

УДК [665.63:543.2].001.57

В.І. Кривда, канд. техн. наук, доц.,
Одес. нац. політехн. ун-т

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОДУКТІВ НАФТОПЕРЕРОБКИ

Вступ. Сьогодні як ніколи стала нагальною проблема економії первинних енергоресурсів. Спостерігається шалене подорожчання енергоносіїв у зв'язку з нестабільною економічною ситуацією в країні. Економія, раціональне використання та удосконалення існуючих технологічних процесів первинної переробки нафти є особливо актуальними. В [1] пропонується нова схема, що дозволить використовувати рекуперативну теплоту відхідних газів під час первинної переробки нафти та зменшити кількість енергії, що підводиться до трубчастих печей, з метою економії первинних енергоресурсів. Для аналізу ефективності роботи такої енергетичної установки первинної переробки нафти [1, 2] необхідно знати головні теплофізичні властивості продуктів нафтопереробки, а саме: густину, ентальпію та теплоємність в двох агрегатних станах — в рідинній та газоподібній фазі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші дослідження теплофізичних властивостей продуктів нафтопереробки проводились в минулому столітті в багатьох країнах, зокрема і в Україні, але на сьогодні й досі не існує єдиної методики. Це, в першу чергу, пов'язано з широкою номенклатурою вуглеводів, а по-друге, з різним хімічним складом нафти, яка була добута з різних родовищ [3]. Головним методом чіткого визначення теплофізичних властивостей залишаються експерименти [3, 4], проведені дослідним шляхом, над конкретним видом продукту нафтопереробки [5, 6].

Вважається, що існує три головних розрахункових методи визначення теплофізичних властивостей продуктів нафтопереробки: метод адитивності [7] за умови відомого багатокомпонентного вуглеводневого складу нафтопродуктів; метод неперервної термодинаміки за умови представлення нафтопродуктів як нескінченної множини компонентів; метод термодинамічної подібності за умови відомих індивідуальних властивостей вуглеводів окремих нафтопродуктів.

Наступним кроком має бути отримання узагальнених результатів властивостей продуктів нафтопереробки, які необхідні для подальших досліджень енергетичної установки первинної переробки нафти.

Мета дослідження. Визначити залежності теплофізичних властивостей головних продуктів нафтопереробки, що використовуються в енергетичній установці. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- побудувати імітаційну модель властивостей, що досліджуються;
- провести дисперсійний аналіз;
- перевірити адекватність імітаційної моделі.

Викладення основного матеріалу. Ділення продуктів нафтопереробки на фракції відбувається за відомими температурами кипіння у відповідних агрегатних станах.

В рідинній фазі знаходяться такі продукти первинної переробки нафтопереробки як: нафта, мазут, гудрон, бензинова фракція, газова фракція, дизельна фракція та вакуумний газойль. А в газоподібному стані під час первинної переробки нафти можуть перебувати такі фракції: бензинова, газова, дизельна і вакуумний газойль.

Існує ряд статистичних методів, що дозволяють визначити адекватність отриманих експериментальних даних: регресійний, дисперсійний, головних компонент, факторний аналіз та ін. [3, 5].

Для розробки імітаційної моделі теплофізичних властивостей продуктів нафтопереробки використовується дисперсійний аналіз [8], завданням якого є дослідження впливу зовнішніх якісних, кількісних і випадкових чинників та їх умов на зміну середніх досліджуваних значень.

DOI 10.15276/opu.1.45.2015.15

© В.І. Кривда, 2015

Результати. Аналіз відомих виразів властивостей продуктів нафтопереробки дозволив побудувати сім'ю кривих для кожного окремого виду нафтопродукту. У дизельній фракції спостерігається найбільша розбіжність в значеннях, тому для прикладу графічне відображення її властивостей представлено в агрегатному стані рідини (рис. 1). Суцільними лініями позначено залежності за відомими виразами.

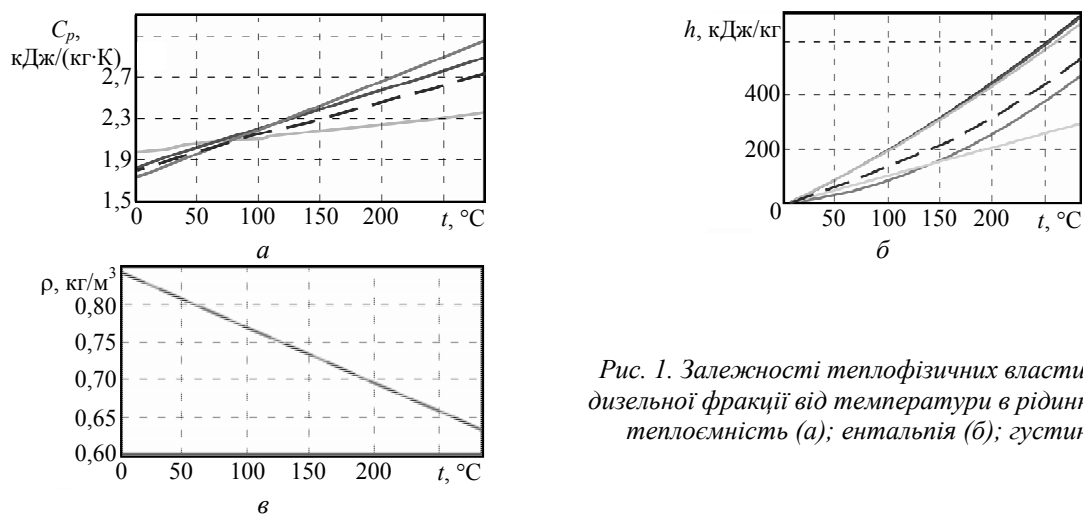


Рис. 1. Залежності теплофізичних властивостей дизельної фракції від температури в рідинній фазі: теплоємність (а); ентальпія (б); густина (в)

За результатами дисперсійного аналізу розроблена імітаційна модель теплофізичних властивостей залежно від температури. У рідинному стані теплоємність, кДж/(кг·К)

$$C_p(T) = aT^2 + bT + c,$$

ентальпія, кДж/кг

$$h(T) = AT^2 + BT - C,$$

густина, кг/м³

$$\rho_4(T) = n - mT,$$

де T — температура нафтопродукту, К;

a, b, c, A, B, C, m, n — коефіцієнти поліномів, значення яких визначаються шляхом апроксимації даних про властивості речовини (табл. 1).

Таблиця 1

Коефіцієнти поліномів для визначення теплоємності, ентальпії та густини нафтопродуктів в рідинному стані

Вид нафтопродукту	Коефіцієнти поліномів теплоємності			Коефіцієнти поліномів ентальпії			Коефіцієнти поліномів густини	
	a	b	c	A	B	C	m	n
Нафта	$7 \cdot 10^{-6}$	0,0025	1,2451	0,0018	0,8131	357,29	0,686	1068,3
Мазут	$4 \cdot 10^{-6}$	0,0018	1,0257	0,0017	0,7697	338,19	0,686	1178,5
Гудрон	$6 \cdot 10^{-6}$	0,0015	1,0168	0,0017	0,7614	334,24	0,686	1201,0
Бензинова фракція	$5 \cdot 10^{-6}$	0,0017	1,1442	0,0020	0,8793	385,95	0,686	911,7
Гасова фракція	$2 \cdot 10^{-6}$	0,0032	0,8639	0,0019	0,8253	366,47	0,686	993,5
Дизельна фракція	$2 \cdot 10^{-6}$	0,0025	0,7625	0,0019	0,8217	364,83	0,686	1029,1
Вакуумний газойль	$1 \cdot 10^{-6}$	0,0012	0,6391	0,0018	0,7573	341,77	0,686	1106,8

Графічне відображення теплофізичних властивостей імітаційної моделі для дизельної фракції представлено пунктирною лінією (рис. 1).

Результатом дисперсійного аналізу є визначення похибки імітаційної моделі теплофізичних властивостей нафтопродуктів (табл. 2).

Таблиця 2

Результати дисперсійного аналізу теплофізичних властивостей продуктів нафтопереробки

Дисперсія	Вид продукту первинної переробки нафти						
	нафта	мазут	гудрон	бензинова фракція	гасова фракція	дизельна фракція	вакуумний газойль
$D(C_p)$, кДж/(кг·К)	$4,24 \cdot 10^{-1}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$2,34 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	10^{-2}	$1,1 \cdot 10^{-1}$	10^{-1}
$D(h)$, кДж/кг	$3 \cdot 10^{-3}$	$8,2 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	10^{-5}	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
$D(\rho^t_4)$, кг/м ³	$8 \cdot 10^{-3}$	10^{-5}	$2 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-8}$	$9 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$

Аналіз отриманих результатів дає змогу стверджувати наступне:

— серед всіх значень густина та теплоємність мають лінійний характер, а ентальпія — не-лінійний;

— ентальпія набуває більшої збіжності результатів при менших значеннях температури, ніж при більших;

— відносна похибка розрахунків теплофізичних властивостей продуктів первинної переробки нафти і сировини зростає зі збільшенням температури;

— максимальне значення відносної похибки розрахунків теплофізичних властивостей продуктів первинної переробки нафти і сировини для діапазону температур, що досліджувались, досягає таких показників: густина — 0,4 %, ентальпія — 1,8 %, теплоємність — 1,3 %.

Висновки. Розроблена імітаційна модель дозволяє визначити величини теплофізичних властивостей деяких нафтопродуктів при мінімальних розрахункових похибках. Імітаційна модель адекватна, що надалі дозволить розраховувати теплові потоки в установці переробки нафти для проведення необхідних досліджень з удосконалення технологічного процесу та для економії первинних енергоресурсів.

Література

1. Пат. 107027 Україна, МПК C10G 7/00, B01D 3/00. Установка атмосферной вакуумной трубчатки для подготовки и первичной переработки нефти / Максимов М.В., Кривда В.И.; патентовладельцы Максимов М.В., Кривда В.И. — № а201303011; заяв. 11.03.2013; надр. 10.11.2014, Бюл. № 21/2014.
2. Максимов, М.В. Определение минимального температурного напора между холодными и горячими потоками для рекуперативных теплообменников ЭЛОУ-АВТ / М.В. Максимов, В.И. Кривда // Холодил. техника і технологія. — 2011. — № 3(131). — С. 56 — 62.
3. Liao, T. Performance characteristics of a low concentrated photovoltaic–thermoelectric hybrid power generation device / T. Liao, B. Lin, Z. Yang // International Journal of Thermal Sciences. — 2014. — Vol. 77. — PP. 158 — 164.
4. Шишков, В.И. Термодинамические свойства нитрита ванадия / В.И. Шишков, В.М. Жихарев // Вестник ЮУрГУ. Серия: “Металлургия”. — 2012. — № 15. — С. 46 — 49.
5. Железный, В.П. Новые структурно-аддитивные методы прогнозирования теплофизических свойств углеводородов / В.П. Железный, А.С. Маркварт // Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов: сб. науч. статей: в 2 ч. / под ред. Б.А. Григорьева. — М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2011. — Ч. 1. — С. 207 — 218.
6. Heat transfer properties of engine oils / S. Wrenick, P. Sutor, H. Pangilinan, E.E. Schwarz / Proceedings of WTC2005 World Tribology Congress III, Washington, D.C., USA, September 12–16, 2005. — 2005. — Vol. 1. — PP. 595 — 596.
7. The temperature dependence of parachor / V.P. Zhelezny, Yu.V. Semenyuk, S.N. Ancherbak, N.V. Emel'yanenko // Russian Journal of Physical Chemistry A. — 2009. — Vol. 83, Issue 2. — PP. 182 — 186.
8. Particulate fouling of CuO–water nanofluid at isothermal diffusive condition inside the conventional heat exchanger-experimental and modeling / V. Nikkhah, M.M. Sarafraz, F. Hormozi, S.M. Peyghambarzadeh // Experimental Thermal and Fluid Science. — 2015. — Vol. 60. — PP. 83 — 95.

References

1. Maksymov, M.V. and Kryvda, V.I. (2014). *Setting of atmospheric vacuum distillation unit for preparation and primary oil refining*. Ukraine Patent: UA 107027.
2. Maksimov, M.V. and Kryvda, V.I. (2011). *Determination of minimal temperature pressure between cold and hot streams for recuperative heat exchangers ELOU-AVT. Refrigeration Engineering and Technology*, 3, 56-62.
3. Liao, T., Lin, B. and Yang, Z. (2014). Performance characteristics of a low concentrated photovoltaic–thermoelectric hybrid power generation device. *International Journal of Thermal Sciences*, 77, 158-164.
4. Shishkov, V.I. and Zhikharev, V.M. (2012). Thermodynamic properties of vanadium nitride. *Bulletin of the South Ural State University. Series "Metallurgy"*, 15, 46-49.
5. Zhelezny, V.P. and Markwart, A.S. (2012). New structural and additive methods for predicting thermal properties of hydrocarbon. In B.A. Grigoryev (Ed.), *Important to Study Hydrocarbon Reservoir: Collection of Scientific Articles* (pp. 353-370). Moscow: Gazprom VNIIGAZ.
6. Wrenick, S., Sutor, P., Pangilinan, H. and Schwarz, E.E. (2005). Heat transfer properties of engine oils. In *Proceedings of WTC2005 World Tribology Congress III* (Vol. 1, pp. 595-596). New York, N.Y.: American Society of Mechanical Engineers.
7. Zhelezny, V.P., Semenyuk, Yu.V., Ancherbak, S.N. and Emel'yanenko, N.V. (2009). The temperature dependence of parachor. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 83(2), 182-186.
8. Nikkhah, V., Sarafraz, M.M., Hormozi, F. and Peyghambarzadeh, S.M. (2015). Particulate fouling of CuO–water nanofluid at isothermal diffusive condition inside the conventional heat exchanger–experimental and modeling. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 60, 83-95.

АНОТАЦІЯ / АННОТАЦИЯ / ABSTRACT

В.І. Кривда. Визначення теплофізичних властивостей продуктів нафтопереробки. Останні десятиліття удосконалення технологічного процесу та економія первинних енергоресурсів є головними завданнями на нафтопереробних заводах. Виробництво і використання різних нафтопродуктів вимагає чіткого знання їх властивостей. Застосування дисперсійного аналізу дозволило побудувати імітаційну модель теплофізичних властивостей продуктів первинної переробки нафти і сировини. В результаті апроксимації даних отримано поліноми, коефіцієнти яких різняться для фракцій нафтопродуктів, які досліджувались. В роботі представлено графічні залежності теплофізичних властивостей від температури для дизельної фракції. Лінійні характеристики залежностей густини і теплоємності від температури знайшли відображення в пропорційності похибки розрахунків. Відносна мінімальна похибка не перевищує 2 %, що підтверджує адекватність проведених розрахунків. Отримана модель може бути використана в розрахунках для подальшого удосконалення технологічного процесу.

Ключові слова: теплофізичні властивості, нафтопродукти, адекватність, дисперсійний аналіз.

В.И. Кривда. Определение теплофизических свойств продуктов нефтепереработки. В последние десятилетия усовершенствование технологического процесса и экономия первичных энергоресурсов являются главными задачами нефтеперерабатывающих заводов. Производство и использование разных нефтепродуктов требует четкого знания их свойств. Применение дисперсионного анализа позволило построить имитационную модель теплофизических свойств продуктов первичной переработки нефти и сырья. В результате аппроксимации данных получены полиномы, коэффициенты которых отличаются для исследуемых фракций нефтепродуктов. В работе представлены графические зависимости теплофизических свойств от температуры для дизельной фракции. Линейные характеристики зависимостей плотности и теплоемкости от температуры нашли отражение в пропорциональности погрешности расчетов. Относительная минимальная погрешность не превышает 2 %, что подтверждает адекватность проведенных расчетов. Полученная модель может быть использована в расчетах для дальнейшего усовершенствования технологического процесса.

Ключевые слова: теплофизические свойства, нефтепродукты, адекватность, дисперсионный анализ.

V.I. Kryvda. Determining the thermal and physical properties of oil processing products. In the last decades both technological process' improvement and primary energy resources saving are the main tasks of oil refineries. Using various oil products does impose an accurate knowledge of their properties. The dispersion analysis applied makes possible to construct a model simulating the primary oil refining products' and raw materials' thermal physical properties. As a result of data approximation there were obtained polynomials with coefficients differing from attributable to the studied oil products fractions. The research represents graphic dependences of thermal physical properties on temperature values for diesel oil fraction. The linear character of density and calorific capacity dependencies from temperature is represented with a proportional error in calculations. The relative minimum error is below 2 % that confirms the implemented calculations' adequacy. The resulting model can be used in calculations for further technological process improvements.

Keywords: thermal physical properties, adequacy, dispersion analysis.

Надійшла до редакції 12 лютого 2015 р.