

А.С. Маршалек^а, І.Б. Собечко^а, Ю.І. Горак^б, В.В. Кочубей^а, В.М. Дібрівний^а

ТЕРМОДИНАМІЧНІ ПАРАМЕТРИ РОЗЧИНЕННЯ ОКСИМІВ 5-НІТРОФЕНІЛФУРФУРОЛІВ В ЕТИЛАЦЕТАТІ

^аНаціональний університет "Львівська політехніка"

^бЛьвівський національний університет імені Івана Франка

В роботі експериментально досліджена розчинність 5-нітрофенілфурфуролів в етилацетаті в інтервалі температур 294–327 К. За температурними залежності розчинності досліджених сполук розраховані ентальпії та ентропії їх розчинення. Здійснені дериватографічні дослідження речовин в температурному інтервалі 295–515 К. За даними диференційно-термічного аналізу визначені величини ентальпій та ентропій плавлення. Надані рівняння, за якими здійснено перерахунок ентальпій та ентропій плавлення до середніх температур досліджень розчинності. З термодинамічних величин розчинення і плавлення розраховані ентальпії та ентропії змішування досліджених сполук з етилацетатом. За значеннями ентальпій змішування проаналізовано енергії взаємодій між молекулами розчиненої речовини та розчинника у розчинах. Близькість значень величин $\Delta_{\text{mix}}H^0$ до нуля свідчить про приблизну рівність енергії руйнування зв'язків окремих компонентів та енергії нових міжмолекулярних зв'язків.

Ключові слова: оксим 5-(2-нітрофеніл)-2-фурфуролу, оксим 5-(3-нітрофеніл)-2-фурфуролу, оксим 5-(4-нітрофеніл)-2-фурфуролу, ентальпія та ентропія розчинення, плавлення, змішування.

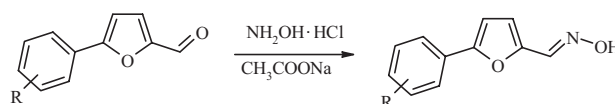
Вступ

Оксими фурфуролу застосовуються як інгібітори нітрифікації ґрунтів [1], як проміжні сполук при синтезі медичних препаратів з протитуберкульозною [2], противірусною [3] дією, а також для багатьох синтезів дизамічених похідних фурану [4]. Фенільні похідні оксиму фурфуролу проявляють спазмолітичні, судинорозширювальні, кардіотропні та антивірусні [5] властивості. Більшість технологічних процесів за їх участю відбуваються в середовищі розчинників. Тому термодинамічні властивості розчинності оксиму фурфуролу та його нітрофенільних похідних необхідні для оптимізації та розрахунку енергетичних балансів процесів їх синтезу, очищення та застосування. Крім того одержані характеристики мають самостійне значення для теорії термодинаміки розчинів.

Більшість реакцій в хімічній та фармацевтичній промисловості відбуваються в середовищі розчинників, в тому числі і етилацетаті. Як відомо, [6] в процесі розчинення між компонентами відбуваються взаємодії, знання природи і енергій яких дозволить оптимізувати процеси синтезу, очищення та перероблення речовин.

Експериментальна частина та результати досліджень

Синтез досліджуваних сполук здійснювали за схемою:



R=2-NO₂ (А), 3-NO₂ (Б), 4-NO₂ (В).

Одержували оксими нітрофеніл-2-фурфуролів при взаємодії відповідних нітрофеніл-2-фурфуролів з гідрохлоридом гідроксиламіну в етанолі у присутності ацетату натрію.

Синтезовані зразки трикратно перекристалізували з етилового спирту.

Будову синтезованих сполук підтверджували даними ЯМР-спектроскопії. Спектри ЯМР¹H записували на спектрометрі Varian 600 (600 МГц). Як розчинник використовували – ДМСО-d₆ (сполуки Б та В) та ацетон-d₆ (сполука А). Хімічні зміщення (d м.ч.) наведені відносно сигналу ДМСО та ацетону. Дані спектрів ЯМР¹H наведені в табл. 1.

Спектри ЯМР ¹H досліджених сполук

Сполука	Хімічні зміщення, δ, м.ч.
A	6,96 (д, J=3,5 Гц, 1H, фуран); 7,41 (д, J=3,5 Гц, 1H, фуран); 7,47 (с, 1H, СН); 7,64 (т, J=8,7 Гц, 1H, C ₆ H ₄); 7,78 (т, J=8,1 Гц, 1H, C ₆ H ₄); 7,88 (д, J=8,0 Гц, 1H, C ₆ H ₄); 7,91 (д, J=7,2 Гц, 1H, C ₆ H ₄), 11,20 (с, 1H, NH).
Б	7,32 (д, J=3,3 Гц, 1H, фуран); 7,43 (д, J=3,3 Гц, 1H, фуран); 7,68 (с, 1H, СН); 7,74 (т, J=8,0 Гц, 1H, C ₆ H ₄); 8,19 (д, J=7,7 Гц, 1H, C ₆ H ₄); 8,24 (д, J=7,9 Гц, 1H, C ₆ H ₄); 8,53 (с, 1H, C ₆ H ₄); 12,02 (с, 1H, NOH).
В*	6,91 (д, J=3,6 Гц, 0,82H, syn-фуран); 7,36 (д, J=3,6 Гц, 0,18H, anti-фуран); 7,41 (д, J=3,6 Гц, 0,82H, syn-фуран); 7,45 (д, J=3,6 Гц, 0,18H, anti-фуран); 7,67 (с, 0,18H, anti-СН); 7,97 (д, J=8,9 Гц, 1,64H, syn-C ₆ H ₄); 8,00 (д, J=8,9 Гц, 0,36H, anti-C ₆ H ₄); 8,10 (с, 0,82H, syn-СН); 8,28–8,31 (m, 2H); 11,56 (с, 0,82H, syn-OH); 12,10 (с, 0,18H, anti-OH).

Примітка: *Отримано у формі *анти*-ізомерів- Співвідношення *анти-син* ізомерів 9:41 (~1:4,55)

Чистота досліджених сполук підтверджена результатами рідинної хроматографії високого тиску.

Перед використанням етилацетат очищали фракційною перегонкою з наступною його ідентифікацією за показником заломлення (1,3726, літературні дані – 1,3724); методом газорідинної хроматографії встановлено, що вміст у ньому основного компонента складав не менше 99,9 мас.%.

Розчинення речовини виконували в тригорлій колбі, оснащених термометром і мішалкою. Перед початком досліджень речовину витримували в розчиннику при кімнатній температурі дві доби після чого вмикали перемішування. Час перемішування становив 45 хв при температурі досліду, постійність якої ($\pm 0,1^0$) досягали за допомогою водяного термостата. Швидкість перемішування (50 об./хв) підбирали так, щоб вся тверда фаза перебувала в завислому стані. Відбір проб здійснювали після повного осадження твердих частинок. Для підтвердження встановлення рівноваги досліди здійснювали як в режимі підвищення температури, так і її пониження. Відсутність петлі гістерезису на кривій температурної залежності розчинності підтвердила досягнення стану, близького до рівноважного. Масу насичених розчинів визначали за різницею мас бюксів до і після відбору проб на вагах ВЛР-200 з точністю 0,00005 г. Потім бюкси поміщали в сушильну шафу, де випаровували розчинник при температурі 323–333 К до постійної маси. Масу сухого залишку визначали за різницею мас бюкса з сухою речовиною та до відбору проби.

Ентальпію і ентропію розчинення розраховували за даними температурної залежності розчинності досліджуваних речовин в етилацетаті. У табл. 2 наведені маса розчиненої речовини (m_2), розчинність, виражена в мольних частках (x_2), та температура (Т). Також у таблицях наведені коефіцієнти лінійного рівняння $\ln x_2 =$

$=\Delta_{\text{sol}}S/R-\Delta_{\text{sol}}H/(R\cdot T)$, отримані в результаті обробки експериментальних даних. Тут і далі результати обробки експериментальних даних опрацьовані методом найменших квадратів з урахуванням коефіцієнта Стюдента для 95%-го рівня довіри.

При аналізі розчинності твердої речовини в рідині необхідно враховувати величини ентальпії та ентропії плавлення речовини ($\Delta_{\text{fus}}H$ та $\Delta_{\text{fus}}S$). Їх визначали за даними диференційно-термічного аналізу (ДТА) на дериватографі Q-1500 D системи Paulik – Paulik – Erdey в динамічному режимі зі швидкістю нагріву 3 К/хв в атмосфері повітря.

Для розрахунку ентальпії плавлення використовували рівняння 1 [6], в якому врахована поправка на втрату маси зразка при процесі плавлення, адже досліджені речовини згідно з отриманими даними ДТА, в процесі плавлення втрачають близько 3 мас.%.

$$K \cdot S = q_{\text{fus}} + q_{\text{vap}} = m_o \cdot \Delta_{\text{fus}}H + \Delta m_{\text{vap}} \cdot \Delta_{\text{vap}}H, \quad (1)$$

де q_{fus} і q_{vap} – кількість теплоти (Дж), яка поглинається при плавленні і випаровуванні зразка, відповідно; m_o – маса зразка (г), яка відповідає температурі початку його плавлення T_{fus} ; Δm_{vap} – втрата маси зразка (маса пари, г) за період, що враховували для визначення площі піка S (К·с) під нульовою лінією кривої ДТА; K – коефіцієнт теплопередачі (Дж/КЧс), визначений для установки у [4], $K=3,668 \cdot 10^{-2}-1,128 \cdot 10^{-4}T+2,723 \cdot 10^{-7}T^2$, $S^2=5,96 \cdot 10^{-7}$; $\Delta_{\text{fus}}H$ і $\Delta_{\text{vap}}H$ – питомі ентальпії плавлення і випаровування речовини (Дж/г) при T_{fus} . Поправку на теплоту випаровування q_{vap} розраховували за методикою, описаною у [7].

Складові величини рівняння (1), розраховані за даними ДТА, наведеними у табл. 3.

Обговорення отриманих результатів

Ентальпію плавлення речовин визначали при температурі плавлення, а ентальпію і ент-

Температурна залежність розчинності досліджених речовин в етилацетаті

№	m ₂ , г	x ₂	T, К	№	m ₂ , г	x ₂	T, К
Оксим 5-(2-нітрофеніл)-2-фурфуролу							
1	0,05610	0,05202	293,5	16	0,07720	0,06615	303,6
2	0,06010	0,05234	293,5	17	0,06885	0,06709	303,6
3	0,05510	0,05198	293,5	18	0,06480	0,06851	305,8
4	0,05935	0,05384	295,0	19	0,08165	0,06827	305,8
5	0,06370	0,05433	295,0	20	0,07040	0,06827	305,8
6	0,05690	0,05455	295,0	21	0,07295	0,07129	307,9
7	0,06835	0,05621	297,1	22	0,07675	0,07202	307,9
8	0,06390	0,05629	297,1	23	0,07285	0,07168	307,9
9	0,05965	0,05674	297,1	24	0,08150	0,07662	309,6
10	0,06895	0,05916	299,2	25	0,08575	0,07537	309,6
11	0,06545	0,05915	299,2	26	0,07800	0,07543	309,6
12	0,06135	0,05906	299,2	27	0,07995	0,08016	311,5
13	0,07010	0,06232	301,1	28	0,09125	0,08000	311,5
14	0,07085	0,06223	301,1	29	0,08220	0,08001	311,5
15	0,06425	0,06242	301,1	–	–	–	–
$\ln x_2 = 4,26 \pm 0,21 - ((2117,9 \pm 63,4)/T)$							
Оксим 5-(3-нітрофеніл)-2-фурфуролу							
1	0,00815	0,00707	298,1	22	0,01410	0,01187	315,8
2	0,00810	0,00722	298,1	23	0,01320	0,01208	315,8
3	0,00950	0,00780	300,6	24	0,01310	0,01175	315,8
4	0,00850	0,00746	300,6	25	0,01555	0,01282	318,0
5	0,00860	0,00779	300,6	26	0,01435	0,01285	318,0
6	0,01145	0,00808	302,7	27	0,01405	0,01277	318,0
7	0,00775	0,00788	302,7	28	0,01670	0,01335	319,6
8	0,00880	0,00810	302,7	29	0,01415	0,01320	319,6
9	0,01070	0,00876	304,6	30	0,01430	0,01327	319,6
10	0,00955	0,00854	304,6	31	0,01725	0,01388	321,6
11	0,00950	0,00863	304,6	32	0,01505	0,01363	321,6
12	0,01125	0,00930	306,6	33	0,01560	0,01399	321,6
13	0,01055	0,00926	306,6	34	0,01680	0,01524	323,6
14	0,00990	0,00907	306,6	35	0,01780	0,01509	323,6
15	0,01195	0,00985	308,9	36	0,01635	0,01512	323,6
16	0,01130	0,00967	308,9	37	0,01810	0,01538	325,6
17	0,01100	0,00986	308,9	38	0,01700	0,01512	325,6
18	0,01240	0,01058	311,4	39	0,01645	0,01538	325,6
19	0,01160	0,01051	311,4	40	0,01850	0,01652	327,4
20	0,01375	0,01140	313,7	41	0,01865	0,01638	327,4
21	0,01245	0,01123	313,7	42	0,01780	0,01652	327,4
$\ln x_2 = 4,41 \pm 0,17 - ((2792,3 \pm 52,1)/T)$							
Оксим 5-(4-нітрофеніл)-2-фурфуролу							
1	0,01075	0,009044	296,4	13	0,01230	0,01091	304,6
2	0,01025	0,008998	296,4	14	0,01215	0,01091	304,6
3	0,01020	0,009176	296,4	15	0,01365	0,01154	306,7
4	0,01135	0,009539	298,5	16	0,01380	0,01149	306,7
5	0,01055	0,009557	298,5	17	0,01230	0,01154	306,7
6	0,01050	0,009605	298,5	18	0,01380	0,01202	308,7
7	0,01170	0,009845	300,6	19	0,01415	0,01195	308,7
8	0,01100	0,009837	300,6	20	0,01320	0,01208	308,7
9	0,01170	0,01009	300,6	21	0,01410	0,01243	310,6
10	0,01235	0,01036	302,6	22	0,01415	0,01253	310,6
11	0,01180	0,01051	302,6	23	0,01355	0,01231	310,6
12	0,01385	0,01103	304,6	–	–	–	–
$\ln x_2 = 2,28 \pm 0,23 - ((2070,2 \pm 70,0)/T)$							

ропію розчинення в температурному інтервалі досліджень розчинності. Тому з метою узагальнення отриманих результатів величини ентальпії та ентропії плавлення перераховували до середньої температури інтервалу досліджень розчинності T_{cep} за рівняннями (2) та (3), запропонованими в [8] та наведеними у табл. 4:

$$\Delta_{\text{fus}}H_{T_{\text{cep}}} = \Delta_{\text{fus}}H_{T_{\text{fus}}} \cdot \frac{0,35 \cdot T_{\text{fus}} + T_{\text{cep}}}{1,35 \cdot T_{\text{fus}}}; \quad (2)$$

$$\Delta_{\text{fus}}S_{T_{\text{cep}}} = \Delta_{\text{fus}}S_{T_{\text{fus}}} \cdot 1 + 0,74 \cdot \ln \frac{T_{\text{cep}}}{T_{\text{fus}}}. \quad (3)$$

У табл. 4 наведені термодинамічні параметри розчинності досліджених сполук в етилацетаті при середній температурі інтервалу за якого досліджували розчинність T_{cep} . Величини ентальпії $\Delta_{\text{sol}}H$ та ентропії $\Delta_{\text{sol}}S$ розчинності включають відповідні параметри плавлення та змішування згідно з наступним рівнянням:

$$\Delta_{\text{sol}}H = \Delta_{\text{mix}}H + \Delta_{\text{fus}}H \quad \text{та} \quad \Delta_{\text{sol}}S = \Delta_{\text{mix}}S + \Delta_{\text{fus}}S.$$

Таблиця 3
Ентальпії плавлення досліджуваних сполук при температурі плавлення

m_0 , г	Δm_{vap} , г	S, К·с	q_{vap} , Дж	$\Delta_{\text{fus}}H$, кДж/моль
Оксим 5-(2-нітрофеніл)-2-фурфуrolу				
0,2001	0,0009	517,9	0,31	21,4
0,2001	0,0012	460,8	0,43	18,9
0,2001	0,0010	480,8	0,34	20,0
$\Delta_{\text{fus}}H_{\text{cep}} = 20,1 \pm 1,3$ кДж/моль, $T_{\text{fus}} = 411,1 \pm 0,7$ К; $K = 0,0363$ Дж/К·с				
Оксим 5-(3-нітрофеніл)-2-фурфуrolу				
0,1984	0,0011	566,1	0,42	26,27
0,2016	0,0009	593,6	0,33	27,23
0,2000	0,0010	581,2	0,38	26,75
$\Delta_{\text{fus}}H_{\text{cep}} = 26,75 \pm 0,48$ кДж/моль, $T_{\text{fus}} = 444,9 \pm 0,7$ К; $K = 0,04039$ Дж/К·с				
Оксим 5-(4-нітрофеніл)-2-фурфуrolу				
0,2008	0,0011	473,8	0,40	22,12
0,1995	0,0013	480,5	0,50	22,47
0,2001	0,0012	478,2	0,45	22,31
$\Delta_{\text{fus}}H_{\text{cep}} = 22,30 \pm 0,17$ кДж/моль, $T_{\text{fus}} = 451,1 \pm 0,7$ К; $K = 0,04121$ Дж/К·с				

Таблиця 4
Термодинамічні параметри плавлення та розчинності досліджуваних речовин в органічних розчинниках

$\Delta_{\text{sol}}H$	$\Delta_{\text{sol}}S$	T_{cep}	$\Delta_{\text{fus}}H_{T_{\text{cep}}}$	$\Delta_{\text{fus}}S_{T_{\text{cep}}}$	$\Delta_{\text{mix}}H_{T_{\text{cep}}}$	$\Delta_{\text{mix}}S_{T_{\text{cep}}}$
Оксим 5-(2-нітрофеніл)-2-фурфуrolу						
17,61±0,53	35,4±1,7	302,5	16,2±1,1	37,8±2,6	1,4±1,2	-2,4±3,2
Оксим 5-(3-нітрофеніл)-2-фурфуrolу						
23,22±0,43	36,7±1,4	312,8	20,9±1,4	44,4±3,1	2,3±1,5	-7, 8±3,4
Оксим 5-(4-нітрофеніл)-2-фурфуrolу						
17,21±0,58	19,00±1,9	303,5	16,9±1,2	34,9±2,4	0,3±1,3	-15,9±3,1

Близькість значень величин $\Delta_{\text{mix}}H^0$ (табл. 4) до нуля свідчать про приблизну рівність енергії руйнування сольватних іонів в розчинниках і енергії утворення нових міжмолекулярних взаємодій. Від'ємні значення ентропії змішування (табл. 4) свідчать про більшу впорядкованість молекул розчину порівняно з чистою речовиною.

Висновки

Досліджено температурну залежність розчинності оксиму 5-(2-нітрофеніл)-2-фурфуrolу, оксиму 5-(3-нітрофеніл)-2-фурфуrolу, оксиму 5-(4-нітрофеніл)-2-фурфуrolу в етилацетаті. За цими даними розраховано величини ентропії та ентальпії розчинення. Обчислено ентальпії та ентропії змішування компонентів під час утворення розчинів і проаналізовано енергію їх взаємодій. Дані величини можна застосувати для розрахунку параметрів процесів за участі розчинів даних сполук та їх оптимізації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Datta A., Walia S., Parmar B.S. Some Furfural Derivatives as Nitrification Inhibitors // *J. Agric. Food Chem.* – 2001. – Vol.10. – № 49. – P.4726-4731.
2. Meltzer R.I., Lewis A.D., King J.A. Antitubercular Substances. IV. Thioamides // *J. Am. Chem. Soc.* – 1955. – Vol.77. – № 15. – P.4062-4066.
3. Pandey O.P., Sengupta S.K., Chandra R. Efficacy of organophosphorous derivatives containing oximes against fungal pathogens of sugarcane // *EJEAFChe.* – 2006. – Vol.5. – № 5. – P.1515-1521.
4. Ager D.J. The synthesis of 2-, 5-distributed furans // *Tetrahedron Letters.* – 1983. – Vol.24. – № 49. – P.5441-5444.
5. Abele E., Lukevics E. Furan and thiophene oximes: synthesis, reactions, and biological activity. (Review) // *Chem. Heterocycl. Compd.* – 2001. – Vol.37. – № 2. – P.141-169.
6. Pajd K. Курс физической органической химии. – М.: Мир, 1972. – 575 с.
7. Дериватографическое определение энтальпии плавления веществ, которое сопровождается потерей массы образца. Энтальпии плавления фуран-2-карбоновой и 3-(2-фурил)-2-пропеновой кислот / Кочубей В.В., Собечко И.Б., Величковская Н.И., Прокоп Р.Т., Горак Ю.И., Ван-Чин-Сян Ю.Я. // Труды XIV международной конференции по термическому анализу и калориметрии в России (RTAC – 2013),

23-28 сентября 2013 года. – Спб., 2013. – С.312-314.

8. Термодинамические свойства фуран-2-карбоновой и 3-(2-фурил)-2-пропеновой кислот / И.Б. Собечко, Ю.Я. Ван-Чин-Сян, В.В. Кочубей, Р.Т. Прокоп, Н.И. Величкова, Ю.И. Горак, В.Н. Дибривный, Н.Д. Обушак // Журнал физической химии. – 2014. – Т.88. – № 12. – С.1885-1892.

Надійшла до редакції 17.12.2016

THERMODYNAMIC PARAMETERS OF DISSOLUTION OF 5-NITROPHENYL FURFURAL OXIMES IN ETHYL ACETATE

A.S. Marshalek ^a, I.B. Sobechko ^a, Y.I. Horak ^b, V.V. Kochubey ^a, V.M. Dibrivnyi ^a

^a Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

^b Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

This paper presents the results of the experimental investigation of the solubility of 5-nitrophenylfurfurals in ethyl acetate in the temperature range of 294 to 327 K. The enthalpies and entropies of dissolution were calculated based on the temperature dependence of the solubility in the system under consideration. The derivatographic study of the substances in the temperature range of 295 to 515 K has been performed. The enthalpies and entropies of fusion were calculated from the data of differential thermal analysis. The equations have been derived that allow adjusting the melting enthalpies and entropies to the average temperatures in which the solubility was studied. The mixing enthalpies and entropies of the studied compounds with ethyl acetate were calculated based on the thermodynamic quantities of dissolution and melting. Using the mixing enthalpy values, the interaction energies between molecules of solute and solvent in the solution was examined. The proximity of the mixing enthalpy values to zero suggests a rough equality between the energies needed for the destruction of bonds between individual components and the energies of new intermolecular interactions.

Keywords: 5-(2-nitrophenyl)-2-furyl-oxime; 5-(3-nitrophenyl)-2-furyl-oxime; 5-(4-nitrophenyl)-2-furyl-oxime; enthalpy; entropy; dissolution; melting; mixing.

REFERENCES

1. Datta A., Walia S., Parmar B.S. Some furfural derivatives as nitrification inhibitors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, vol. 49, pp. 4726-4731.
2. Meltzer R.I., Lewis A.D., King J.A. Antitubercular substances. IV. Thioamides. *Journal of the American Chemical Society*, 1955, vol. 77, no. 15, pp. 4062-4066.
3. Pandey O.P., Sengupta S.K., Chandra R. Efficacy of organophosphorous derivatives containing oximes against fungal pathogens of sugarcane. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 2006, vol. 5, no. 5, pp. 1515-1521.
4. Ager D.J. The synthesis of 2-,5-distributed furans. *Tetrahedron Letters*, 1983, vol. 24, no. 49, pp. 5441-5444.
5. Abele E., Lukevics E. Furan and thiophene oximes: synthesis, reactions, and biological activity. (Review). *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, 2001, vol. 37, no. 2, pp. 141-169.
6. Rayd K., *Kurs fizicheskoi organicheskoi khimii* [Course of physical organic chemistry]. Mir, Moscow, 1972. 575 p.
7. Kochubey V.V., Sobechko I.B., Velychkivska N.I., Prokop R.T., Horak Yu.I., Van-Chin-Syan Yu.Ya., Derivatograficheskoye opredeleniye ental'pii plavleniya veschestv, kotoroye soprovozhdayetsya poterei massy obraztsa. Ental'pii plavleniya furan-2-karbonovoy i 3-(2-furil)-2-propenovoy kislot [Derivatographic determination of fusion enthalpies for substances with mass loss of the sample. Fusion enthalpies of furan-2-carboxylic and 3-(2-furyl)-propanoic acid]. *Proceedings of the XIV International Conference on Thermal Analysis and Calorimetry in Russia (RTAC-2013)*. Russia, St. Petersburg, 2013, pp. 312-314. (in Russian).
8. Sobechko I.B., Van-Chin-Syan Yu.Ya., Kochubey V.V., Prokop R.T., Velychkivska N.I., Horak Yu.I., Dibrivnyi V.M., Obushak M.D. Termodinamicheskiye svoystva furan-2-karbonovoy i 3-(2-furil)-2-propenovoy kislot [Thermodynamic properties of furan-2-carboxylic and 3-(2-furyl)-propanoic acids]. *Zhurnal Fizicheskoi Khimii*, 2014, vol. 88, no. 12, pp. 1885-1892. (in Russian).