

Ю. К. СУНЦОВ, д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры химии и процессов горения, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: jsyntsov@mail.ru)

Ю. Н. СОРОКИНА, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры химии и процессов горения, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: sorokina-jn@mail.ru)

А. М. ЧУЙКОВ, канд. техн. наук, начальник кафедры химии и процессов горения, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231)

В. А. ГОРЮНОВ, канд. хим. наук, старший преподаватель кафедры химии и процессов горения, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231)

УДК 614.841.41

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭНЕРГИИ ГЕЛЬМГОЛЬЦА С ТЕМПЕРАТУРОЙ ВСПЫШКИ ВЕЩЕСТВ В ГОМОЛОГИЧЕСКИХ РЯДАХ *n*-АЛКИЛЭТАНОАТОВ, *n*-СПИРТОВ И КЕТОНОВ

Измерено давление насыщенного пара и плотность жидких веществ в гомологических рядах *n*-алкилэтанов, алифатических кетонов и *n*-спиртов при различных температурах. Показано, что рассчитанные значения внутренней энергии, энтропии и энергии Гельмгольца линейно зависят от молярной массы вещества в гомологическом ряду. Анализом опытных и литературных данных установлена линейная зависимость значений энергии Гельмгольца от температуры вспышки вещества в гомологическом ряду. Приведены необходимые для расчетов свойств веществ уравнения.

Ключевые слова: давление насыщенного пара; мольный объем; внутренняя энергия; энтропия; энергия Гельмгольца; температура вспышки; корреляционные уравнения.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.27-33

Для обеспечения пожарной безопасности процессов производства, хранения и транспортирования веществ необходимы данные по показателям пожаровзрывоопасности веществ. К числу таких показателей относятся температуры вспышки и воспламенения и температурные пределы распространения пламени огнеопасных жидкостей, которые можно рассчитать, если известна зависимость давления насыщенного пара p от температуры кипения T растворов [1]. Данные по термодинамическим свойствам растворов необходимы также для расчетов показателей, определяющих направление и скорость протекания технологических процессов. Существующие методы расчета свойств многокомпонентных систем также базируются на свойствах их бинарных составляющих [2]. В связи с этим понятна важность прогнозирования показателей пожаровзрывоопасности и термодинамических свойств веществ, исходя из минимального количества экспериментальных данных.

Целью настоящей работы является получение аналитических зависимостей типа *термодинамиче-*

ские свойства – температура вспышки для веществ некоторых гомологических рядов. В предыдущих исследованиях были измерены давление насыщенного пара и объемные свойства жидких веществ гомологических рядов *n*-алкилэтанов (метилэтанов, этилэтанов, *n*-пропилэтанов, *n*-бутилэтанов, *n*-пентилэтанов), алифатических кетонов (диметилкетон, метилэтилкетон, метилпропилкетон, метилбутилкетон, метилпентилкетон) и *n*-спиртов (метанол, этанол, *n*-пропанол, *n*-бутанол, *n*-пентанол, *n*-гексанол) [3, 4]. Константы очищенных веществ удовлетворительно совпадали с литературными данными [5]. Температуры кипения растворов T измерялись эбулиометрическим методом при пониженных давлениях p платиновым термометром сопротивления с точностью $\pm 0,05$ К. Давление насыщенного пара растворов p определялось ртутным манометром (с использованием катетометра В-630) с точностью $\pm 6,66$ Па. Постоянство давления в эбулиометре поддерживалось изодромным регулятором с отрицательной обратной связью с точностью $\pm 6,66$ Па. Детальное описание

экспериментальных установок и методик эксперимента приведено в [4].

Значения энергии Гиббса, энтальпии и энтропии *n*-алкилэтаноатов, алифатических кетонов и *n*-спиртов, рассчитанные с использованием метода Льюиса, не удалось связать с молярной массой (структурой) веществ. Основной недостаток расчета по методу Льюиса заключается в том, что значения термодинамических функций неадекватно характеризуют межмолекулярное взаимодействие в жидкости. Например, для индивидуальной жидкости, находящейся в равновесии с паром, уравнение изменения энергии Гиббса ΔG имеет вид:

$$\Delta G = G_{\text{пар}} - G_{\text{жид}} = 0, \quad (1)$$

где $G_{\text{пар}}$, $G_{\text{жид}}$ — значения энергии Гиббса соответственно паровой и жидкой фаз.

Складывается впечатление, что энергия Гиббса “не чувствует” межмолекулярного взаимодействия в жидкости. Раковский еще в 1935 г. писал, что “путь школы Льюиса полезен, но он стал довлеть над исследователями, заслоняя от них теоретическую сторону термодинамики”. Ряд исследователей (Белл и Гетти; Гиршфельдер, Кертис и Берд; Никольский; Раулинсон) уже обращали внимание на неполноту формального описания термодинамических свойств растворов [6]. Работы этих ученых содержат интересные попытки учета вкладов межмолекулярного взаимодействия в изменение термодинамических функций растворов. Однако это направление, к сожалению, не привлекло внимания широкого круга исследователей. Имеющиеся публикации разобщены, теоретический смысл приемов, их общность и значимость до конца не выяснены.

Возможность построения на этой основе общего подхода рассмотрена Рудаковым [7] и автором статьи [8]. Энергия межмолекулярного взаимодействия обычно определяется как работа разведения молекул на бесконечное расстояние. Однако возможно и другое решение задачи: изолирование молекул с целью исключить их взаимодействие путем наложения внешнего энергетического поля при сохранении расстояния между ними. Это — состояние, подобное жидкости, со свойствами идеального газа. Если энергии “изолированных” и “разведенных” молекул равны, то на исключение межмолекулярного взаимодействия в обоих случаях затрачивается одинаковая работа.

В термодинамической системе результаты расчетов зависят также от того, каким способом осуществляется процесс исключения межмолекулярного взаимодействия — путем расширения системы до объема $V \rightarrow \infty$ или при $V = \text{const}$. Число возможностей реализации данного процесса неограниченно, если принять во внимание промежуточные слу-

чай (между $V \rightarrow \infty$ и $V = \text{const}$), а также случаи различного теплового обмена с окружающей средой.

Недостаточно сказать, что стандартная система без межмолекулярного взаимодействия — идеальный газ. Необходимо точно определить его состояние. Идеальный газ имеет две степени свободы, поэтому введем два ограничения. Прежде всего исключим работу против любых сил, кроме межмолекулярного взаимодействия, что ведет к условию $V = \text{const}$. Далее возможны два варианта: 1) адиабатический, $S = \text{const}$; 2) изотермический, $T = \text{const}$, когда энтропия системы меняется за счет межмолекулярного взаимодействия, но не температуры. Эти соображения объясняют необходимость проведения процесса при условии $V = \text{const}$, $T = \text{const}$.

В качестве стандарта для расчета термодинамических функций использовали идеальный газ, взятый при температуре T , объеме V и составе x реальной жидкости. Вклад межмолекулярного взаимодействия в термодинамическую функцию $\hat{X}$ определяли как:

$$\hat{X} = X^* - X, \quad (2)$$

где X^* , X — значения функции соответственно для идеального газа и реальной жидкости.

Энергию Гельмгольца $\hat{F}$, внутреннюю энергию $\hat{U}$ и энтропию $\hat{S}$ межмолекулярного взаимодействия в жидкости находили из соотношений:

$$\hat{F} = F^* - F; \quad (3)$$

$$\hat{U} = U^* - U; \quad (4)$$

$$\hat{S} = S^* - S. \quad (5)$$

Данные величины связаны уравнением Гиббса — Гельмгольца:

$$\hat{U} = \hat{F} - T\hat{S}. \quad (6)$$

В случае перехода моля вещества из состояния идеального газа в жидкое состояние (с межмолекулярным взаимодействием) получали [9]:

$$\hat{F} = RT \ln \frac{RT}{P^0 V^0} - RT + P^0 V^0; \quad (7)$$

$$\hat{S} = H^0 - RT \ln \frac{RT}{P^0 V^0}; \quad (8)$$

$$\hat{U} = H^0 - RT + P^0 V^0, \quad (9)$$

где R — универсальная газовая постоянная;

T — температура кипения, К;

P^0 , V^0 — давление пара и мольный объем жидкости;

H^0 — мольная теплота испарения жидкости.

На основе опытных и литературных данных [3–5] по уравнениям (7)–(9) рассчитывали значения $\hat{F}$, $\hat{U}$ и $T\hat{S}$ для жидких *n*-алкилэтаноатов, алифатических кетонов и *n*-спиртов. Анализ результатов расчетов

Таблица 1. Значения коэффициентов k , b и корреляционные коэффициенты r^2 для уравнений (10)–(12)

Уравнение	Гомологический ряд								
	<i>n</i> -Алкилэтаноаты			Алифатические кетоны			<i>n</i> -Спирты		
	$T = 323 \text{ K}$		r^2	$T = 328 \text{ K}$		r^2	$T = 353 \text{ K}$		r^2
	k	b		k	b		k	b	
$\hat{F} = k_1 M + b_1$ (10)	125,5	4105	0,9951	116,2	6607	0,9999	107,8	18250	0,9999
$\hat{U} = k_2 M + b_2$ (11)	272,6	7690	0,9995	294,4	9039	0,9999	229,2	27903	0,9999
$T\hat{S} = k_3 M + b_3$ (12)	146,5	3632	0,9997	178,2	2431	0,9903	121,5	9282	0,9903

показал, что значения $\hat{F}$, $\hat{U}$ и $T\hat{S}$ для веществ в гомологических рядах линейно зависят от их молярной массы M и могут быть описаны уравнениями вида:

$$\hat{F} = k_1 M + b_1; \quad (10)$$

$$\hat{U} = k_2 M + b_2; \quad (11)$$

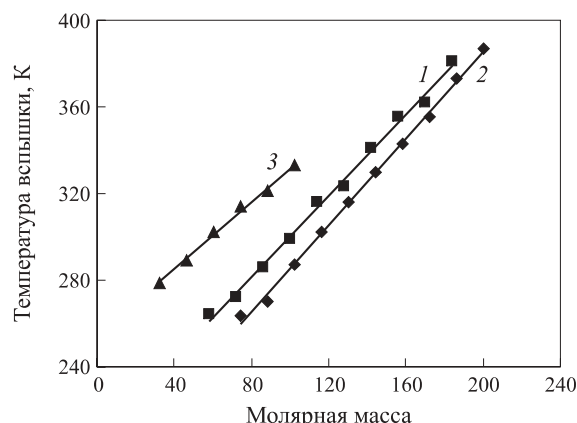
$$T\hat{S} = k_3 M + b_3, \quad (12)$$

где k_1 , k_2 , k_3 , b_1 , b_2 , b_3 — коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов с использованием программы CurveExpert 1.3 (табл. 1).

Уравнения (10)–(12) описывают термодинамические свойства жидких *n*-алкилэтаноатов, алифатических кетонов и нормальных спиртов с точностью порядка ± 20 Дж/моль.

Линейная зависимость значений $\hat{F}$, $\hat{U}$ и $T\hat{S}$ от молярной массы вещества (числа групп $-\text{CH}_2-$ в молекуле) указывает, на наш взгляд, на подобие жидких структур этих веществ. Установленные закономерности могут быть использованы для совершенствования групповых моделей растворов (UNIFAC, ASOG) [10].

Температура вспышки является одним из важнейших показателей пожарной опасности и принимается за основу классификации жидкостей по степени их пожаровзрывоопасности. Анализом литературных данных [11–14] установлено, что температура вспышки веществ аддитивно возрастает с увеличением молярной массы вещества (числа групп $-\text{CH}_2-$ в молекуле) в гомологическом ряду для рядов *n*-алкилэтаноатов (метилэтаноат, этилэтаноат, пропилэтаноат, бутилэтаноат, пентилэтаноат, гексилэтаноат, гептилэтаноат, октилэтаноат, нонилэтаноат, децилэтаноат), алифатических кетонов (диметилкетон, ме-

**Рис. 1.** Зависимость температуры вспышки от молярной массы вещества в гомологическом ряду: 1 — алифатические кетоны; 2 — *n*-алкилэтаноаты; 3 — *n*-спирты

тилэтилкетон, метилпропилкетон, метилбутилкетон, метилпентилкетон, метилгексилкетон, метилгептилкетон, метилоктилкетон, метилнонилкетон, метилдецилкетон) и *n*-спиртов (метанол, этанол, *n*-пропанол, *n*-бутанол, *n*-пентанол, *n*-гексанол) (рис. 1). Предложено уравнение, связывающее температуру вспышки $T_{\text{всп}}$ (К) с молярной массой вещества в гомологическом ряду:

$$T_{\text{всп}} = k_4 M + b_4, \quad (13)$$

где k_4 , b_4 — коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов с использованием программы CurveExpert 1.3 (табл. 2).

С учетом аддитивной зависимости величины энергии Гельмгольца от молярной массы вещества в гомологическом ряду (уравнение (10)) представлялось целесообразным установить взаимосвязь энергии

Таблица 2. Значения коэффициентов k , b и корреляционные коэффициенты r^2 для уравнений (13)–(15)

Уравнение	Гомологический ряд								
	<i>n</i> -Алкилэтаноаты			Алифатические кетоны			<i>n</i> -Спирты		
	k	b	r^2	k	b	r^2	k	b	r^2
$T_{\text{всп}} = k_4 M + b_4$ (13)	0,9975	185,9	0,9975	0,9337	206,9	0,9957	0,77	254,66	0,9951
$\hat{F}_{\text{всп}} = k_5 M + b_5$ (14)	93,22	9399	0,9988	42,68	14723	0,9635	76,67	16181	0,9738
$\hat{F}_{\text{всп}} = k_6 T_{\text{всп}} + b_6$ (15)	94,14	8179	0,9829	40,78	6767	0,9566	98,40	8818	0,9555

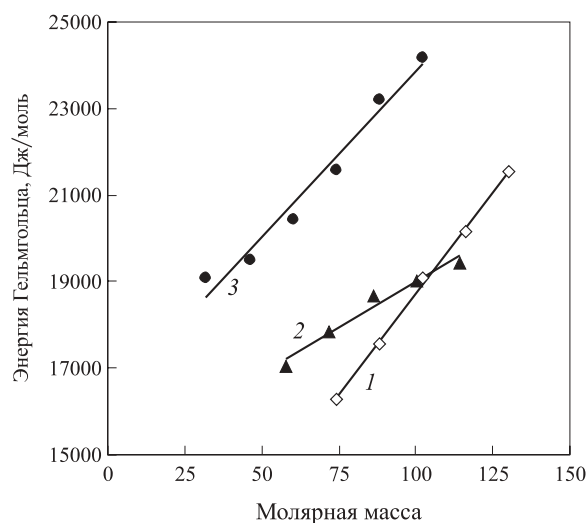


Рис. 2. Зависимость энергии Гельмгольца, рассчитанной для температур вспышки веществ, от молярной массы вещества в гомологическом ряду: 1 — *n*-алкилэтанаты; 2 — алифатические кетоны; 3 — *n*-спирты

Гельмгольца с температурой вспышки вещества в гомологическом ряду. С этой целью были рассчитаны значения энергии Гельмгольца [3, 4, 9] для температур вспышки в гомологических рядах исследуемых веществ. Оказалось, что энергия Гельмгольца при температуре вспышки веществ также аддитивно возрастает с увеличением молярной массы вещества (числа групп $-\text{CH}_2-$ в молекуле) в гомологическом ряду (рис. 2).

Получены уравнения, связывающие рассчитанную при температуре вспышки вещества энергию Гельмгольца $\hat{F}_{\text{всп}}$ с молярной массой вещества в гомологическом ряду:

$$\hat{F}_{\text{всп}} = k_5 M + b_5, \quad (14)$$

где k_5, b_5 — коэффициенты, определенные методом наименьших квадратов с использованием программы CurveExpert 1.3 (см. табл. 2).

Учитывая общую тенденцию к изменению значений температуры вспышки (см. рис. 1) и энергии Гельмгольца, рассчитанной при температуре вспышки (см. рис. 2), от молярной массы веществ в гомологических рядах, целесообразно установить их взаимосвязь. Корреляционным анализом полученных данных установлено, что значения энергии Гельм-

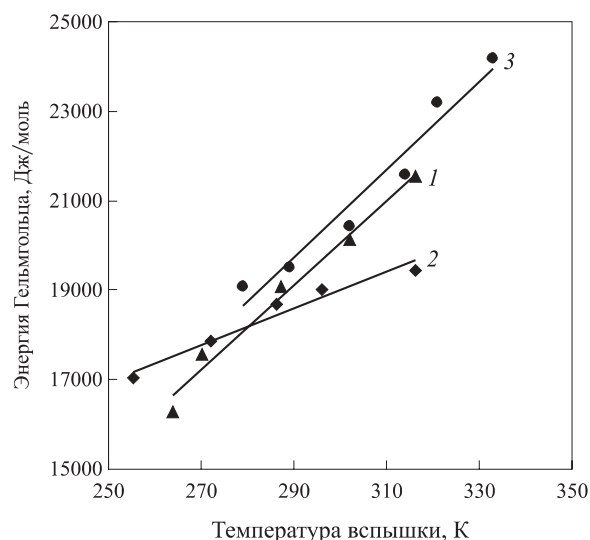


Рис. 3. Зависимость энергии Гельмгольца от температуры вспышки для веществ в гомологическом ряду: 1 — *n*-алкилэтанаты; 2 — алифатические кетоны; 3 — *n*-спирты

гольца линейно возрастают с повышением температуры вспышки веществ в гомологических рядах для *n*-алкилэтанатов, алифатических кетонов и *n*-спиртов (рис. 3).

Корреляционным анализом с использованием программы TableCurve 3D v4.0 получены уравнения вида:

$$\hat{F}_{\text{всп}} = k_6 T_{\text{всп}} + b_6, \quad (15)$$

где k_6, b_6 — коэффициенты, определенные методом наименьших квадратов (см. табл. 2).

Уравнение (15) позволяет прогнозировать с необходимой для практических целей точностью температуры вспышки веществ в гомологических рядах. Таким образом, подведена термодинамическая основа для определения температуры вспышки органических веществ, дающая возможность дальнейшего совершенствования ГОСТ 12.1.044–89 [1].

Установленные закономерности и полученные на их основе уравнения (10)–(15) позволяют значительно сократить объем эксперимента и выявить недостоверные экспериментальные данные. Уравнения (10)–(15) могут быть использованы также для прогнозирования свойств неизученных веществ в тех случаях, когда специалисты не располагают соответствующим лабораторным оборудованием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 12.1.044–89*. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.1991. — М.: Стандартинформ, 2006. — 100 с.
- Термодинамика равновесия жидкость – пар / А. Г. Морачевский, Н. А. Смирнова, Е. М. Пиотровская и др.; под ред. А. Г. Морачевского. — Л.: Химия, 1989. — 344 с.
- Сунцов Ю. К., Горюнов В. А. Корреляционные зависимости термодинамических свойств жидких замещенных углеводородов различных гомологических рядов // Журнал физической химии. — 2003. — Т. 77, № 12. — С. 2297–2299.

4. Сунцов Ю. К., Власов М. В., Чуйков А. М. Фазовые равновесия жидкость – пар и термодинамические свойства растворов *n*-пропанол — алифатические кетоны // Журнал физической химии. — 2015. — Т. 89, № 6. — С. 900–904. DOI: 10.7868/S0044453715060291.
5. National Institute of Standards and Technology (NIST) Chemistry WebBook. Search for Species Data by Chemical Formula. URL: <http://webbook.nist.gov/chemistry/form-ser.html> (дата обращения: 30.08.2015).
6. Rowlinson J. S. Liquids and liquid mixtures. — London : Butterworth Scientific, 1959.
7. Рудаков Е. С. Молекулярная, квантовая и эволюционная термодинамика (развитие и специализация метода Гиббса). — Донецк : Донецкий госуниверситет, 1998. — 139 с.
8. Suntsov Yu. K. Legitimacies change of properties of binary systems on an example of solutions formed by aliphatic alcohol and complex ethers of organic acids // The report on XVIII International conferences “Thermodynamics–2003”. — England, Cambridge : University of Cambridge, 2003. — P. 99.
9. Suntsov Yu. K. New method of predicting the thermodynamic properties of solutions // Journal of Chemistry and Chemical Engineering. — 2014. — Vol. 8, No. 3. — P. 306–314. DOI: 10.17265/1934-7375/2014.03.013.
10. Walas S. M. Phase equilibria in chemical engineering. — Boston : Butterworths Publishers, 1985. — 671 p.
11. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. — 2-е изд. перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — 713 с.; ч. II. — 774 с.
12. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справ. изд. : в 2 кн. / Баратов А. Н., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н. и др. — М. : Химия, 1990. — Кн. 1. — 496 с.
13. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. III. Кетоны (часть 2) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 7. — С. 8–13.
14. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. II. Кетоны (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 8–15.

Материал поступил в редакцию 27 января 2016 г.

Для цитирования: Сунцов Ю. К., Сорокина Ю. Н., Чуйков А. М., Горюнов В. А. Взаимосвязь энергии Гельмгольца с температурой вспышки веществ в гомологических рядах *n*-алкилэтанов, *n*-спиртов и кетонов // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 3. — С. 27–33. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.27-33.

English

HELMHOLTZ ENERGY INTERRELATION WITH A FLASH POINT FOR COMPOUNDS IN HOMOLOGOUS SERIES OF *n*-ALKYL ETHANOATES, *n*-ALCOHOLS AND KETONES

SUNTSOV Yu. K., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of Chemistry and Combustion Department, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail address: jsyntsov@mail.ru)

SOROKINA Yu. N., Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of Chemistry and Combustion Department, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail address: sorokina-jn@mail.ru)

CHUYKOV A. M., Candidate of Technical Sciences, Head of Chemistry and Combustion Department, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation)

GORJUNOV V. A., Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer of Chemistry and Combustion Department, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation)

ABSTRACT

The number of organic compounds exceeded 20 million and increases each year by 300 thousand. To ensure the fire safety and technological calculations of processes of production, for storage and transportation materials there are needed data rates fire and explosion hazard substances. To elucidate

how the thermodynamic properties of liquid compounds are related to their molecular characteristics, it is necessary to study the properties of compounds in homologous series. The available methods for calculating the properties of multi component systems are also based on the properties of the constituent components.

As objects of research there were selected substances homologous series of *n*-alkyletanoats, aliphatic ketones and alcohols. At various temperatures vapor pressure and density of the liquids in the homologous series were measured. Lewis-Randal calculations do not allow us to directly relate the thermodynamic function values of substances to the molecular weight (structure) of chemical substance. As a reference for calculating the contributions from intermolecular interaction, we used an ideal gas at the temperature, volume of a real liquid and obeying the same statistics.

Based on experimental data and using the standard of ideal gas (taken at the temperature and volume of liquid) there are calculated the values internal energy, entropy, and Helmholtz energy. The analysis determined that values of thermodynamic functions are linearly dependent on the molecular weight of the substance in the homologous series.

Analysis of published data established as a linear dependence of the flash point of substances of molecular weight substances in the homologous series. Considering the tendency of change these properties it's established that the flash point of substances linearly dependent on the values of the energy of Helmholtz of substances homologous series. The corresponding equations were obtained.

The established regularities and obtained based on these equations allow us to predict the properties of homologous series of substances with the necessary accuracy for practical purposes.

Keywords: saturated vapor pressure; molar volume; internal energy; entropy; Helmholtz energy; flash point; correlation equations.

REFERENCES

1. *Interstate Standard 12.1.044–89*. Occupational safety standards system. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination.* Moscow, Standartinform Publ., 2006. 100 p. (in Russian).
2. Morachevskiy A. G. (ed.), Smirnova N. A., Piotrovskaya Ye. M. et al. *Termodinamika ravnovesiya zhidkost – par* [The thermodynamics of liquid – vapor equilibrium]. Leningrad, Khimiya Publ., 1989. 344 p.
3. Suntsov Yu. K., Goryunov V. A. Korrelyatsionnyye zavisimosti termodinamicheskikh svoystv zhidkikh zameshchennykh uglevodorodov razlichnykh gomologicheskikh ryadov [Correlation dependences of the thermodynamic properties of liquid substituted hydrocarbons belonging to various homologous series]. *Zhurnal fizicheskoy khimii — Russian Journal of Physical Chemistry*, 2003, vol. 77, no. 12, pp. 2297–2299.
4. Suntsov Yu. K., Vlasov M. V., Chuykov A. M. Fazovyye ravnovesiya zhidkost – par i termodinamicheskiye svoystva rastvorov *n*-propanol – alifaticheskiye ketony [Phase liquid – vapor equilibrium and thermodynamic properties of solutions of *n*-propanol – aliphatic ketones]. *Zhurnal fizicheskoy khimii — Russian Journal of Physical Chemistry*, 2015, vol. 89, no. 6, pp. 900–904. DOI: 10.7868/S0044453715060291.
5. *National Institute of Standards and Technology (NIST) Chemistry WebBook. Search for Species Data by Chemical Formula.* Available at: <http://webbook.nist.gov/chemistry/form-ser.html> (Accessed 30 August 2015) (in Russian).
6. Rowlinson J. S. *Liquids and liquid mixtures*. London, Butterworth Scientific, 1959.
7. Rudakov E. S. *Molekulyarnaya, kvantovaya i evolyutsionnaya termodinamika (razvitiye i spetsializatsiya metoda Gibbsa)* [Molecular, quantum and evolution thermodynamics (development and specialization of the Gibbs method)]. Donetsk, Donetsk State University Publ., 1998. 139 p.
8. Suntsov Yu. K. Legitimacies change of properties of binary systems on an example of solutions formed by aliphatic alcohol and complex ethers of organic acids. *The report of XVIII International Conferences "Thermodynamics–2003"*. England, Cambridge, University of Cambridge, 2003, p. 99.
9. Suntsov Yu. K. New method of predicting the thermodynamic properties of solutions. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 2014, vol. 8, no. 3, pp. 306–314. DOI: 10.17265/1934-7375/2014.03.013.
10. Walas S. M. *Phase equilibria in chemical engineering*. Boston, Butterworths Publishers, 1985. 671 p.
11. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik. 2-e izd.* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference book. 2nd ed.]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part I, 713 p.; part II, 774 p.

12. Baratov A. N., Korolchenko A. Ya., Kravchuk G. N. et al. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: sprav. izd.* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of extinguishing. Reference edition]. Moscow, Khimiya Publ., 1990. Book 1, 496 p.
13. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniyem. III. Ketony (chast 2) [Correlation of fire hazard indexes with chemical structure. III. Ketones (Part 2)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 8–13.
14. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniyem. III. Ketony (chast 1) [Correlation of fire hazard indexes with chemical structure. II. Ketones (Part 1)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 8–15.

For citation: Suntsov Yu. K., Sorokina Yu. N., Chuykov A. M., Goryunov V. A. Vzaimosvyaz energii Gelmgoltsa s temperaturoy vspyshki veshchestv v gomologicheskikh ryadakh *n*-alkiletanoatov, *n*-spirtov i ketonov [Helmholtz energy interrelation with a flash point for compounds in homologous series of *n*-alkyl ethanoates, *n*-alcohols and ketones]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 3, pp. 27–33. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.27-33.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРОВ ПОЖАРНЫХ ОТСЕКОВ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ : монография.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА", 2014. — 104 с. : ил.



Изложены современные подходы к нормированию площадей пожарных отсеков и раскрыты требования к ним. Предложен метод научно-технического обоснования размеров пожарных отсеков с учетом вероятностного подхода на основе расчета пожарного риска. Рассмотрены возможности расчета вероятностных показателей, используемых в разработанном методе. Представлены основные достижения в данном направлении отечественной и зарубежной науки; приведены сведения о положительных и отрицательных сторонах действующей системы технического регулирования.

Монография ориентирована на научных и инженерных работников, занимающихся вопросами проектирования противопожарной защиты зданий и сооружений, а также на научных и практических работников пожарной охраны, преподавателей и слушателей учебных заведений строительного и пожарно-технического профиля, специалистов страховых компаний, занимающихся вопросами оценки пожарного риска.

Монография рекомендуется к использованию при выполнении научно-исследовательских и нормативно-технических работ по оптимизации объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений, в том числе тех, на которые отсутствуют нормы проектирования, а также при проведении оценки страхования пожарных рисков.

Разработанный метод расчета может быть положен в основу технических регламентов и сводов правил в области строительства и пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru