. 69, no, 12 (December) 1184-1188.
5. Nouredдини Н., Тео В.С., Clements L. D. Viscosities of Vegetable Oils and Fatty Acids. JAOCS. 1992, Vol. 69, no, 12 (December) 1189-1191.
6. Меретуков З.А., Кошевой Е.П., Косачев В.С. Оценка растворимости двуокиси углерода в растительных маслах (в печати).
7. Алтунин В.В. Теплофизические свойства двуокиси углерода. М.: Издательство стандартов, 1975. 546 с.
8. Calvignac B., Rodier E., Letourneau J.-J., dos Santos P.M.A., Fages J. Cocoa Butter Saturated with Supercritical Carbon Dioxide: Measurements and Modelling of Solubility, Volumetric Expansion, Density and Viscosity. International Journal of Chemical Reactor Engineering, 2010, V. 8, A73
9. Grunberg L., Nissan A. H., Mixture Law for Viscosity, Nature, 1949, 164, 799800.

References:

1. Koshevoi E.P., Blyagoz H.R. Extraction by carbon dioxide in food technology. Maikop: Adyghea. 2000. 495 p.
2. Eggers R., Sievers U., Stein W. High Pressure Extraction of Oil Seed JAOCS, 1985, Vol. 62, no. 8 (August).
3. The way of extraction of oil from oil-bearing material: pat. 2292384 of the RF: MPK S11B001/06/ Koshevoi E.P., Kalinichenko S.S., Latin N.N., Chundishko V.Y.; Patent owner Kuban State Tech. Univ.. № 2005121348/13, Bull. 2007.
4. Nouredдини H., Teoh B.C., Clements L. D. Densities of Vegetable Oils and Fatty Acids. JAOCS. 1992, Vol. 69, no, 12 (December) 1184-1188.
5. Nouredдини H., Teoh B.C., Clements L. D. Viscosities of Vegetable Oils and Fatty Acids. JAOCS. 1992, Vol. 69, no, 12 (December) 1189-1191.
6. Meretukov Z.A., Koshevoi E.P., Kosachev V.S. Assessment of solubility of carbon dioxide in vegetable oils. (In pub).
7. Altunin V. V. Thermophysical properties of carbon dioxide. - M.: Publishing Standards. 1975. 546 p.
8. Calvignac B., Rodier E., Letourneau J.-J., dos Santos PMA, Fages J. Cocoa Butter Saturated with Supercritical Carbon Dioxide: Measurements and Modelling of Solubility, Volumetric Expansion, Density and Viscosity. International Journal of Chemical Reactor Engineering, 2010, V. 8, A73.
9. Grunberg L., Nissan A. H., Mixture Law for Viscosity, Nature, 1949, 164, 799 800.