

УДК 541.11

И.Б. Собечко, М.Я. Пуняк, Р.Т. Прокоп, Ю.Я. Ван-Чин-Сян

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЧЕСКИХ ГИДРОКСИЛСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

Национальный университет «Львівська політехніка»

Проведен сопоставительный анализ экспериментальных и рассчитанных величин энтальпий испарения и образования в газообразном состоянии гидроксилсодержащих органических соединений. Показана возможность количественного определения энергии внутримолекулярной водородной связи, возникающей в молекулах пероксикислот и β -гидроксипероксидов, что вызывает необходимость применения дополнительных поправок на дальние невалентные взаимодействия в существующие аддитивные схемы расчета.

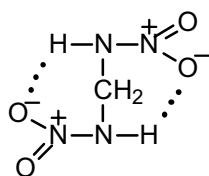
Способность гидроксильной группы к образованию внутри- и межмолекулярных водородных связей общеизвестна, что позволяет с достаточной большой уверенностью прогнозировать её появление в тех или иных случаях. Гораздо сложнее предсказать величину энергии водородной связи, которая во многом определяет как структуру, так и реакционную способность образований, формируемых при ее участии. Решению этой задачи может помочь термодимический анализ с привлечением величин энтальпий испарения (сублимации) и образования органических веществ в конденсированном состоянии. Если первая величина характеризует суммарную энергию межмолекулярных взаимодействий (в том числе водородных связей), то вторая, кроме того, — энергию химических связей и внутримолекулярных невалентных взаимодействий в молекуле. Совместный анализ этих характеристик даёт возможность их разделения. Известно, что при монотонном изменении состава молекул, как правило, так

же монотонно изменяются их свойства, в том числе, термодимические характеристики. Любое выпадение из такой закономерности свидетельствует о появлении дополнительного невалентного взаимодействия, энергия которого равна величине этого отклонения.

Отмеченная закономерность позволила, разработать аддитивные схемы расчёта энергетических характеристик органических соединений. Наиболее удачным из них можно считать аддитивный метод групповых вкладов (расчет по атомам с учетом первого окружения), позволяющий с достаточной точностью рассчитывать энтальпии образования [1–5] и испарения [6–8] органических молекул, не отягощенных неучтенными (аномальными) невалентными взаимодействиями.

Сравнение экспериментальных характеристик веществ с соответствующими модельными характеристиками, полученными с использованием расчетных схем, даёт возможность не только обнаружить, но и количественно оценить вели-

чину этой аномалии. Показательный пример по этому случаю приведен в [7] при сравнении энтальпий сублимации и образования в газовой фазе двух гомологов – метиленидинитрамина ($81,6 \pm 1,4$ и $24,0 \pm 0,7$) и этилендинитрамина ($146,8 \pm 0,4$ и $43,6 \pm 1,6$), все величины в кДж/моль. Принимая во внимание, что инкремент CH_2 -группы в энтальпию сублимации составляет 6–7 кДж/моль [5], а в энтальпию образования в газовой фазе – 20,7 кДж/моль [2], наблюдаемые аномалии могут быть объяснены спецификой образования внутримолекулярных водородных связей в этих соединениях. Строение метиленидинитрамина позволяет его молекуле образовывать два устойчивых шестичленных цикла, замкнутых внутримолекулярными водородными связями:



Напротив, молекула этилендинитрамина такими пространственными возможностями не обладает. Поэтому разница между реальной и расчетной (ожидаемой) энтальпией образования этилендинитрамина ($43,6 - (24,0 - 20,7) = 40,3$ кДж/моль) представляет собой энергию разрыва этих внутримолекулярных связей. Освободившиеся от внутримолекулярных пут аминные атомы водорода способствуют укреплению межмолекулярных связей в этилендинитраме, что нашло отражение в его аномально завышенной (на 58 кДж/моль) энтальпии сублимации.

В определённой мере эта же проблема затронута нами в предыдущей работе [9] при анализе энтальпий испарения циклических, в том числе кислородсодержащих, соединений.

В предлагаемой статье представлены результаты анализа термодимических характеристик некоторых гидроксилсодержащих органических соединений, исследованных в нашей лаборатории, а также привлеченных из литературных источников для подтверждения или отрицания сформулированных предположений.

Экспериментальные величины стандартных энтальпий образования веществ в конденсированном состоянии определены нами ранее в прецизионном калориметре сжигания В-08М с изотермической ($\pm 0,015\text{K}$) оболочкой [10,11] а энтальпии испарения измерены на теплопроводящем дифференциальном микрокалориметре МИД-200 по стандартной ампульной методике [12].

Расчетные величины термодимических характеристик соединений, необходимые для сопоставительного анализа и представленные в табл. 2 и 3, получали с использованием схем расчёта стан-

Таблица 1

Групповые вклады для расчета стандартных энтальпий образования в газовой фазе и энтальпий испарения органических соединений

Тип группы	X_i , кДж/моль	
	$\Delta_f H_{298}^\circ$	$\Delta_{\text{vap}} H_{298}$
$\text{CH}_3-(\text{C})$	-42,07	5,88
$(\text{C})-\text{CH}_2-(\text{C})$	-20,71	4,81
$\text{CH}_3-(\text{O})$	-42,07	5,88
$(\text{C})-\text{CH}_2-(\text{O})$	-35,56	3,38
$(\text{C})_2-\text{CH}-(\text{O})$	-29,29	0,19
$(\text{C})_3-\text{C}-(\text{O})$	-27,61	-2,43
$(\text{C})-\text{CH}_2-(\text{CO})$	-20,92	3,06
$(\text{C})-\text{CH}-(\text{O})_2$	-71,96	1,53
$(\text{O})-\text{CH}_2-(\text{O})$	-74,06	3,34
$(\text{C})-\text{CO}-(\text{O})$	-139,74	14,00
$(\text{C}_b)-\text{CO}-(\text{O})$	-150,62	18,12
C_bH	13,81	5,55
$\text{C}_b-(\text{CO})$	40,58	3,00
$(\text{C})-\text{O}-(\text{C})$	-99,16	8,36
$(\text{C})-\text{O}-(\text{O})^*$	-19,32	6,26
$(\text{CO})-\text{O}-(\text{O})^*$	-90,64	4,30
$(\text{C})-\text{OH}$	-158,49	33,33
$(\text{O})-\text{OH}^*$	-54,70	27,44

Таблица 2

Сравнение экспериментальных и расчетных величин энтальпии испарения жидких эфиров этиленгликоля

R_1	R_2	$\Delta_{\text{vap}} H_{298}$, кДж/моль		$\Delta(\Delta_{\text{vap}} H_{298})$, кДж/моль
		эксперимент	расчет	
Диэфиры этиленгликоля $R_1-\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O}-R_2$ [16]				
CH_3	CH_3	$36,39 \pm 0,02$	35,24	1,2
CH_3	C_2H_5	$39,83 \pm 0,04$	38,62	1,2
CH_3	$n-\text{C}_3\text{H}_7$	$43,63 \pm 0,02$	43,43	0,2
CH_3	$n-\text{C}_4\text{H}_9$	$47,83 \pm 0,05$	48,24	-0,4
C_2H_5	C_2H_5	$43,20 \pm 0,07$	42,00	1,2
C_2H_5	$n-\text{C}_3\text{H}_7$	$46,78 \pm 0,07$	46,81	0,0
C_2H_5	$n-\text{C}_4\text{H}_9$	$50,94 \pm 0,10$	51,62	-0,7
$n-\text{C}_3\text{H}_7$	$n-\text{C}_3\text{H}_7$	$50,62 \pm 0,14$	51,62	-1,0
$n-\text{C}_3\text{H}_7$	$n-\text{C}_4\text{H}_9$	$54,64 \pm 0,08$	56,43	-1,8
$n-\text{C}_4\text{H}_9$	$n-\text{C}_4\text{H}_9$	$58,76 \pm 0,08$	61,24	-2,5
Среднее значение $\Delta(\Delta_{\text{vap}} H_{298}) = -0,3 \pm 0,8$ кДж/моль				
Моноэфиры этиленгликоля $R_1-\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ [17]				
CH_3	-	$45,17 \pm 0,04$	54,33	-9,2
C_2H_5	-	$48,21 \pm 0,05$	57,71	-9,5
$n-\text{C}_3\text{H}_7$	-	$52,12 \pm 0,10$	62,52	-10,4
изо- C_3H_7	-	$50,12 \pm 0,09$	60,40	-10,3
$n-\text{C}_4\text{H}_9$	-	$56,59 \pm 0,02$	67,33	-10,7
Среднее значение $\Delta(\Delta_{\text{vap}} H_{298}) = -10,0 \pm 0,6$ кДж/моль				
Диэфиры глицерина $R_1-\text{OCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{O}-R_2$ [18,19]				
$(\text{CH}_3)_3\text{C}$	C_2H_5	$71,5 \pm 1,2$	81,47	-10,0
$(\text{CH}_3)_3\text{C}$	$n-\text{C}_3\text{H}_7$	$74,2 \pm 1,4$	86,28	-12,1
$(\text{CH}_3)_3\text{C}$	$n-\text{C}_4\text{H}_9$	$74,8 \pm 1,2$	91,09	-16,3
$(\text{CH}_3)_3\text{C}$	$n-\text{C}_5\text{H}_{11}$	$76,8 \pm 1,5$	95,90	-19,1
Среднее значение $\Delta(\Delta_{\text{vap}} H_{298}) = -14,4 \pm 3,3$ кДж/моль				

дартной энтальпии образования веществ в газовой фазе [2] и энтальпии испарения веществ [7]. Величины соответствующих инкрементов приведены в табл. 1. Кроме того, для расчета стандартных энтальпий образования веществ в кристаллическом состоянии (табл. 4) использованы следующие величины инкрементов [5], кДж/моль: $\{CH_3-(C)\} = -53,68$; $\{(C)-CH_2-(C)\} = -28,87$; $\{(C)_3-C-(O)\} = 6,69$; $\{(C)-OH\} = -207,07$; $\{(C)-O-(O)\}^* = -35,21$; $\{(O)-OH\}^* = -107,95$. Указанные аддитивные схемы расчета дополнены групповыми вкладами, полученными в нашей лаборатории [13,14] при исследовании термодинамических характеристик органических пероксидов (в тексте и в табл. 1 отмечены *).

При анализе данных по энтальпиям испарения додециловых эфиров полиоксиэтиленов $C_{12}H_{25}-(OCH_2CH_2)_n-OH$, где $n=1-4$, авторы [15] показали, что за счет дальних невалентных взаимодействий полиоксиэтиленовая цепь имеет циклическое строение благодаря образованию внутримолекулярной водородной связи между концевой гидроксильной группой и эфирным кислородом цепи. Ожидаемое в таких случаях снижение полярности молекул и, как следствие, уменьшение энтальпии испарения подтверждается работами И. Вадсо по калориметрическому определению энтальпий испарения ди- [16] и моно- [17] эфиров этиленгликоля, а также данными, полученными в нашей лаборатории, для неполных эфиров глицерина [18,19]. Результаты сопоставления экспериментальных и рассчитанных по схеме [5] термодинамических характеристик веществ представлены в табл. 2.

Анализируя данные, приведенные в табл. 2, можно убедиться в том, что необходимость вве-

дения дополнительной (отрицательной) поправки в энтальпию испарения органических соединений, содержащих кислородные атомы в β -положении, возникает лишь в том случае, когда один из кислородов – гидроксильный, то есть способный к образованию водородной связи, в данном случае – внутримолекулярной. Наблюдаемое при этом снижение энергии межмолекулярного взаимодействия за счет переориентации гидроксильных групп с меж- на внутримолекулярные водородные связи может быть охарактеризована величиной $\Delta(\Delta_{vap}H)$. К такому же выводу пришли авторы расчетной схемы [8], которые предложили использовать уменьшенные инкременты на HO-группы, входящие в состав многоатомных спиртов.

Вопросы, относящиеся к возможности количественного определения энергии дополнительного (кроме химических связей) внутримолекулярного взаимодействия за счет образования водородной связи, целесообразно, по нашему мнению, решать с привлечением сведений об энтальпии образования соединений в газообразном состоянии. Использование гидроксильного водорода на образование внутримолекулярной водородной связи в молекуле вещества должно найти своё отражение не только в понижении энтальпии его испарения, но и в существенном уменьшении энергии его сгорания, ибо требуются дополнительные энергетические затраты на её разрыв. В этом случае разность между экспериментальной и рассчитанной величинами энтальпии образования соединения представляет собой энергию образования внутримолекулярной водородной связи.

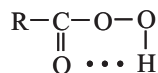
В табл. 3 проведено сравнение термодинами-

Таблица 3
Сравнение экспериментальных и расчетных величин стандартных энтальпий образования в газовой фазе и энтальпий испарения гидроксилсодержащих пероксидов

Соединение	$-\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль			$\Delta_{vap} H_{298}$, кДж/моль		
	эксперимент	расчет	$\Delta(\Delta)$	эксперимент	расчет	$\Delta(\Delta)$
Пероксикислоты						
$C_7H_{15}C(O)OON$ (при 308,2 К)				$64,4 \pm 1,6$ [20]	80,48	-16,1
$C_8H_{17}C(O)OON$ (при 308,2 К)				$68,9 \pm 1,3$ [20]	85,29	-16,4
$C_9H_{19}C(O)OON$	$508,7 \pm 4,2$ [21]	492,83	-15,9			
$C_{11}H_{23}C(O)OON$	$548,9 \pm 8,5$ [22]	534,25	-14,6	$85,1 \pm 1,9$ [23]	99,81	-14,7
$C_{13}H_{27}C(O)OON$	$599,7 \pm 9,8$ [22]	575,67	-24,0			
$C_6H_5-C(O)OON$ (при 313,0 К)				$62,3 \pm 1,1$ [20]	80,61	-18,3
Среднее значение	$\Delta(\Delta_f) = -18,2 \pm 3,9$ кДж/моль			$\Delta(\Delta_{vap}) = -16,4 \pm 1,0$ кДж/моль		
α -Гидроксипероксиды						
$(CH_3)_3COOCH_2OH$	$421,4 \pm 2,2$ [24]	425,01	3,6	$63,2 \pm 1,0$ [25]	64,40	-1,2
$(CH_3)_3COOCH(C_2H_5)OH$	$489,5 \pm 2,8$ [24]	485,69	-3,8	$70,5 \pm 1,1$ [25]	73,28	-2,8
Среднее значение	$\Delta(\Delta_f) = -0,1 \pm 3,7$ кДж/моль			$\Delta(\Delta_{vap}) = -2,0 \pm 0,8$ кДж/моль		
β -Гидроксипероксиды [25]						
$(CH_3)_3COOCH_2CH_2OH$	$445,4 \pm 3,1$ [24]	422,07	-23,1	$60,3 \pm 2,2$ [20]	67,82	-7,5
$(CH_3)_3COOCH_2CH(OH)CH_2OH$	$631,7 \pm 2,7$ [25]	609,85	-21,9	$87,5 \pm 1,0$ [20]	101,3	-13,8
Среднее значение	$\Delta(\Delta_f) = -22,5 \pm 0,6$ кДж/моль			$\Delta(\Delta_{vap}) = -10,6 \pm 3,2$ кДж/моль		

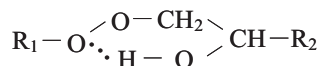
ческих характеристик гидроксилсодержащих диалкилпероксидов, в разное время исследованных в нашей лаборатории.

Анализ величин энтальпий образования алифатических пероксикислот свидетельствует о наличии в последних внутримолекулярной водородной связи с энергией $E_H = \Delta(\Delta_f)$ между гидроксильным атомом водорода и кислородом карбоксильной группы.



По данным [26] энергия водородной связи E_H в алифатических пероксикислотах составляет 15 кДж/моль.

Подобное явление имеет место и в случае некоторых гидроксилсодержащих диалкилпероксидов, в которых при благоприятном числе атомов, разделяющих пероксидную и гидроксильную группы (β -гидроксипероксиды), по мнению авторов [27], реализуется ненапряженный шестичленный цикл.



Анализ энтальпий образования органических веществ в твердом состоянии представляет более сложную, чем ранее рассмотренные, задачу. В этом случае, кроме всего прочего, проявляют себя аномалии, связанные со способностью органических веществ, даже внутри гомологического ряда, образовывать кристаллические структуры, существенно различающиеся по температуре и энтальпиям плавления. Неоднократно отмечалось существование «пилообразного» изменения температуры плавления (например [28]) и энтальпии образования твердых веществ [29] в гомологических рядах органических соединений, содержащих полярные функциональные группы. Подобный

Таблица 4

Сравнение экспериментальных и расчетных величин стандартных энтальпий образования твердых диолов и дигидропероксидов

№ п/п	n	$-\Delta_f H^\circ_{298}$, кДж/моль		$\Delta(\Delta_f H^\circ_{298})$, кДж/моль
		эксперимент	расчет [5]	
HO-C(CH₃)₂-(CH₂)_n-(CH₃)₂C-OH [30]				
1	2	681,6±3,2	673,22	-8,4
2	3	761,0±4,0	702,09	-58,9
3	4	730,1±4,0	730,96	0,9
4	6	789,6±5,8	788,70	-0,9
5	7	836,0±4,2	817,57	-18,4
6	8	846,0±5,6	846,44	0,4
HOOC-C(CH₃)₂-(CH₂)_n-(CH₃)₂C-OOH [30,31]				
7	2	551,9±4,7	545,40	-6,5
8	3	605,7±3,4	574,27	-31,4
9	4	597,9±5,8	603,14	5,2

характер изменения характеристик органических веществ, имеющий место при монотонном возрастании числа метиленовых групп в молекулах, требует введения дополнительных энергетических поправок на парноаддитивное взаимодействие функциональных групп, находящихся в различной взаимной отдаленности. Наглядно это явление проиллюстрировано в табл. 4 на примере дитретичных диолов и дигидропероксидов.

Из табл. 4 следует, что диолы и дигидропероксиды с четным числом метиленовых групп хорошо описываются базовой схемой [1-3]. В то же время для диолов с нечетным числом метиленовых групп требуются дополнительные поправки, величины которых зависят от степени взаимной отдаленности гидроксильных групп. Если предположить, что характер изменения этой поправки близок к линейному, то в аномальном дигидропероксиде с $n=3$ (соединение № 8) число атомов, разделяющих в цепочке гидроксильные группы, равно семи. Такое же число разделяющих атомов в неисследованном диоле с $n=5$, рассчитанная поправка для которого на парноаддитивное взаимодействие OH-групп была бы равна $-(58,9+18,4)=-38,6$ кДж/моль и вполне подходит для аномального дигидропероксида с $n=3$.

Таким образом, при сопоставлении экспериментальных и рассчитанных характеристик величин химических соединений полезно акцентировать внимание на случаи их несовпадения, которые могут быть вызваны либо ошибкой в эксперименте, либо наличием в данном соединении неучтенного при расчете дополнительного внутри- или межмолекулярного взаимодействия. Решение этого вопроса в пользу любой из упомянутых причин всегда имеет практическую ценность. Проведенный выше анализ термодинамических характеристик гидроксилсодержащих органических веществ позволил количественно зафиксировать в них невалентные взаимодействия, реализуемые с участием водородных связей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cox J.D., Pilcher G. Thermochemistry of Organic and Organometallic Compounds. – N.Y., L.: Acad. Press., 1970. – 643 p.
2. Бенсон С. Термодинамическая кинетика. – М.: Мир, 1971. – 308 с.
3. Benson S.W., Buss I.M. Additivity rules for the estimation of molecular properties. Thermodynamic properties / J. Chem. Phys. – 1958. – Vol.29. – P.546-572.
4. Параметры для расчета стандартных энтальпий образования органических соединений в жидком состоянии / А.Н. Кизин, П.Л. Дворкин, Г.Л. Рыжова, Ю.А. Лебедев // Изв. АН СССР. Сер. Химия. – 1986. – № 2. – С.372-374.
5. Кизин А.Н., Лебедев Ю.А. Расчет энтальпий обра-

- зования полизамещенных алифатических соединений в твердой фазе // Докл. АН СССР. – 1982. – Т.262. – № 4. – С.914-917.
6. *Chickos J.S., Acree W.E.* Enthalpies of vaporization of organic and organometallic compounds, 1880-2002 // J. Phys. Chem. Ref. Data. – 2003. – Vol.32. – № 2. – P.519-878.
7. *Лебедев Ю.А., Мирошниченко Е.А.* Термохимия паробразования органических веществ. – М.: Наука, 1981. – 216 с.
8. *Ducros M., Gruson J.F., Sannier Y.* Estimation des enthalpies de vaporisation des composés des organiques liquides. Partie 1. Applications aux alcanes, cycloalcanes, alcènes, hydrocarbures benzeniques, alcools, alcanes thiols, chloro et bromoalcanes, nitriles, esters, acides et aldehydes // Thermochem. Acta. – 1980. – Vol.38. – № 1. – P.39-65.
9. *Расчет* энтальпий испарения органических алициклических соединений / Ю.Я. Ван-Чин-Сян, И.Б. Собечко, Ю.П. Павловский, В.М. Дибривный В.М // Вопр. химии и хим. технологии. – 2011. – № 2. – С.135-139.
10. *Скуратов С.М., Колесов В.П., Воробьев А.Ф.* Термохимия. – М.: МГУ, 1964. – Ч.2. – 252 с.
11. *Олейник Б.Н.* Точная калориметрия. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 208 с.
12. *Лебедев Ю.А., Мирошниченко Е.А., Воробьева В.А.* Свидетельство Госстандарта СССР. – № 46-83.
13. *Расчет* энтальпии испарения эпоксидных и пероксидных соединений / Ван-Чин-Сян Ю.Я., Качурина Н.С., Коротюк В.Ф., Павловский Ю.П. // Журн. физ. химии. – 1985. – Т.59. – № 4. – С.1001-1004.
14. *Термодинамічні* властивості кисневмісних органічних сполук. Довідник / Ван-Чин-Сян Ю.Я., Собечко І.Б., Дібрівний В.М. та ін. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2012. – 141 с.
15. *Nakamura M., Eda K., Kosiyama K.* Heat of evaporation of polyoxyethylene dodecyl ethers // Bull. Chem. Soc. Jap. – 1974. – Vol.47. – № 1. – P.2877-2879.
16. *Kusano K., Wadsz I.* Enthalpies of vaporization of organic compounds. VIII. Alkoxyethanols // Acta Chem. Scand. – 1971. – Vol.25. – № 1. – P.219-224.
17. *Kusano K., Wadsz I.* Enthalpies of vaporization of organic compounds. VI. Some Disubstituted Ethylene glycols // Acta Chem. Scand. – 1970. – Vol.24. – № 6. – P.2037-2042.
18. *Стандартные* теплоты образования некоторых 1-алкокси-3-третбутил-оксипропанолов-2 / И.Д. Зайкин, Ю.Я. Ван-Чин-Сян, С.К. Чучмарев, Г.И. Елагин // Журн. физ. химии. – 1974. – Т.48. – № 7. – С.1864.
19. *Ван-Чин-Сян Ю.Я., Качурина Н.С.* Термохимия органических и элементарорганических пероксидов // Химия органических пероксидов: Материалы Всесоюзн. конф. – Н. Новгород. – 1991. – С.42-53.
20. *Павловский Ю.П.* Энтальпии фазовых переходов органических пероксидов: Дис...канд. хим. наук. – Львов: ЛПИ, 1985. – 136 с.
21. *Коротюк В.Ф.* Термохимические свойства органических дипероксидов и их полупродуктов: Дис...канд. хим. наук. – Львов: ЛПИ, 1983. – 144 с.
22. *Swain H.A., Silbert L.S., Miller J.G.* The Heats of Combustion of Aliphatic Long Chain Peroxyacids, t-Butyl Peroxyesters and Related Acids and Esters // J. Am. Chem. Soc. – 1964. – Vol.86. – № 13. – P.2562-2566.
23. *Swain H.A., Kwan Chin-Yin, Sung Ho-Nan.* Measurement of vapor pressure from 20 to 30°C of Long-chain Peroxyacids // J. Phys. Chem. – 1980. – Vol.84. – № 11. – P.1347-1349.
24. *Термодинамические* свойства некоторых оксипероксидов / Ю.Я. Ван-Чин-Сян, Н.С. Качурина, Г.А. Петровская, С.К. Чучмарев. // Журн. физ. химии. – 1983. – Т.57. – № 11. – С.2888-2889.
25. *Качурина Н.С.* Термохимические свойства эпоксидных соединений и оксипероксидов: Дис...канд. хим. наук. – Львов: ЛПИ, 1984. – 152 с.
26. *Peroxides. II.* Preparation, characterization and polarographie of long-chain peracids / W.E. Parker, C. Riccinti, G.L. Ogg, D. Swern // J. Am. Chem. Soc. – 1955. – Vol.77. – № 15. – P.4037-4041.
27. *Исследование* механизма распада оксиэтил-трет-бутилпероксида / Мадорская Л.Я., Логинова Н.Н., Самойлов В.М., Агапитов А.В., Макеенко Т.Г. // Каталитические и иницирующие системы для синтеза и модификации полимеров. – Л.: ОНПО «Пластполимер», 1984. – С.81-84.
28. *Фаворский А.Е.* Курс органической химии. Изд. второе. – Л.: Ленинградский Областлит., 1931. – 559 с.
29. *Зайкин И.Д., Назарук Л.Н., Клим Н.И.* Зависимость теплот образования двутретичных гликолей от числа метиленовых групп в молекуле // Журн. физ. химии. – 1971. – Т.45. – № 11. – С.2954-2955.
30. *Назарук Л.Н.* Стандартные теплоты образования некоторых двутретичных дигидроперекисей и гликолей: Дис...канд. хим. наук. – Львов: ЛПИ, 1970. – 148 с.
31. *Термодинамические* свойства некоторых бифункциональных соединений / Ю.Я. Ван-Чин-Сян, В.Ф. Коротюк, Ю.В. Панченко, С.К. Чучмарев. // Журн. физ. химии. – 1983. – Т.57. – № 11. – С.2856-2858.

Поступила в редакцию 28.11.2012