

Ш. А. Бикташев, Р. Р. Накипов, И. Р. Габитов,
Р. А. Усманов, З. И. Зарипов

КОЭФФИЦИЕНТЫ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ РЫБЬЕГО ЖИРА В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 298-363 К И ДАВЛЕНИЙ ДО 30 МПа

Ключевые слова: коэффициент теплопроводности, омега-3, рыбий жир.

Приведены результаты экспериментального исследования коэффициентов теплопроводности рыбьего жира.

Keywords: heat conductivity, omega-3, fish oil.

The results of experimental investigation of fish oil's heat conductivity are presented.

Введение

Исследованию влияния омега-3 жирных кислот на организм человека было посвящено множество работ [1, 2]. В данных исследованиях говорится о положительном влиянии от употребления человеком рыбьего жира, основного источника омега-3, на поддержание здоровья и профилактики различных заболеваний. В частности, предотвращение сердечного приступа, снижение уровня холестерина в крови, помощь организму в лечении аритмии, атеросклероза, воспалительных процессов, онкологических заболеваний [3].

Важнейшими омега-3 полиненасыщенными жирными кислотами являются: альфа-линоленовая кислота (АЛК), эйкозапентаеновая кислота (ЭПК) и докозагексаеновая кислота (ДГК).

Альфа-линоленовая кислота, 18:2 омега-3



Эйкозапентаеновая кислота, 20:5 омега-3



Докозагексаеновая кислота, 22:6 омега-3



Рис. 1 - Структура основных омега-3 полиненасыщенных жирных кислот

До недавнего времени основным источником омега-3 в фармацевтике являлся рыбий жир. Однако данные жирные кислоты не синтезируются организмами рыб, они поступают туда вместе с микроводорослями. В настоящее время именно микроводоросли являются основным источником жирных кислот омега-3. Для извлечения этих ценных компонентов применяют различные виды экстракции. Наиболее совершенным на данный момент считается сверхкритическая флюидная экстракция с диоксидом углерода в качестве экстрагента [4, 5, 6]. Эффективное экстрагирование характеризуется максимальным выходом целевого компонента, а также оптимальными по энергозатратам параметрами проведения процесса.

Для определения оптимальных параметров проведения процесса, в том числе необходимы данные по теплофизическим свойствам компонентов системы. Данная работа посвящена исследованию коэффициентов теплопроводности рыбьего жира, данные по которым отсутствуют литературе.

Материалы и методы исследования

В качестве исследуемого вещества используется рыбий жир OMEGA-3 "950" ($n_D^{25} = 1,4792$, $\rho_4^{25} = 904,8$ кг/м³), производитель SOLGAR VITAMINE AND HERB, со следующим составом: эйкозапентаеновая кислота (ЭПК) 53,05 % (масс.), докозагексаеновая кислота (ДГК) 39,79 % (масс.), вспомогательные вещества (желатин, глицерин, смесь токоферолов) 7,16 % (масс.).

Исследования коэффициентов теплопроводности были проведены на автоматизированной экспериментальной установке, реализующей метод нагретой нити [7].

Расчетная формула метода имеет вид:

$$\lambda = A_1 \frac{Q}{\Delta t} \quad (1)$$

где λ - коэффициент теплопроводности исследуемого образца, Вт/(м•К), $A_1 = \frac{1}{2\pi l} \ln \frac{d_2}{d_1}$ -

геометрическая постоянная измерительной трубки, 1/м; $Q = I_{np} \cdot U_{np}$ - количество тепла, выделяемое нагревателем, ватт; $\Delta t = t_{np} - t_{ст}$ - перепад температур в слое исследуемой жидкости; t_{np} - температура нагретой нити; $t_{ст}$ - температура стенки.

Для проверки работоспособности экспериментальной установки были проведены контрольные измерения по определению коэффициентов теплопроводности октана ($n_D^{20} = 1,3974$), толуола марки ЧДА, воздуха и дистиллированной воды ($n_D^{20} = 1,3331$; $\rho_4^{20} = 998,2$ кг/м³) в диапазоне температур 275-350 К и давлений до 20 МПа [8, 9].

Результаты контрольных измерений показали отклонение от литературных данных в пределах суммарных ошибок измерения [10, 11].

Экспериментальная часть

Исследование теплопроводности рыбьего жира в интервале температур 298-363 К и давлений до 30 МПа было проведено на экспериментальной

установке, реализующей метод нагретой нити, конструкция основных узлов которой, а также расчетная формула метода измерения и методика подробно описаны в [8, 12].

Результаты исследования и обсуждение

В общем случае, для большинства жидкостей, теплопроводность снижается с ростом температуры и возрастает с ростом давления. Данное поведение обусловлено изменением в расстоянии между молекулами вещества, что имеет существенное влияние на перенос тепла от одного изотермического слоя к другому.

Анализ результатов экспериментальных данных показывает, что данная закономерность сохраняется и в нашем случае. Как видно из рисунка 2, для исследуемого образца рыбьего жира зависимость теплопроводности от давления имеет практически линейный характер.

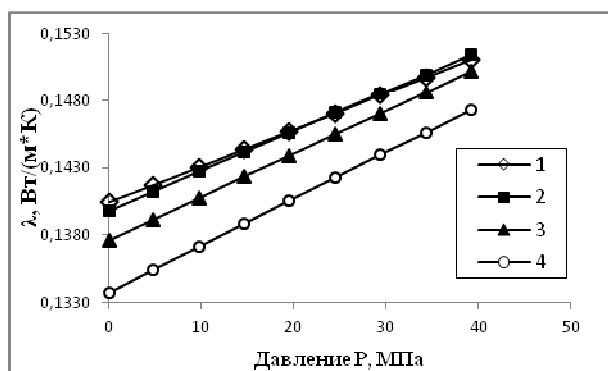


Рис. 2 - Зависимость коэффициента теплопроводности λ исследуемого образца от давления P при температуре: 1 - 313К; 2 - 333К; 3 - 353К; 4 - 373К

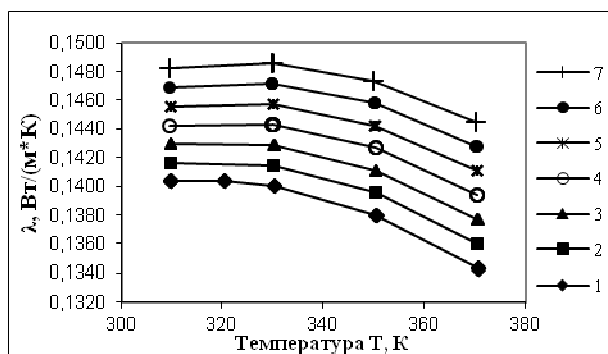


Рис. 3 - Зависимость коэффициента теплопроводности λ исследуемого образца от температуры при давлениях: 1 - 0,098 МПа; 2 - 4,9 МПа; 3 - 9,8 МПа; 4 - 14,7 МПа; 5- 19,6 МПа; 6 - 24,5 МПа; 7 - 29,4 МПа

Рисунок 3 показывает нелинейное поведение зависимости теплопроводности от температуры. В начале диапазона наблюдается небольшой рост (1-1,5 %) с максимумом при температуре 330К, затем с ростом температуры теплопроводность снижается. Такое поведение характерно для ассоциированных жидкостей с ОН группой.

Для описания экспериментальных данных было использовано уравнение Тейт-типа (2). Данные уравнения были неоднократно успешно использованы для описания различных термодинамических [13] и переносных свойств (вязкость, теплопроводность) [14].

$$\lambda(T, p) = \lambda(T, p_0) \left[1 - A \ln \frac{B + p}{B + p_0} \right] \quad (2)$$

где $\lambda(T, p)$ - коэффициент теплопроводности исследуемого вещества при параметрах температуры T и давления p ; $\lambda(T, p_0)$ - коэффициент теплопроводности исследуемого вещества при температуре и давлении p_0 ; p_0 - атмосферное давление = 0,098 МПа; A и B - параметры уравнения, приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры уравнения Тейта

T, К	A	B
313,15	0,4995	259,88
333,15	0,6457	308,65
353,15	0,5139	220,11
363,15	0,473	191,25
373,15	0,5084	197,02

Рассчитанные по уравнению Тейта значения коэффициентов теплопроводности хорошо согласуются с данными, полученными эмпирически с предельным отклонением в 2%, что говорит о возможности использования данного уравнения для прогнозирования значений коэффициентов теплопроводности в более широком диапазоне изменения параметров состояния.

Заключение

В настоящей работе на основе экспериментальных данных установлена закономерность изменения коэффициентов теплопроводности рыбьего жира OMEGA-3 "950" от давления и температуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-03-12078 офи-м).

Литература

1. W.E.M Lands, *Fish, Omega-3 and human health, second edition*. AOCS Publishing, Orlando, 1986. 235 с.;
2. J.E. Kinsella, *Seafood and Fish oils in Human health and Disease*. Marcel Dekker Inc., New York, 1987. 317с.;
3. D. Scott, K. Srirama, Carani B. Sanjeevi, *Current Diabetes Reviews*, 3, 198-203 (2007);
4. Ш. А. Бикташев, Л. Я. Яруллин, Ф. М. Гумеров, Ф. Р. Габитов, Р. А. Усманов, И. М. Абдулагатов, В. Willson, *Вестник Казан. технолог. ун-та*, 17, 251-253 (2011);
5. F. Timelli, E. LeBlanc, Long Fu, *Journal. of food science*, 60, 4, 703-706 (1995);
6. А.К. Чернышев, Ф.М. Гумеров, Г.Н. Цветинский, Р.С. Яруллин, С.В. Иванов, Б.В. Левин, М.И. Шафран, И.Ф. Жилин, А.Г. Бесков, К.А. Чернышев. *Диоксид углерода: свойства, улавливание (получение), применение*. Изд-во «Инфохим», М., 2013. С. 580-694;
7. Н.В. Цедерберг, *Теплопроводность газов и*

- жидкостей. Изд-во Госэнергоиздат, М., 1963. 408 с.;
8. F.N. Shamsetdinov, Z.I. Zaripov, F.M. Gumerov, F.R. Gabitov, I.M. Abdulagatov, M.I. Huber, A.F. Kazakov. *International journal of refrigeration*, **36**, 4, 1347-1368 (2013);
9. Р.Р. Габитов, Р.Р. Накипов, Ф.Н. Шамсетдинов, Р.А. Усманов, И.Х. Хайруллин, З.И. Зарипов. *Вестник Казан. технолог. ун-та*, **15**, 21, 25-27 (2012);
10. Н.Б. Варгафтик, Л.П. Филиппов, А.А. Тарзиманов, Е.Е. Тоцкий. *Теплопроводность газов и жидкостей*. Изд-во стандартов, М., 1978. 472 с.;
11. NIST database, National Institute of Standards and Technology, Boulder, US;
12. Ф.Н. Шамсетдинов, З.И. Зарипов, А.Х. Садыков, Г.Х. Мухаметзянов, *Вестник Казан. технолог. ун-та*, **14**, 230-234 (2011);
13. Assael, M.J., Mylona, S.K., Huber, M.L., Perkins, R.A. *J. Phys. Chem. Ref.*, **41**, 2, 023101-023101:023112 (2012);
14. Ganiev, Y., Musoyan, M.O., Rastorguev, Y.V., Grigor'ev, B.A., M. Pichal, O. Shifner. *Water and Steam*, Hemisphere, NY, 1989, pp. 132-139.

© **Ш. А. Бикташев** – асп. каф. теоретических основ теплотехники КНИТУ, хатыаз@gmail.com; **Р. Р. Накипов** – студент той же кафедры, nakir88@yandex.ru; **И. Р. Габитов** – асп. той же кафедры, gabitov.ilgiz@gmail.com; **Р. А. Усманов** – докторант, к.т.н., доцент той же кафедры, usmanoff@gmail.com; **З. И. Зарипов** – д-р техн. наук, проф. той же кафедры, zufar_zaripov@mail.ru;