

О. В. Власенко<sup>1</sup>  
С. Й. Ткаченко<sup>2</sup>  
В. С. Ткачук<sup>2</sup>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЦУКРОВОГО РОЗЧИНУ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ТЕПЛООБМІНУ МЕТОДОМ РЕГУЛЯРНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ

<sup>1</sup>Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;  
<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

*В енергетичній галузі прогнозування інтенсивності теплообміну має велике значення, оскільки це дає змогу розраховувати та підбирати обладнання, особливо коли частково невідома інформація з теплофізичних властивостей рідинних середовищ.*

*В роботі досліджується система «навколишнє середовище (вода в кільцевому об'ємі) — тонка циліндрична металева стінка — досліджуване рідинне середовище (цукровий розчин)». Вивчається теплообмін під час нагрівання та охолодження цукрового розчину масової концентрації сухих речовин 20 % та 70 % в умовах вимушеної конвекції.*

*Встановлено, що в досліджуваному рідинному середовищі (цукровий розчин) мають місце ознаки регулярного теплового режиму (РТР), а саме темп охолодження (нагрівання) цукрового розчину  $t = \text{const}$ ; коефіцієнт тепловіддачі від навколишнього середовища (води) до тонкостінного металевого циліндра  $\alpha_1 \approx \text{const}$  та коефіцієнт нерівномірного розподілу температури незмінний.*

*В літературі відоме існування регулярного теплового режиму лише для твердих тіл та системи з твердих тіл. В попередніх роботах авторів досліджено ознаки регулярного теплового режиму в системі «рідина—тверде тіло».*

*Для визначення коефіцієнта тепловіддачі між внутрішньою тонкостінною посудиною та досліджуванім середовищем використовується розрахунково-експериментальний метод. Для прогнозування теплообміну використано метод регулярного теплового режиму.*

*Дослідження проводиться на експериментальному стенді, який є складовою експериментально-розрахункового методу в умовах вимушеної конвекції. Співвідношення діаметрів мішалки та внутрішньої посудини  $d/D = 0,6$ . Діапазон регулювання частоти обертів мішалки 26...150 об/хв. Вимірювання температур у робочих об'ємах під час експериментального дослідження здійснюється за допомогою вертикально встановлених термопар в десяти точках.*

*З використанням ознак існування регулярного теплового режиму проводиться аналіз впливу концентрації цукрового розчину на інтенсивність теплообміну.*

**Ключові слова:** регулярний тепловий режим, інтенсивність теплообміну, цукровий розчин, темп охолодження, експериментально-розрахунковий метод.

### Вступ

Цукрова промисловість України — це одна з найпотужніших галузей держави. Україна є одним зі світових лідерів з виробництва цукру. Це зумовлюється досить сприятливими ґрунтово-кліматичними та економічними умовами для розвитку буряківництва й виробництва цукру [1], [2].

Сучасні цукрові заводи — це високотехнологічні, повністю автоматизовані комплекси, обладнані високоефективними апаратами: від мийних, дифузійних пристроїв і до випарників, пресів жому і сушарок. Теплообмінник для цукрової промисловості є одним з важливих пристроїв та її невід'ємною частиною [1].

Теплообмінники у цій галузі використовуються у всіх технологічних лініях, наявних на заводі.

Застосовуються, зазвичай, розбірні пластинчасті теплообмінники, потужностями від 500 кВт [3].

У разі випарювання сиропу, також застосовуються пластинчасті підігрівачі. Крім цього, теплообмінник для цукрової промисловості встановлюється у сатураційній лінії, а також перед фільтрацією осаду. Нагрівання води і продуктів переробки сировини здійснюється як паром, так і робочим середовищем.

Ефективність теплопередачі нагрітого цукрового розчину за допомогою пластинчастого теплообмінника більше ніж удвічі перевищує ефективність теплообмінника трубчастого типу, тому площу використовуваної теплопередачі можна зменшити вдвічі або й більше [4].

В процесі проектування теплотехнологічного обладнання виникає проблема визначення інтенсивності теплообміну в складних сумішах. Реологічне поведіння та інтенсивність теплообміну пов'язані між собою. Для контролю технологічного процесу і забезпечення кращої роботи обладнання необхідно мати уявлення про процеси теплообміну за конкретних умов. Тому ускладнюється детальне вивчення процесів на великогабаритних експериментальних стендах.

Інтенсивність теплообміну цукрових розчинів залежить від їхньої концентрації та в'язкості. В'язкість цукрових розчинів є важливою технологічною властивістю, тому що зумовлює ступінь плинності цукрового розчину, можливість його транспортування перекачуванням та стійкість до зацукровування під час зберігання. Зі свого боку на в'язкість цукрових розчинів впливає масова частка та склад сухих речовин, температура [2].

*Мета дослідження* — дослідити вплив концентрації цукрового розчину на теплообмін в системі «навколишнє середовище (вода в кільцевому об'ємі) — тонка циліндрична металева стінка — досліджуване рідинне середовище» з використанням методу регулярного теплового режиму.

### Основні результати

Дослідження проведено на експериментальному стенді, розробленому на кафедрі теплоенергетики Вінницького національного технічного університету [5]—[7], схема стенду показана на рис. 1. Як досліджуване середовище використовувався цукровий розчин масовою концентрацією сухих речовин  $c = 20\%$  та  $c = 70\%$ .

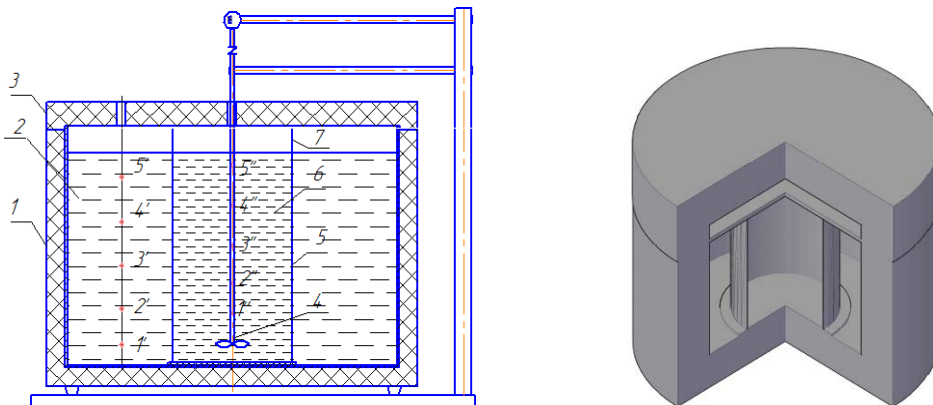


Рис. 1. Схема експериментальної установки: 1 — ізольована зовнішня посудина; 2 — навколишнє середовище (вода); 3 — ізольована металева кришка; 4 — пропелерна мішалка; 5 — внутрішня тонкостінна посудина; 6 — дослідне рідинне середовище; 7 — запобіжник перетоку газового середовища над поверхнею води і поверхнею дослідної рідини; 1'—5' та 1''—5'' — термопари

Для проведення дослідження за умови вимушеної конвекції, експериментальна установка обладнана знімною пропелерною мішалкою ( $d_m = 0,058$  м). Співвідношення діаметрів мішалки та внутрішньої посудини  $d_m/D_{вн} = 0,6$ ;  $V_1$  — зовнішня робоча ємність;  $V_2$  — внутрішня робоча ємність. Висота циліндричної теплообмінної поверхні  $H = 0,108$  м. Діапазон регулювання частоти обертів мішалки 26...150 об/хв. Маса навколишнього середовища (води) — 3 кг.

Робоча ємність  $V_1$  заповнюється гарячим теплоносієм — водою. Внутрішня ємність  $V_2$  заповнюється холодним теплоносієм — досліджуваним рідинним середовищем, тобто цукровим розчином. Рівні робочих порожнин однакові. Під час дослідження приводиться в дію перемішувальний пристрій (пропелерна мішалка).

Для вивчення інтенсивності теплообміну цукрового розчину  $c = 20\%$  проведено три серії дослідів для режиму нагрівання та три серії дослідів для режиму охолодження за частоти обертів мішалки  $n = 26, 40$  та  $92$  об/хв; для дослідження інтенсивності теплообміну цукрового розчину

$c = 70\%$  проведено таку ж кількість дослідів для режиму нагрівання та режиму охолодження, але з частотою обертів мішалки  $n = 74, 116, 136$  об/хв (режим нагрівання) та  $n = 54, 114, 136$  (режим охолодження).

Вимірювання температур у робочих об'ємах під час експериментального дослідження здійснювалося за допомогою вертикально встановлених термопар в десяти точках. Термопари через передавальний пристрій підключені до ПК, їхні значення фіксуються кожні 10 секунд та записуються в програму Microsoft Excel (рис. 2). Під час однієї серії дослідів кількість обертів мішалки не змінюється ( $n = \text{const}$ ).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Type log name here											
2	Poll definition: ID = 1, Function = 03, Address = 0, ScanRate = 1000											
3												
4	04/18/22 13:18:20	825	826	764	711	170	174	157	473	557	574	795
5	04/18/22 13:18:30	811	825	803	751	199	212	172	498	570	601	783
6	04/18/22 13:18:40	824	830	819	772	213	251	188	513	584	667	779
7	04/18/22 13:18:50	825	828	822	800	220	278	211	513	593	694	772
8	04/18/22 13:19:00	820	828	824	794	220	282	230	524	599	708	762
9	04/18/22 13:19:10	823	828	821	786	242	293	279	545	606	714	757
10	04/18/22 13:19:20	817	825	819	788	274	305	314	557	611	710	749
11	04/18/22 13:19:30	815	824	817	782	308	315	318	563	614	715	741
12	04/18/22 13:19:40	813	823	816	782	351	324	370	571	616	719	736

Рис. 2. Приклад запису температур в Microsoft Excel під час експериментального дослідження

Експериментальне дослідження зупиняється з досягненням середнього температурного перепаду між «гарячим» та «холодним» теплоносіями  $\Delta t = 3\text{ }^\circ\text{C}$ . На рис. 3, 4 показано розподіл температур в робочих об'ємах.

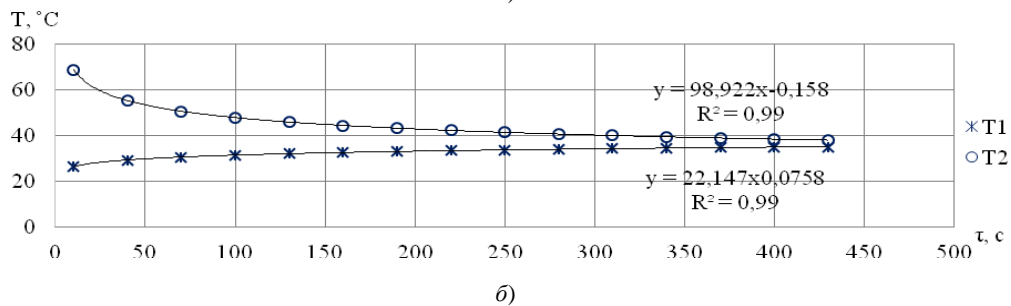
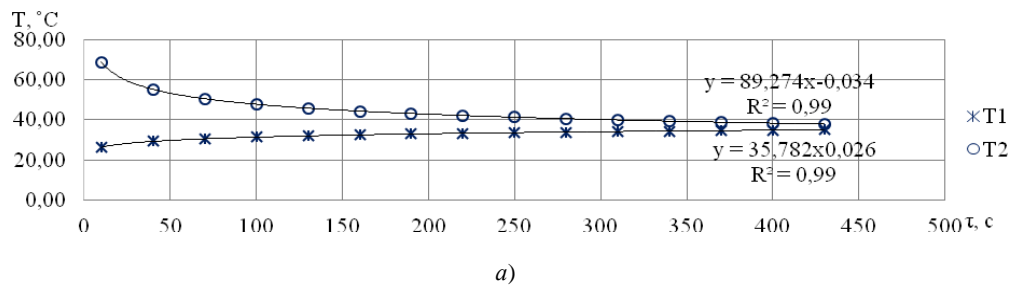


Рис. 3. Розподіл температур у часі для цукрового розчину  $c = 20\%$ . Частота обертів пропелерної мішалки 26 об/хв: T1 — температура навколишнього середовища (води),  $^\circ\text{C}$ ; T2 — температура цукрового розчину,  $^\circ\text{C}$ ; а — нагрівання; б — охолодження

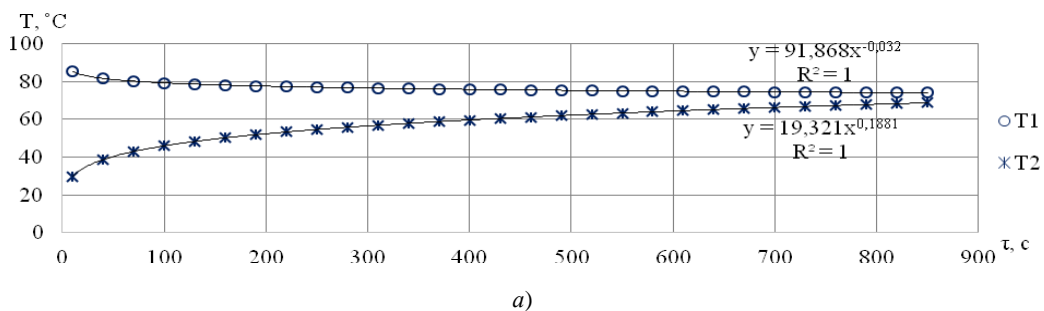
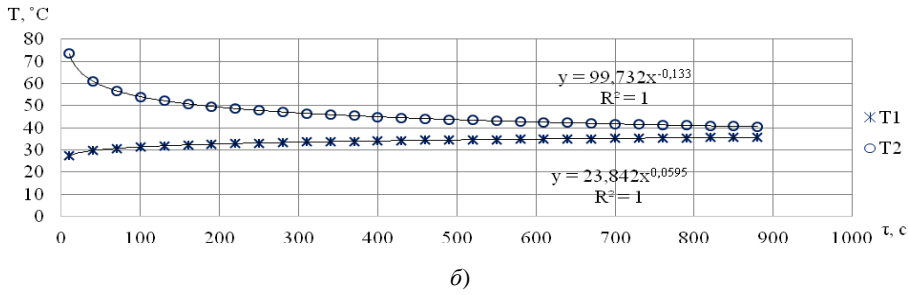


Рис. 4. Розподіл температур у часі для цукрового розчину  $c = 70\%$ . T1 — температура навколишнього середовища (води),  $^\circ\text{C}$ ; T2 — температура цукрового розчину,  $^\circ\text{C}$ ; а — нагрівання з частотою обертів пропелерної мішалки 74 об/хв



Продовження рис. 4. Розподіл температур у часі для цукрового розчину  $c = 70\%$ . T1 — температура навколишнього середовища (води), °C; T2 — температура цукрового розчину, °C; б — охолодження з частотою обертів пропелерної мішалки 54 об/хв

Експериментальні дослідження цієї системи виконувались за умов вимушеної конвекції. Встановлено, що в досліджуваному рідинному середовищі (цукровий розчин) має місце ознаки регулярного теплового режиму (РТР), а саме: темп охолодження (нагрівання) цукрового розчину  $m = \text{const}$ ; коефіцієнт тепловіддачі від навколишнього середовища (води) до тонкостінного металевого циліндра  $\alpha_1 \approx \text{const}$ .

Такі властивості дозволяють надалі вивчати застосування теорії регулярного теплового режиму (РТР) для прогнозування інтенсивності теплообміну в досліджуваних середовищах з обмеженою інформацією про теплофізичні та реологічні властивості [6], [8].

На рис. 5, 6 та в таблицях 1, 2 подано залежності  $\ln(\theta) = f(\tau)$ .

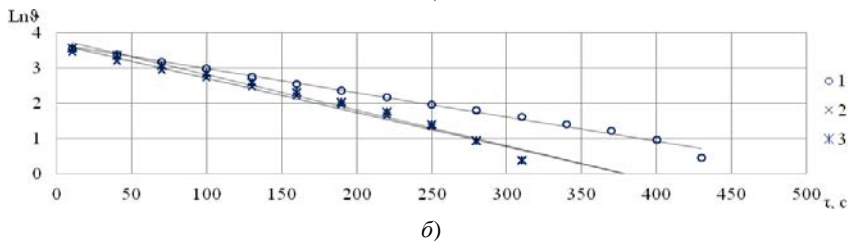
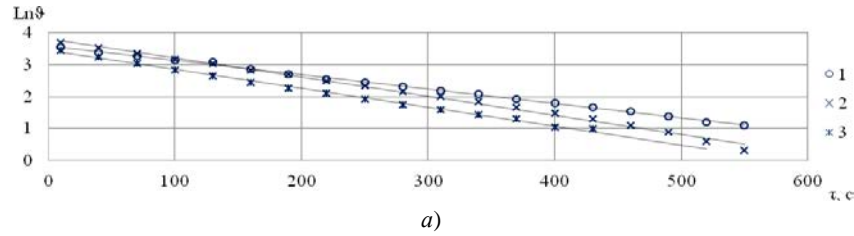


Рис. 5. Темп охолодження (нагрівання) цукрового розчину  $c = 20\%$  під час: а — нагрівання; б — охолодження за таких обертів пропелерної мішалки: 1 — 26 об/хв, 2 — 40 об/хв, 3 — 92 об/хв

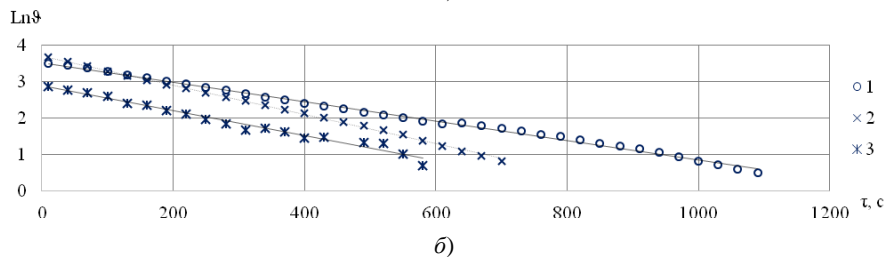
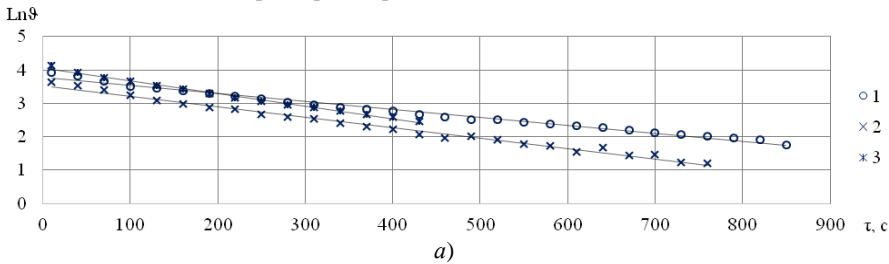


Рис. 6. Темп охолодження (нагрівання) цукрового розчину  $c = 70\%$  під час: а — нагрівання за таких обертів мішалки: 1 — 74 об/хв; 2 — 116 об/хв; 3 — 136 об/хв; б — охолодження за таких обертів мішалки: 1 — 54 об/хв; 2 — 114 об/хв; 3 — 136 об/хв

В табл. 1 наведено темп охолодження (нагрівання) цукрового розчину  $c = 20\%$  в залежності від кількості обертів пропелерної мішалки, в табл. 2 — цукрового розчину  $c = 70\%$ .

Таблиця 1

Темп охолодження (нагрівання) цукрового розчину  $c = 20\%$

№	Кількість обертів мішалки, об/хв	Процес теплообміну	Функція вигляду $\text{Ln}\vartheta = m \cdot \tau + C$	Коефіцієнт детермінації $R^2$
1	26	нагрівання	$y = -0,0045x + 3,5797$	$R^2 = 0,9985$
2	40	нагрівання	$y = -0,0059x + 3,7875$	$R^2 = 0,9953$
3	92	нагрівання	$y = -0,0059x + 3,4294$	$R^2 = 0,9966$
4	26	охолодження	$y = -0,0069x + 3,6676$	$R^2 = 0,9916$
5	40	охолодження	$y = -0,0097x + 3,6746$	$R^2 = 0,9828$
6	92	охолодження	$y = -0,0101x + 3,8318$	$R^2 = 0,9814$

Таблиця 2

Темп охолодження (нагрівання) цукрового розчину  $c = 70\%$

№	Кількість обертів мішалки, об/хв	Процес теплообміну	Функція вигляду $\text{Ln}\vartheta = m \cdot \tau + C$	Коефіцієнт детермінації $R^2$
1	74	нагрівання	$y = -0,0024x + 3,7671$	$R^2 = 0,9884$
2	116	нагрівання	$y = -0,0031x + 3,5227$	$R^2 = 0,9884$
3	136	нагрівання	$y = -0,0038x + 4,0514$	$R^2 = 0,9925$
4	54	охолодження	$y = -0,0027x + 3,5182$	$R^2 = 0,9965$
5	114	охолодження	$y = -0,004x + 3,6966$	$R^2 = 0,9983$
6	136	охолодження	$y = -0,0034x + 2,8792$	$R^2 = 0,9792$

Провівши аналіз графіків та отриманих результатів підсумовуємо, що величина  $\text{Ln}(\vartheta) = f(\tau)$  змінюється за лінійним законом, а темп охолодження  $m = \text{const}$ , що характерно для регулярного теплового режиму в твердому тілі під час нагрівання/охолодження [5].

Також, одним з основних параметрів наявності РТР є сталість коефіцієнта тепловіддачі між навколишнім середовищем та металевою стінкою  $\alpha_1$ .

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1$  визначається за критеріальним рівнянням стаціонарного режиму для «великого об'єму». За отриманими результатами побудовано залежності  $\alpha_1 = f(\tau)$ , показані на рис. 7 та рис. 8 [9].

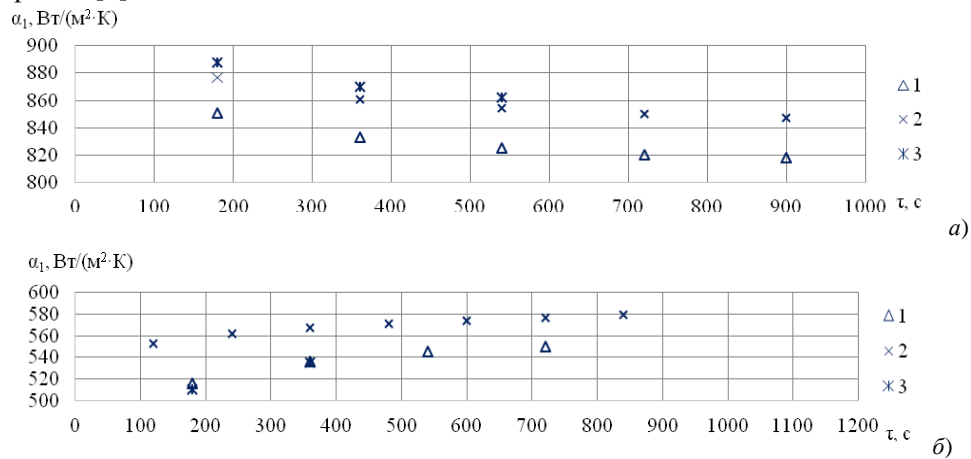


Рис. 7. Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1$  під час дослідження цукрового розчину  $c = 20\%$ : а — нагрівання; б — охолодження за таких обертів мішалки: 1 — 26 об/хв, 2 — 40 об/хв, 3 — 92 об/хв

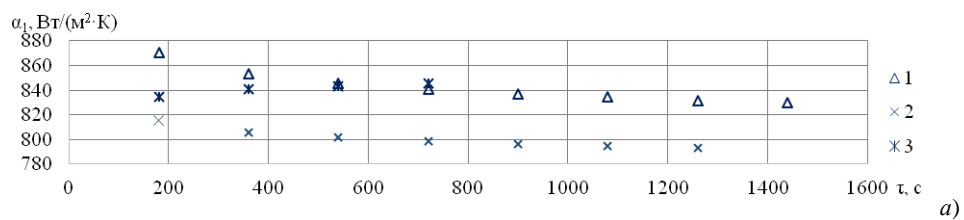
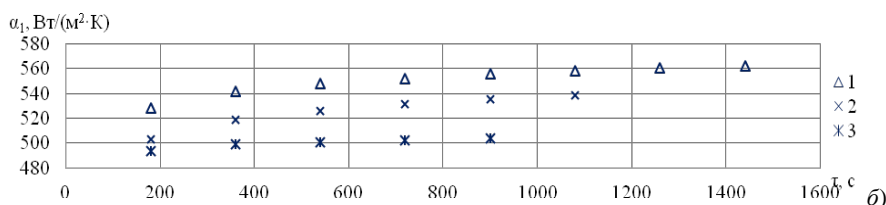


Рис. 8. Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1$  під час дослідження цукрового розчину  $c = 70\%$ , а — нагрівання за таких обертів мішалки: 1 — 74 об/хв, 2 — 116 об/хв, 3 — 136 об/хв



Продовження рис. 8. Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1$  під час дослідження цукрового розчину  $c = 70\%$ ,  
 $\delta$  — охолодження за таких обертів мішалки: 1 — 54 об/хв, 2 — 114 об/хв, 3 — 136 об/хв

В табл. 3, 4 подано коефіцієнти нерівномірності розподілу температур дослідної рідини під час охолодження (нагрівання) цукрового розчину  $c = 20\%$  та  $c = 70\%$

Таблиця 3

**Коефіцієнти нерівномірності розподілу температур дослідної рідини під час охолодження (нагрівання) цукрового розчину  $c = 20\%$**

№	Кількість обертів мішалки, об/хв	Процес	Середнє значення $\bar{\psi}$ для всього діапазону часу дослідження, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
1	26	нагрівання	0,39
2	40	нагрівання	0,27
3	92	нагрівання	0,26
4	26	охолодження	0,24
5	40	охолодження	0,35
6	92	охолодження	0,36

Таблиця 4

**Коефіцієнти нерівномірності розподілу температур дослідної рідини під час охолодження (нагрівання) цукрового розчину  $c = 70\%$**

№	Кількість обертів мішалки, об/хв	Процес	Середнє значення $\bar{\psi}$ для всього діапазону часу дослідження, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
1	74	нагрівання	0,22
2	116	нагрівання	0,26
3	136	нагрівання	0,27
4	54	охолодження	0,26
5	114	охолодження	0,29
6	136	охолодження	0,36

Експериментально встановлено існування регулярного теплового режиму в системі «навколишнє середовище (вода в кільцевому об'ємі) — тонка циліндрична металева стінка — досліджуване рідинне середовище» в процесі охолодження (нагрівання) цукрового розчину  $c = 20\%$ ,  $70\%$ : темп охолодження (нагрівання)  $m = \text{const}$ ; коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1 \approx \text{const}$ ; коефіцієнт нерівномірного розподілу температури  $\bar{\psi} \approx \text{const}$  [5]—[8], [10].

В табл. 5—8 подано розрахунки цукрового розчину  $c = 20\%$ ,  $c = 70\%$  під час його нагрівання за умов вимушеної конвекції.

Таблиця 5

**Результати досліджень нагрівання цукрового розчину  $c = 20\%$  (оберти мішалки  $n = 26$  об/хв)**

№	Інтервал часу $\Delta t$ , с	$T_1$ , °C	$T_2$ , °C	$m$ , с <sup>-1</sup>	$q$ , кВт/м <sup>2</sup>	$k_1$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	$\alpha_1$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
1	10...190	77,5	54,1	0,00449	10,6	453	851
2	100...280	74,9	60,2		3,5	242	833
3	190...370	73,8	63,2		2,3	213	826
4	280...460	73,1	65,3		1,6	215	821
5	370...550	72,5	67		1,3	240	818

Таблиця 6

**Результати дослідження нагрівання цукрового розчину  $c = 20\%$  (оберти мішалки  $n = 40$  об/хв)**

№	Інтервал часу $\Delta t$ , с	$T_1$ , °C	$T_2$ , °C	$m$ , с <sup>-1</sup>	$q$ , кВт/м <sup>2</sup>	$k_1$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	$\alpha_1$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
1	10...190	81,3	55,9	0,00597	9,2	360	877
2	100...280	79,1	64		3,1	206	862
3	190...370	78,1	68,1		2	197	855
4	280...460	77,4	71,1		1,5	228	850
5	370...550	77	73,4		1,2	325	847

Таблиця 7

Результати досліджень нагрівання цукрового розчину  $c = 70\%$  (оберти мішалки  $n = 74$  об/хв)

№	Інтервал часу $\Delta t$ , с	$T_1$ , °C	$T_2$ , °C	$m$ , с <sup>-1</sup>	$q$ , кВт/м <sup>2</sup>	$k_1$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)	$\alpha_1$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)
1	10...190	80,1	43,2	0,0024	10,4	278	871
2	100...280	77,9	51,3		3,5	131	853
3	190...370	76,8	55,5		2,2	104	846
4	280...460	76,1	58,6		1,6	93	841
5	370...550	75,5	61,1		1,3	89,7	837
6	460...640	75,1	63,2		1,1	90,3	834
7	550...730	74,7	65,1		0,9	94,8	832
8	640...820	74,4	66,7		0,8	103,7	830

Таблиця 8

Результати досліджень нагрівання цукрового розчину  $c = 70\%$  (оберти мішалки  $n = 116$  об/хв)

№	Інтервал часу $\Delta t$ , с	$T_1$ , °C	$T_2$ , °C	$m$ , с <sup>-1</sup>	$q$ , кВт/м <sup>2</sup>	$k_1$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)	$\alpha_1$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)
1	10...190	72,3	45,4	0,00325	5,8	215	815
2	100...280	70,8	52,3		2,0	108	806
3	190...370	70,2	56,4		1,3	91	801
4	280...460	69,8	59,1		0,9	87	799
5	370...550	69,5	61,2		0,7	89	797
6	460...640	69,3	63		0,6	98	795
7	550...730	69,1	64,6		0,5	117	793

Аналізуючи вищенаведене, темп охолодження (нагрівання)  $m$  збільшується зі збільшенням обертів мішалки. Сама величина темпу охолодження зі збільшенням концентрації цукрового розчину — зменшується, процес теплообміну відбувається повільніше.

За умови  $F = \text{const}^*$ ,  $\alpha_1 \approx \text{const}$ ,  $\bar{\psi} \approx \text{const}$ ,  $C(t) \approx \text{const}$ ,  $m = \text{const}$  для досліджуваного рідинного середовища і  $K = \text{var}$  отримано залежність для визначення коефіцієнта тепловіддачі між внутрішньою тонкостінною посудиною та дослідною рідиною методом регулярного теплового режиму (РТР) [6].

Для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі між внутрішньою циліндричною тонкостінною посудиною та цукровим розчином  $\bar{\alpha}_2^{\text{РТР}}$  методом регулярного теплового режиму показники  $m$  і  $\bar{\psi}$  розраховуються для всього діапазону досліджень, коефіцієнт теплопередачі  $K$  — окремо для кожної ділянки [6].

$$\bar{\alpha}_2^{\text{РТР}} = \frac{1}{\frac{1}{k_{\text{експ}}} - \frac{F\bar{\psi}}{m \cdot C_{p1}}}, \quad (1)$$

де  $K_{\text{експ}} = Q/(F \cdot \bar{\Delta}t)$  — експериментальний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $Q$  — тепловий потік, що сприймається досліджуваним рідинним середовищем, Вт;  $\bar{\Delta}t$  — середній температурний напір, °C;  $F$  — площа тонкостінного металевого циліндра, м<sup>2</sup>;  $C_{p1}$  — питома теплоємність навколишнього середовища (води), Дж/(кг·К),  $\bar{\psi}$  — коефіцієнт нерівномірного розподілу температури.

Результати  $\alpha_2$  та  $m$  подані в табл. 9—10.

Таблиця 9

Темп охолодження (нагрівання)  $m$  та коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_2$  для цукрового розчину  $c = 20\%$ 

$n$ , об/хв	Процес теплообміну	Темп охолодження (нагрівання) $m$ , с <sup>-1</sup>	$\alpha_2$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)
26	нагрівання	0,0049	445
40		0,0060	495
92		0,0061	830
26	охолодження	0,0066	1054
40		0,0095	1130
92		0,0099	1250

Темп охолодження (нагрівання)  $m$  та коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_2$  для цукрового розчину  $c = 70\%$ 

$n$ , об/хв	Процес теплообміну	Темп охолодження (нагрівання) $m$ , $\text{с}^{-1}$	$\alpha_2$ , $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$
74	нагрівання	0,0024	152
116		0,0033	138
136		0,0038	210
54	охолодження	0,0027	195
114		0,0039	310
136		0,0049	400

В табл. 9—10 подані результати темпу охолодження (нагрівання) системи «навколишнє середовище (вода в кільцевому об'ємі) — тонка циліндрична металева стінка — досліджуване рідинне середовище (цукровий розчин)» та результати коефіцієнта тепловіддачі між внутрішньою циліндричною тонкостінною посудиною та цукровим розчином.

Аналізуючи вищенаведені результати, з використанням теорії регулярного теплового режиму встановлено, що зі збільшенням концентрації цукрового розчину від  $c = 20\%$  до  $c = 70\%$  темп охолодження (нагрівання) та коефіцієнт тепловіддачі зменшуються.

### Висновки

Досліджено систему «навколишнє середовище (вода в кільцевому об'ємі) — тонка циліндрична металева стінка — досліджуване рідинне середовище (цукровий розчин). Розглянуто теплообмін в процесі нагрівання та охолодження цукрового розчину масової концентрації сухих речовин  $20\%$  та  $70\%$  в умовах вимушеної конвекції. З використанням ознак існування регулярного теплового режиму проведено аналіз впливу концентрації цукрового розчину на інтенсивність теплообміну.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Теплообмінники для цукрової промисловості. [Electronic resource]. Available: <https://termoprom.com.ua/uk/heat-exchangers-sugar-industry>. Accessed on: April 10, 2023.
- [2] Plate Heat Exchanger For Sugar. [Electronic resource]. Available: <https://www.hofmann-heatexchanger.com/solutions/plate-heat-exchanger-for-sugar>. Accessed on: April 12, 2023.
- [3] Heat exchangers for sugar factories and distilleries [Electronic resource]. Available: <https://www.barriquand.com/en/heat-exchangers-applications/heat-exchangers-agro-industry/heat-exchangers-sugar-ethanol/>. Accessed on: April 18, 2023.
- [4] Plate Heat Exchanger For Sugar [Electronic resource]. Available: <https://www.hofmann-heatexchanger.com/solutions/plate-heat-exchanger-for-sugar>. Accessed on: April 18, 2023.
- [5] S. Tkachenko, O. Vlasenko, N. Resident, D. Stepanov, and N. Stepanova. "Cooling and of the fluid in the cylindrical volume," *Acta Innovations*, no. 42, 15-26, 2021. <https://doi.org/10.32933/ActaInnovations.42.2>.
- [6] С. Ткаченко, О. Власенко, і Н. Резидент, «Теплообмін циліндричного рідинного тіла обмеженої висоти з навколишнім середовищем», *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, № 2, с. 27-30, 2021. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2021.02.05>.
- [7] С. Й. Ткаченко, і О. В. Власенко, «Дослідження темпу нагрівання гетерогенного рідкого середовища», *Сучасні технології матеріалів і конструкцій в будівництві*, № 1, 127-133, с. 2019. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-1-127-133>.
- [8] О. В. Власенко, «Дослідження теплообміну в об'ємі двофазної рідини за умов вимушеної конвекції», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 6, с. 14-20, 2022. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-159-6-14-20>.
- [9] А. І. Погорелов, *Тепломасообмін (основи теорії і розрахунку)*, навч. посіб. для вузів, 2-ге вид. Львів: Новий Світ-2000, 2004.
- [10] С. Й. Ткаченко, О. В. Власенко, Н. Д. Степанова, і С. О. Павлович, «Нестационарний теплообмін у вертикальному циліндричному об'ємі, заповненому рідиною», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 16-20, 2022. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-160-1-16-20>.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 15.06.2023

**Власенко Ольга Володимирівна** — д-р філософії, науковий співробітник кафедри теплової та альтернативної енергетики, e-mail: [olgakutsak7@gmail.com](mailto:olgakutsak7@gmail.com).

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ;

**Ткаченко Станіслав Йосипович** — д-р. техн. наук, професор кафедри теплоенергетики, e-mail: [stahit6937@gmail.com](mailto:stahit6937@gmail.com) ;

**Ткачук Владислав Сергійович** — аспірант кафедри теплоенергетики, e-mail: [tmmlbpr@gmail.com](mailto:tmmlbpr@gmail.com).

Вінницький національний технічний університет, Вінниця



O. V. Vlasenko<sup>1</sup>  
S. Yo. Tkachenko<sup>2</sup>  
V. S. Tkachuk<sup>2</sup>

## Study of the Influence of Sugar Solution Concentration on the Intensity of Heat Exchange, Using the Regular Heat Mode Method

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute";

<sup>2</sup>Vinnitsia National Technical University

*In power industry branch of national economy, forecasting of the heat exchange intensity is of great importance, since it enables to calculate and select equipment, especially when information on the thermophysical properties of liquid media is partially unknown.*

*The work examines the system "environment (water in an annular volume) — thin cylindrical metal wall — investigated liquid medium (sugar solution)". Heat exchange during heating and cooling of a sugar solution with a mass concentration of dry substances of 20 % and 70 % under conditions of forced convection is studied.*

*It was established that in the studied liquid medium (sugar solution) signs of a regular thermal mode occur (RTM), namely: the rate of cooling (heating) of the sugar solution  $m = \text{const}$ ; coefficient of heat transfer from the medium (water) to the thin-walled metal cylinder  $\alpha_1 \approx \text{const}$ ; coefficient of uneven temperature distribution is const.*

*In the literature, the existence of a regular thermal mode is known only for the solid bodies and systems of solid bodies. In the previous works of the authors, signs of a regular thermal mode in the "liquid-solid" system were investigated.*

*The calculation-experimental method is used to determine the heat transfer coefficient between the internal thin-walled vessel and the medium under the study. For the prediction of the heat exchange, the regular thermal mode method was applied.*

*The research is carried out on an experimental stand, which is a component of the experimental-calculation method under conditions of forced convection. The ratio of the diameters of the stirrer and the inner vessel  $d/D = 0.6$ . The range of adjustment of the frequency of revolutions of the stirrer is 26...150 rpm. Measurement of temperatures in the working volumes during the experimental study is carried out using vertically installed thermocouples in ten points.*

*Using signs of the existence of a regular thermal mode, the analysis of the influence of sugar solution concentration on the intensity of heat exchange is carried out.*

**Keywords:** regular thermal mode, intensity of heat exchange, sugar solution, cooling rate, experimental and calculation method.

**Vlasenko Olha V.** — Phd, Researcher of the Chair of Thermal and Alternative Energy, e-mail: olgakysak7@gmail.com ;

**Tkachenko Stanislav Yo.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Heat Power Engineering, e-mail: stahit6937@gmail.com ;

**Tkachuk Vladyslav S.** — Post-Graduate Student of the Chair of Heat Power Engineering, e-mail: tmmlbpr@gmail.com