

УДК 664.34:611.97
ББК 35.782
М 52

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

Косевои 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.

ОЦЕНКА РАСТВОРИМОСТИ ДВУОКСИ УГЛЕРОДА В РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЛАХ (рецензирована)

Целью работы является определение растворимости двуокиси углерода в различных растительных маслах при изменении давления и температуры. В работе представлен вариант модели, полученной с учетом известных экспериментальных данных по различным видам масла.

Ключевые слова: растительные масла, растворимость, давление, 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.

ASSESSMENT OF CARBON DIOXIDE SOLUBILITY IN VEGETABLE OILS (reviewed)

The aim is to determine the solubility of carbon dioxide in various vegetable oils when changing pressure and temperature. This paper presents a variant of the model obtained with experimental data on various types of oil.

Keywords: vegetable oils, solubility, pressure and temperature.

Эффективность технологии экстракции растительных масел может быть существенно увеличена, если не создавать внешний объем растворителя, а получив раствор растительных масел в двуокиси углерода в пористом материале, применить отжим для его извлечения [1]. Такое ведение процесса резко сократит количество используемого растворителя и интенсифицирует процесс.

Важным является определение растворимости двуокиси углерода в растительных маслах. Это определит затраты растворителя и свойства получаемых растворов.

При определении растворимости наряду с экспериментальными методами, которые являются трудоемкими и дорогими, развиваются расчетные методы. Известны работы [2] основанные на применении уравнений состояния. Однако точность таких методов невысока без соответствующих корректировок по имеющимся отдельным экспериментальным измерениям.

В данной работе предпринята попытка обобщить известные экспериментальные данные по растворимости двуокиси углерода в растительных маслах. Известные экспериментальные данные растворимости двуокиси углерода, выраженной для разных масел (пальмоядровое, льняное, какао), существенно отличающихся по молекулярному весу, в мольных долях, при температуре 313К представлены на рисунке 1. На рисунке 1 видно, что между различными маслами практически нет разницы по растворимости в них двуокиси углерода. Предложено описать эту зависимость уравнением вида

$$x_{CO_2} = \frac{c}{a + b \cdot P} - \frac{c}{a} \quad (1)$$

где a, b, c – регрессионные параметры уравнения.

Таким образом, для этой температуры установлены значения коэффициентов a=-1,3292; b=0,6759; c=1,3026 и получена регрессионная зависимость мольной растворимости CO₂ в масле следующего вида

$$x \text{ } P, \text{ МПа}; T = 313\text{К} = \frac{1,3026}{0,6759 \cdot P - 1,3292} + \frac{1,3026}{1,3292} \quad (2)$$

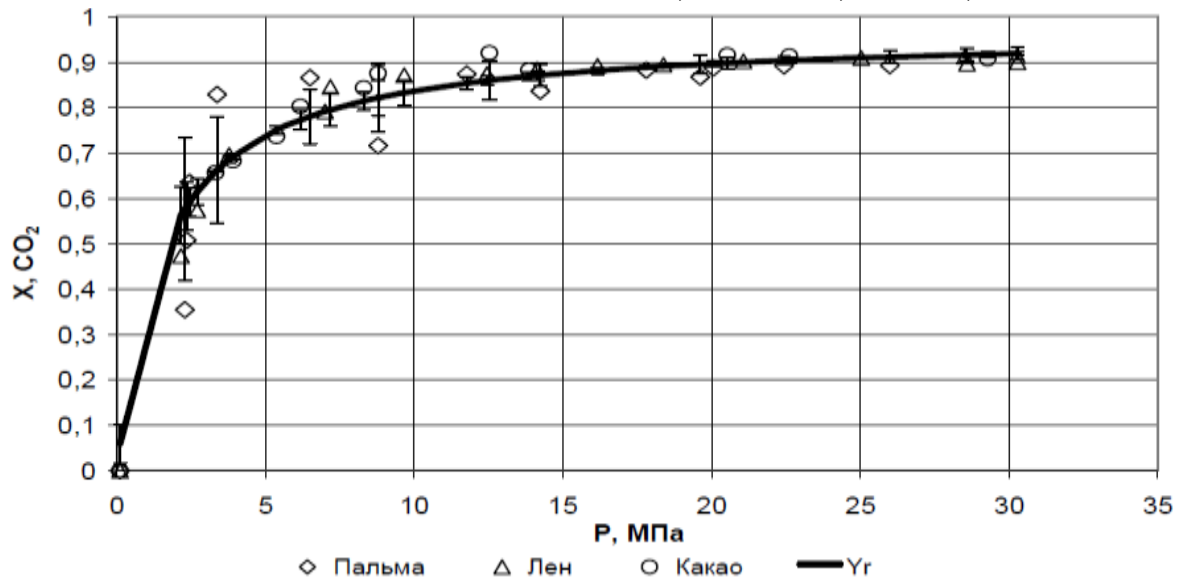


Рис. 1. Растворимость CO_2 (мольные доли) в растительных маслах при температуре 313К

Выбор данного уравнения обусловлен его хорошими экстраполяционными свойствами. А именно при давлении, стремящемся к нулю, растворимость стремится к нулю, а при росте давления к отношению параметров $(-c/a)$, предельная мольная растворимость CO_2 в масле равна 0,98 молей для различных масел.

На рисунке 2 представлены данные растворимости масла какао при температурах 313 К и 353 К [3].

Из рисунков 1 и 2 видно, что растворимость растет с ростом давления и в диапазоне давлений 15÷30 МПа рост незначителен, а увеличение температуры ведет к уменьшению растворимости CO_2 в масле.

Аналогично (1) для температуры 353 К установлены значения коэффициентов $a=-0,2712$; $b=0,0785$; $c=0,2658$ и получена регрессионная зависимость мольной растворимости CO_2 в масле следующего вида

$$x \text{ } P, \text{ МПа}; T = 353\text{К} = \frac{0,2658}{0,0785 \cdot P - 0,2712} + \frac{0,2658}{0,2712} \quad (3)$$

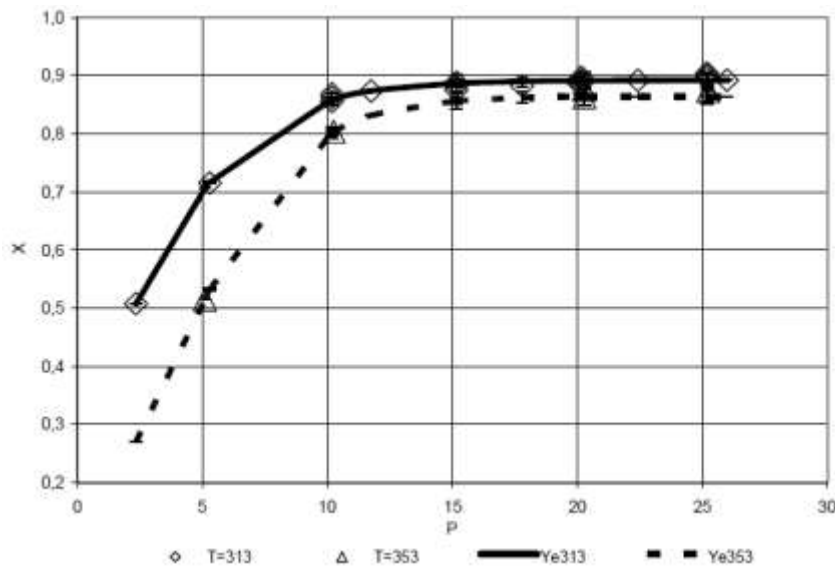


Рис. 2. Растворимость CO_2 в масле какао при температурах 313К и 353К

Из данного уравнения следует, что предельная мольная растворимость CO_2 в масле при температуре 353К совпадает с предельной растворимостью при 313К и равна 0,98 молей для различных масел. Следовательно, предельная растворимость не зависит от температуры или эта зависимость статистически не различима для взятых экспериментальных данных. В качестве модельного обобщения используем следующее регрессионное представление зависимости растворимости от давления и температуры

$$x \text{ } P, T = \frac{c \ T}{a \ T + b \ T \cdot P} - \frac{c \ T}{a \ T} \quad (4)$$

где температурные функции линейны $c(t)=c_a \cdot t+c_b$; $a(t)=a_a \cdot t+a_b$; $b(t)=b_a \cdot t+b_b$ значения этих температурных функций для двух температур соответственно

$$c(313) = C_{313} \quad a(313) = A_{313} \quad b(313) = B_{313}$$

$$c(353) = C_{353} \quad a(353) = A_{353} \quad b(353) = B_{353}$$

тогда коэффициенты линейных функций описываются следующим вектором

$$\begin{pmatrix} c_a \\ c_b \\ a_a \\ a_b \\ b_a \\ b_b \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} \frac{C_{353}}{40} - \frac{C_{313}}{40} \\ \frac{353 \cdot C_{313}}{40} - \frac{313 \cdot C_{353}}{40} \\ \frac{A_{353}}{40} - \frac{A_{313}}{40} \\ \frac{353 \cdot A_{313}}{40} - \frac{313 \cdot A_{353}}{40} \\ \frac{B_{353}}{40} - \frac{B_{313}}{40} \\ \frac{353 \cdot B_{313}}{40} - \frac{313 \cdot B_{353}}{40} \end{pmatrix}$$

в этом случае искомая зависимость примет вид

$$X_m(p, t) = \frac{313 \cdot C_{353} - 353 \cdot C_{313} + t \cdot \{C_{313} - C_{353}\}}{313 \cdot A_{353} - 353 \cdot A_{313} + p \cdot \{313 \cdot B_{353} - 353 \cdot B_{313} + t \cdot \{B_{313} - B_{353}\} + t \cdot \{A_{313} - A_{353}\}} - \frac{313 \cdot C_{353} - 353 \cdot C_{313} + t \cdot \{C_{313} - C_{353}\}}{313 \cdot A_{353} - 353 \cdot A_{313} + t \cdot \{A_{313} - A_{353}\}}$$

объединяя константные параметры данной зависимости

$$\begin{aligned} c_{at} &= C_{313} - C_{353} \\ c_{bt} &= 313 \cdot C_{353} - 353 \cdot C_{313} \\ a_{at} &= A_{313} - A_{353} \\ a_{bt} &= 313 \cdot A_{353} - 353 \cdot A_{313} \\ b_p &= 313 \cdot B_{353} - 353 \cdot B_{313} \\ b_{pt} &= B_{313} - B_{353} \end{aligned}$$

после алгебраических преобразований окончательно получаем зависимость

$$x_{P,T} = \frac{c_{at} \cdot T + c_{bt}}{a_{bt} + b_p + b_{pt} \cdot T} \cdot P + \frac{c_{at} \cdot T + c_{bt}}{a_{at} \cdot T + a_{bt}} \quad (5)$$

Подставляя численные значения, после преобразований, окончательно получаем

$$x_{P,T} = \frac{0.0259 \cdot T - 9.4152}{0.0264 \cdot T - 9.6074} - \frac{0.0259 \cdot T - 9.4152}{0.0264 \cdot T + 0.0149 \cdot T - 5.3500} \cdot P - 9.6074 \quad (6)$$

В таблице 1 приведено сравнение расчетных значений растворимости CO₂ в масле по уравнению (6), которое получено на основе экспериментальных данных по маслу какао, и экспериментальных данных по растворимости CO₂ в триолеине [4,5].

Таблица 1 - Сравнение расчетных значений растворимости CO₂ в масле какао по уравнению (6) и экспериментальных данных по растворимости CO₂ в триолеине

температура, К	масло	давление, МПа			
		16	34	47	65
313	Триолеин	0,87	0,91	0,93	0,95
	Какао	0,87	0,93	0,94	0,95
321	Триолеин	0,86	0,90	0,92	0,94
	Какао	0,87	0,93	0,94	0,95
329	Триолеин	0,85	0,90	0,92	0,94
	Какао	0,87	0,92	0,94	0,95

337	Триолеин	0,85	0,90	0,92	0,95
	Какао	0,86	0,92	0,94	0,95
345	Триолеин	0,84	0,90	0,92	0,95
	Какао	0,85	0,91	0,93	0,94
353	Триолеин	0,83	0,90	0,93	0,96
	Какао	0,81	0,89	0,91	0,93

Как видно из представленных данных отмечается удовлетворительное совпадение, а наблюдаемые отклонения объясняются качеством экспериментальных данных. При этом максимальное отклонение модели от эксперимента не превышает 3,5 %; Среднее отклонение по области адекватности модели равно 1,56 %; стандартное отклонение модели от экспериментальных данных составляет 0,77 %.

Следовательно, предлагаемая регрессионная модель описывает изменение растворимости в указанных пределах и может быть использована для расчета свойств раствора двуокиси углерода в маслах в пределах температуры от 313 до 353 К и давления от 16 до 65 МПа.

Учитывая удовлетворительное совпадение мольной растворимости для различных растительных масел было промоделировано с использованием зависимости (6) концентрационное поле мольной растворимости CO_2 в растительных маслах в широком диапазоне температур и давлений (рисунок 3). Видно, что растворимость растет с уменьшением температуры и увеличением давления, предел роста отмечается ниже 313К и выше 20 МПа.

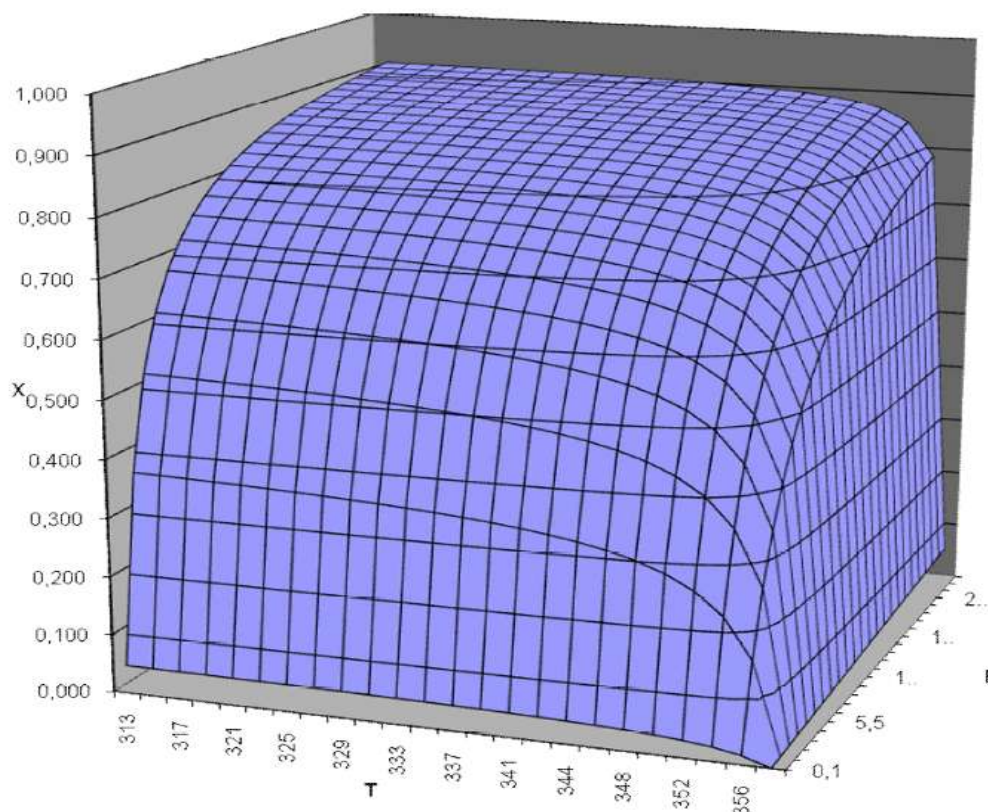


Рис. 3. Растворимость CO_2 в растительных маслах в зависимости от температуры и давления

ВЫВОДЫ

1. Зависимость растворимости двуокиси углерода в различных растительных маслах при представлении концентрации в мольных долях получается единой.
2. Полученная регрессионная модель описывает изменение растворимости в указанных пределах и может быть использована для расчета свойств раствора двуокиси углерода в маслах в пределах температуры от 313 до 353 К и давления от 16 до 65 МПа.
3. Растворимость двуокиси углерода в различных растительных маслах растет с уменьшением температуры и увеличением давления, предел роста отмечается ниже 313К и выше 20 МПа.

Литература:

1. Способ отжима масла из масличного материала: пат. 2292384 Рос. Федерация: МПК С11В001/06 / Кошевой Е.П., Калининченко С.С., Латин Н.Н., Чундышко В. Ю.; заявитель и патентообладатель Кубан. гос. технол. ун-т. № 2005121348/13, Бюл. 2007.
2. Кошевой Е.П., Блягоз Х.Р. Экстракция двуокисью углерода в пищевой технологии. Майкоп: Адыгея, 2000. 495 с.

3. 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.

4. Willems P. Gas Assisted Mechanical Expression of Oilseeds. Proefschrift, Universiteit Twente, ISBN Nederland, 2007. P.104.

5. Capolupo T. Fractionation of liquid charges in continuous column with Supercritical Fluid. *Universita Degli*, 2006. P.124.

References:

1. *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.*

2. Koshevoi E.P., Blyagoz H.R. *Extraction of carbon dioxide in food technology. Maikop: Adyghea. 2000. 495 p.*

3. 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.

4. Willems, P. Gas Assisted Mechanical Expression of Oilseeds. Proefschrift, Universiteit Twente, ISBN Nederland, 2007. p.104.

5. Capolupo T. Fractionation of liquid charges in continuous column with Supercritical Fluid. *Universita Degli*, 2006. p.124.