

УДК 544.3

**ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РОЗЧИНІВ
ОКСИМУ 5-(2-НІТРОФЕНІЛ)-2-ФУРФУРОЛУ
ТА β -[5-(2-НІТРОФЕНІЛ)-2-ФУРИЛ]-АКРИЛОВОЇ КИСЛОТИ
В ОРГАНІЧНИХ РОЗЧИННИКАХ**

**А. Маршалек, І. Собечко, Ю. Горак¹, В. Кочубей,
В. Дібрівний, Ю. Раєвський**

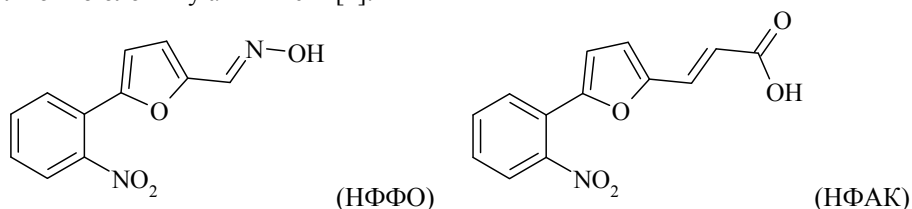
*Національний університет “Львівська політехніка”,
вул. С. Бандери, 12, 79013 Львів, Україна
e-mail: phys.chem.lp@gmail.com*

¹*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна*

За результатами температурної залежності розчинності оксиму 5-(2-нітрофеніл)-2-фурфуролу і β -[5-(2-нітрофеніл)-2-фурил]-акрилової кислоти визначено ентальпію та ентропію розчинення в ацетонітрилі, ізопропанолі й етилацетаті. Ентальпію, ентропію та енергію Гіббса процесу змішування при 298К розраховували з урахуванням теплоти плавлення, яку визначали за даними диференційно-термічного аналізу.

Ключові слова: оксим 5-(2-нітрофеніл)-2-фурфуролу, β -[5-(2-нітрофеніл)-2-фурил]-акрилова кислота, ентальпія розчинення, ентропія розчинення.

Оксим 5-(2-нітрофеніл)-2-фурфуролу (НФФО) та β -[5-(2-нітрофеніл)-2-фурил]-акрилова кислота (НФАК) — гетероциклическі похідні фурану, які проявляють біологічну активність [1]:



НФФО та НФАК використовують як вихідні речовини при синтезі біологічно активних сполук або ж як компоненти лікарських препаратів. Також НФАК використовується у синтезі полімерних матеріалів для виготовлення світло-стабілізаторів та люмінофорів [2].

Більшість хімічних реакцій у хімічній та фармацевтичній промисловості проводять у середовищі розчинників. Під час розчинення між компонентами відбуваються взаємодії, знання природи й енергій яких дасть змогу оптимізувати процеси синтезу, очищення та переробки речовин [3].

Експериментальна частина

Вихідною речовиною у синтезі досліджуваних сполук слугував 5-(2-нітрофеніл)-фуран-2-карбальдегід. Під час взаємодії з гідрохлоридом гідроксил-аміну за наявності плавленого ацетату натрію отримували НФФО, а в разі взаємодії з малоновою кислотою за наявності піперидину – НФАК. Синтезовані зразки трикратно перекристалізували з етилового спирту.

Будову синтезованих сполук підтверджували даними ЯМР-спектроскопії: НФФО – ^1H NMR (400 МГц, Acetone – *d*6), НФАК – ^1H NMR (400 МГц, DMSO – *d*6). Спектри ЯМР ^1H записували на приладі Varian 400 (400 МГц, табл. 1).

Таблиця 1

Спектри ЯМР ^1H НФФО та НФАК

Сполука	Хімічні зміщення δ , м. ч.
НФФО	^1H NMR (400 МГц, Acetone – <i>d</i> 6) δ 6.96 (d, $J = 3.5$ Гц, 1H, fur), 7.41 (d, $J = 3.5$ Гц, 1H, fur), 7.47 (s, 1H, CH), 7.64 (t, $J = 8.7$ Гц, 1H, C ₆ H ₃), 7.78 (t, $J = 8.1$ Гц, 1H, C ₆ H ₃), 7.88 (d, $J = 8.0$ Гц, 1H, C ₆ H ₃), 7.91 (d, $J = 7.2$ Гц, 1H, C ₆ H ₃), 11.20 (s, 1H, NH).
НФАК	^1H NMR (400 МГц, DMSO – <i>d</i> 6) δ 12.57 (s, 1H, COOH), 8.00 (d, $J = 7.8$ Гц, 1H, C ₆ H ₄), 7.96 (d, $J = 7.8$ Гц, 1H, C ₆ H ₄), 7.79 (t, $J = 7.8$ Гц, 1H, C ₆ H ₄), 7.65 (t, $J = 7.8$ Гц, 1H, C ₆ H ₄), 7.43 (d, $J = 15.7$ Гц, 1H, CH=), 7.17 (d, $J = 3.6$ Гц, 1H, fur), 7.10 (d, $J = 3.6$ Гц, 1H, fur), 6.17 (d, $J = 15.8$ Гц, 1H, CH=).

Чистота речовин опосередковано підтверджена стабільністю температури початку плавлення та значень ентальпії плавлення речовин.

Розчинники для досліджень обирали з огляду на їхні фізичні, хімічні, фізико-хімічні та технологічні властивості. Перш за все розчинники мали бути низькокиплячими та досить леткими; мати різні значення діелектричної проникності ϵ , дипольного моменту μ , донорного (DN) та акцепторного (AN) чисел; належати до різного класу сполук. Обрані розчинники та їхні фізичні константи наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Фізичні константи органічних розчинників

Розчинник	$T_{\text{кип}}$, К	n_D^{20}	ϵ	μ , D	AN	DN
Етилацетат	350,0	1,3724	6,02	1,85	9,3	17,1
Ацетонітрил	354,6	1,3442	37,5	3,5	18,9	14,1
Ізопропанол	355,4	1,3771	19,9	1,68	22,3	20,0

Перед використанням розчинники очищали фракційною перегонкою з подальшою їхньою ідентифікацією за показником заломлення; методом газорідної хроматографії з'ясовано, що вміст у них основного компонента становив не менше 99,9 мас. %.

Ентальпію та ентропію розчинення розраховували за даними температурної залежності розчинності досліджуваних речовин у наведених розчинниках.

Речовини розчиняли в тригорлій колбі оснащій термометром і мішалкою. Сталі температури досліду ($\pm 0,1^\circ$) досягали за допомогою водяного термостата. Швидкість перемішування (50 об/хв) підбирали так, щоб уся тверда фаза перебувала в завислому стані. Час розчинення становив 45 хв за постійного перемішування. Оскільки в процесі розчинення досліджених речовин утворювалася суспензія, то проби відбирали після повного осадження. Для підтвердження усталення рівноваги досліди проводили в режимі як підвищення температури, так і її зниження. Відсутність петлі гістерезису на кривій температурної залежності розчинності підтверджує досягнення стану, близького до рівноважного. Масу насичених розчинів визначали за різницею мас бюксів до і після відбору проб на вагах ВЛР-200 з точністю 0,0002 г. Потім бюкси поміщали в сушильну шафу, де випаровували розчинник за температури 323–333 К до сталої маси. Масу сухого залишку визначали за різницею мас бюкса з сухою речовиною та до відбору проби.

У табл. 3 і 4 наведені маса розчиненої речовини m_2 , НФФО та НФАК, відповідно, розчинність виражена в мольних частках (x_2), та температура T . Також у таблицях наведено коефіцієнти лінійного рівняння $\ln x_2 = \Delta_{sol}S/R - \Delta_{sol}H/(R \cdot T)$, отримані внаслідок опрацювання експериментальних даних. Тут і далі вибіркові дисперсії значень, отриманих унаслідок опрацювання експериментальних даних методом найменших квадратів, наведені без урахування коефіцієнта Стюдента.

У ході аналізу розчинності твердої речовини в рідині необхідно враховувати значення ентальпії плавлення речовини $\Delta_{fus}H$. У праці ($\Delta_{fus}H$) НФФО та ($\Delta_{fus}H$) НФАК визначали за даними диференційно-термічного аналізу (ДТА). Зразки аналізували на дериватографі Q-1500 D системи Paulik-Paulik-Erdey у динамічному режимі зі швидкістю нагрівання 3 К/хв в атмосфері повітря.

Для розрахунку ентальпії плавлення використовували термохімічне рівняння (1) [3], у якому врахована поправка на втрату маси зразка під час плавлення, адже НФФО та НФАК, згідно з отриманими дериватограмами, у процесі плавлення втрачають близько 3% маси:

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

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

Таблиця 3

Температурна залежність розчинності НФФО в органічних розчинниках

T, K	m_2, Γ	x_2	T, K	m_2, Γ	x_2	T, K	m_2, Γ	x_2
Ацетонітрил								
294,2	0,0441	0,0211	297,8	0,0495	0,0233	305,3	0,0612	0,0300
	0,0445	0,0211	300,5	0,0472	0,0250		0,0636	0,0307
	0,0454	0,0216		0,0473	0,0251	0,0564	0,0320	
295,0	0,0440	0,0222		301,0	0,0519	0,0253	308,4	0,0659
	0,0454	0,0219	0,0455		0,0255	0,0668		0,0320
	0,0485	0,0220	0,0520		0,0250	0,0675	0,0343	
296,5	0,0461	0,0223	302,6	0,0623	0,0251	310,5	0,0697	0,0346
	0,0471	0,0224		0,0512	0,0273		0,0709	0,0343
	0,0484	0,0222		0,0526	0,0275	0,0704	0,0366	
297,8	0,0465	0,0234	305,3	0,0534	0,0279	312,1	0,0746	0,0367
	0,0489	0,0236		0,0606	0,0298		0,0752	0,0367
$\ln x_2 = (5,61 \pm 0,16) - (2786 \pm 50)/T$								
Ізопропанол								
305,7	0,0206	0,0145	315,8	0,0281	0,0197	321,1	0,0346	0,0239
	0,0213	0,0143		0,0291	0,0200		0,0355	0,0240
308,1	0,0216	0,0159	317,5	0,0294	0,0203	323,0	0,0383	0,0276
	0,0228	0,0157		0,0300	0,0215		0,0391	0,0276
309,5	0,0235	0,0159		0,0305	0,0216	0,0399	0,0275	
	0,0237	0,0165	319,1	0,0331	0,0217	324,8	0,0412	0,0296
0,0241	0,0164	0,0308		0,0225	0,0427		0,0296	
311,4	0,0249	0,0173	319,5	0,0310	0,0221	326,6	0,0429	0,0298
	0,0256	0,0174		0,0335	0,0224		0,0432	0,0314
313,3	0,0265	0,0175	321,1	0,0317	0,0227		0,0440	0,0314
	0,0259	0,0182		0,0322	0,0227		0,0447	0,0314
	0,0263	0,0184		0,0336	0,0228			
	0,0266	0,0185		0,0337	0,0241			
$\ln x_2 = (7,84 \pm 0,27) - (3703 \pm 86)/T$								
Етилацетат								
293,4	0,0551	0,0520	299,1	0,0654	0,0592	307,8	0,0728	0,0717
	0,0561	0,0520		0,0689	0,0592		0,0729	0,0713
	0,0601	0,0523	301,0	0,0642	0,0624		0,0767	0,0720
294,9	0,0569	0,0545		0,0701	0,0623	309,5	0,0780	0,0754
	0,0593	0,0538	0,0708	0,0622	0,0815		0,0766	
297,0	0,0637	0,0543	303,5	0,0648	0,0685	311,4	0,0857	0,0754
	0,0596	0,0567		0,0688	0,0671		0,0799	0,0802
	0,0639	0,0563	305,7	0,0772	0,0662	0,0822	0,0800	
0,0683	0,0562	0,0704		0,0683	0,0912	0,0800		
299,1	0,0613	0,0591		0,0816	0,0683			
$\ln x_2 = (4,26 \pm 0,42) - (2118 \pm 126)/T$								

Таблиця 4

Температурна залежність розчинності НФАК в органічних розчинниках

<i>T</i> , К	<i>m</i> ₂ , г	<i>x</i> ₂	<i>T</i> , К	<i>m</i> ₂ , г	<i>x</i> ₂	<i>T</i> , К	<i>m</i> ₂ , г	<i>x</i> ₂
Ацетонітрил								
279,3	0,0028	0,0014	297,0	0,0089	0,0028	309,0	0,0130	0,0039
	0,0052	0,0015	298,5	0,0067	0,0029	313,4	0,0136	0,0047
	0,0050	0,0015		0,0070	0,0028		0,0138	0,0047
279,8	0,0040	0,0015	299,9	0,0071	0,0029	318,0	0,0162	0,0047
	0,0046	0,0015		0,0115	0,0033		0,0214	0,0051
	0,0051	0,0016	0,0149	0,0033	0,0202	0,0052		
287,8	0,0058	0,0022	303,8	0,0010	0,0038	322,5	0,0195	0,0064
	0,0059	0,0022		0,0122	0,0037		0,0202	0,0063
293,6	0,0082	0,0026	304,0	0,0122	0,0037	322,6	0,0232	0,0062
	0,0089	0,0025		0,0096	0,0037		0,0122	0,0067
	0,0118	0,0025	0,0146	0,0035	0,0131	0,0066		
297,0	0,0069	0,0029	309,0	0,0098	0,0042		0,0197	0,0065
	0,0087	0,0030		0,0112	0,0039			
$\ln x_2 = (4,28 \pm 0,15) - (3014 \pm 44)/T$								
ізо-пропанол								
299,3	0,0064	0,0024	308,5	0,0082	0,0041	317,9	0,0114	0,0056
	0,0066	0,0024	311,0	0,0067	0,0043	318,4	0,0117	0,0064
	0,0074	0,0024		0,0080	0,0042		0,0126	0,0065
302,6	0,0042	0,0025	313,1	0,0110	0,0047	322,5	0,0134	0,0065
	0,0061	0,0026		0,0110	0,0044		0,0105	0,0074
303,5	0,0057	0,0031	313,5	0,0134	0,0047	323,0	0,0175	0,0074
	0,0069	0,0031		0,0153	0,0053		0,0242	0,0072
	0,0088	0,0031	0,0153	0,0052	0,0188	0,0080		
306,3	0,0081	0,0033	316,0	0,0187	0,0053	327,0	0,0186	0,0079
	0,0083	0,0033		0,0077	0,0053		0,0200	0,0080
308,2	0,0058	0,0037	317,9	0,0121	0,0051		0,0196	0,0098
	0,0065	0,0037		0,0102	0,0059		0,0238	0,0093
308,5	0,0040	0,0040		0,0104	0,0058		0,0248	0,0094
$\ln x_2 = (10,16 \pm 0,33) - (4857 \pm 101)/T$								
Етилацетат								
297,5	0,0103	0,0086	306,5	0,0154	0,0106	317,7	0,0177	0,0139
	0,0116	0,0085		0,0164	0,0109	320,2	0,0207	0,0138
	0,0131	0,0085		0,0198	0,0111		0,0235	0,0138
297,9	0,0154	0,0091	307,8	0,0214	0,0113	322,6	0,0292	0,0139
	0,0162	0,0093		0,0283	0,0110		0,0296	0,0157
	0,0197	0,0091		0,0282	0,0109		0,0300	0,0158
301,5	0,0219	0,0098	312,9	0,0183	0,0126	325,4	0,0337	0,0161
	0,0231	0,0099		0,0187	0,0124		0,0266	0,0160
	0,0242	0,0099		0,0192	0,0127		0,0310	0,0166
303,7	0,0101	0,0100	315,9	0,0213	0,0128	329,9	0,0398	0,0167
	0,0145	0,0095		0,0233	0,0129		0,0422	0,0190
	0,0176	0,0102		0,0267	0,0127		0,0456	0,0191
	0,0187	0,0095	317,7	0,0145	0,0141		0,0569	0,0194
$\ln x_2 = (2,82 \pm 0,17) - (2254 \pm 53)/T$								

Таблиця 5

Стандартні ентальпії плавлення досліджуваних сполук
за температури плавлення

Номер зразка	m_0 , г	Δm , г	S , К·с	q_{vap} , Дж	$\Delta_{fus}H^0$, кДж/моль
НФФО $T_{fus} = 411,1 \pm 0,7$ К; $K = 0,0363$ Дж/К·с					
1	0.2001	0.0009	517,9	0,31	21,4
2	0.2001	0.0012	460,8	0,43	18,9
Середнє значення ентальпії плавлення $20,2 \pm 1,3$ кДж/моль					
НФАК $T_{fus} = 447,6 \pm 0,5$ К; $K = 0,0407$ Дж/К·с					
1	0,2004	0,0012	473,7	0,49	24,33
2	0,1973	0,0013	492,3	0,52	25,66
Середнє значення ентальпії плавлення $25,00 \pm 0,66$ кДж/моль					

Значення q_{vap} розраховували за методикою [4].

Ентальпію плавлення НФФО та НФАК визначали за температури плавлення, а ентальпію й ентропію розчинення – у температурному інтервалі, близькому до 298 К. Тому для узагальнення отриманих результатів значення ентальпії та ентропії плавлення перераховували на 298 К за рівняннями, запропонованими в [5], згідно з якими для НФФО $\Delta_{fus}H_{298} = 16,1 \pm 1,4$ кДж/моль, $\Delta_{fus}S_{298} = 37,4 \pm 2,0$ Дж/моль·К; а для НФАК $\Delta_{fus}H_{298} = 15,50 \pm 0,77$ кДж/моль, $\Delta_{fus}S_{298} = 39,0 \pm 1,6$ Дж/моль·К.

У табл. 6 наведено термодинамічні параметри розчинності НФФО та НФАК в органічних розчинниках за температури 298 К; де x_2 – мольна частка розчиненої речовини при 298 К; значення ентальпії $\Delta_{sol}H^0$ та ентропії $\Delta_{sol}S^0$ розчинності, які об'єднують ентальпії $\Delta_{mix}H^0$ і ентропії $\Delta_{mix}S^0$ змішування компонентів (процес утворення розчину), а також ентальпії та ентропії фазового переходу кристалічної речовини в рідку фазу розчину: $\Delta_{sol}H^0 = \Delta_{mix}H^0 + \Delta_{fus}H^0$ та $\Delta_{sol}S^0 = \Delta_{mix}S^0 + \Delta_{fus}S^0$. Зміну енергії Гіббса під час змішування компонентів $\Delta_{mix}G^0$ за 298 К розраховували за рівнянням: $\Delta_{mix}G^0 = \Delta_{mix}H^0 - T \cdot \Delta_{mix}S^0$.

Таблиця 6

Розчинність та термодинамічні параметри розчинності досліджуваних речовин за 298 К
в органічних розчинниках

Речовина	$N_2 \cdot 10^3$	$\Delta_{sol}H^0$	$\Delta_{mix}H^0$	$\Delta_{sol}S^0$	$\Delta_{mix}S^0$	$\Delta_{mix}G^0$
		кДж/моль		Дж/моль·К		кДж/моль·К
Ацетонітрил						
НФФО	23,7±1,0	23,16±0,42	7,1±1,7	46,6±1,3	9,2±2,4	4,3±2,9
НФАК	2,93±0,15	25,06±0,37	9,6±1,1	35,6±1,2	-3,4±2,8	10,6±3,0
ізо-Пропанол						
НФФО	10,2±1,0	30,79±0,71	14,7±2,2	65,2±2,2	27,8±3,0	6,4±3,7
НФАК	2,16±0,12	40,38±0,84	24,9±1,6	84,5±2,7	45,5±4,3	11,3±4,6
Етилацетат						
НФФО	57,8±1,0	17,6±1,0	1,5±1,6	35,4±3,5	-2,0±4,0	2,1±4,6
НФАК	8,71±0,70	18,74±0,44	3,2±1,2	23,4±1,4	-15,6±3,0	7,8±3,2

Як відомо [6], в обраного ряду розчинників основна частина енергії для руйнування зв'язків виділяється в разі координаційної стабілізації частинки. Тому на процес розчинення впливатимуть значення донорного й акцепторного чисел і діелектричної проникності молекул розчинника. Наприклад, у розчинниках з низькою діелектричною проникністю виникають йонні асоціати та йонні пари, у яких два і більше йони зв'язуються електростатичними силами, а в розчинниках з середньою діелектричною проникністю, до яких належать ацетонітрил та ізопропанол (див. табл. 1) окрім асоціатів та йонних пар унаслідок ослаблення електростатичного притягання між катіонами й аніонами утворюватимуться окремі сольватовані йони, на руйнування яких необхідно затратити додаткову енергію. Додатні значення величин $\Delta_{mix}H^0$ (див. табл. 6) свідчать про те, що для руйнування сольватних іонів у розчинниках необхідно більше енергії, ніж та, що виділяється внаслідок утворення нових міжмолекулярних взаємодій між розчиненою речовиною та розчинником.

Крім того, треба звернути увагу на існування компенсаційного ефекту (прямої залежності між значеннями $\Delta_{mix}H^0$ та $\Delta_{mix}S^0$ при 298 К) для досліджених сполук у розчинниках, які суттєво відрізняються фізичними властивостями.

$$\text{(НФФО)} \Delta_{mix}H^0 = 0,439 \cdot \Delta_{mix}S^0 + 2,64; \quad R = 0,997$$

$$\text{(НФФАК)} \Delta_{mix}H^0 = 0,343 \cdot \Delta_{mix}S^0 + 9,54; \quad R = 0,990$$

Адже чим менше значення $\Delta_{mix}S^0$, тим упорядкованіша система, а отже, і енергетично вигідніше утворення розчину з цих компонентів.

1. *Ковтуненко В. О.* Лікарські засоби з дією на центральну нервову систему. К., 1997.
2. Пат. РФ 2039044. Производные акриловой кислоты.
3. *Райд К.* Курс физической органической химии. М.: Мир, 1972.
4. *Кочубей В. В., Собечко И. Б., Величковская Н. И.* и др. Дериватографическое определение энтальпии плавления веществ, которое сопровождается потерей массы образца. Энтальпии плавления фуран-2-карбоновой и 3-(2-фурил)-2-пропеновой кислот // Тр. XIV Междунар. конф. по термическому анализу и калориметрии в России (RTAC-2013), 23–28 сентября 2013 года. СПб., 2013. С. 312–314.
5. *Собечко И. Б., Ван-Чин-Сян Ю. Я.* и др. Термодинамические свойства фуран-2-карбоновой и 3-(2-фурил)-2-пропеновой кислот // Журн. Физ. химии. 2014. Т. 88. № 12. С. 1885–1892.
6. *Аноганикум:* в 2 т. Т.1; пер. с нем./ под ред. Л. Кольдица. М.: Мир, 1984.

**THERMODYNAMIC PROPERTIES OF THE SOLUTIONS OF
5-(2-NITROPHENYL)-2-FURFUROL OXIME AND
 β -[5-(2-NITROPHENYL)-2-FURYL]-ACRYLIC ACID IN ORGANIC SOLVENTS**

**A. Marshalek, I. Sobechko, Yu. Horak¹, V. Kochubey,
V. Dibrivnyi, Yu. Rayevskiy**

*National University "Lviv Polytechnic"
Bandera Str., 12, 79013 Lviv, Ukraine
e-mail: phys.chem.lp@gmail.com*

*¹Ivan Franko National University of Lviv,
Kyryla & Mefodiya Str., 6, 79005 Lviv, Ukraine*

From the temperature dependence of the solubility of 5-(2-nitrophenyl)-2-furfural oxime and β -[5-(2-nitrophenyl)-2-furyl]-akrylic acid enthalpy and entropy of dissolution in acetonitrile, ethyl acetate and isopropanol were determined. Enthalpy, entropy and Gibbs energy of mixing at 298 K were calculated considering the heat of fusion, determined by differential thermal analysis at a temperature of melting of substances adjusted to 298 K. The analysis of solvents' influence on entropy and enthalpy of mixing was conducted. Positive values in the measured enthalpy of mixing in several solvents with different polarity indicate that the destruction of intermolecular interactions in solvents requires more energy than it is released by the formation of new intermolecular bonds between solute and solvent.

Key words: 5-(2-nitrophenyl)-2-furfural oxime, β -[5-(2-nitrophenyl)-2-furyl]-akrylic acid, dissolution enthalpy, dissolution entropy.

Стаття надійшла до редколегії 02.11.2015
Прийнята до друку 12.01.2016