

2. Matsevityi, P. P. About rational use of heat pump technologies in the economy of Ukraine. Kyiv: Energy saving. Power engineering. Energy audit. – 2007. - №3. - pp. 20-31.
3. Bezrodny M.K. Thermodynamic and energy efficiency of heat pump heat supply circuits: monograph / M.K. Bezrodny, N.O. Pritula - Kyiv: NTUU "KPI" View "Polytechnic", 2016. - 272 p.
4. Kostikov A. O. (2009). The influence of the thermal state of the soil on the efficiency of a heat pump installation with an underground heat exchanger. Power engineering: economics, technology, ecology, Industrial heat engineering, - pp. 32-40.
5. Basok B. I., Avramenko A. A., Ryzhkov S. S., Lunina A. A. (2009). Dynamics of heat transfer in a groundless rectilinear single pipe element (heat exchanger) (1st ed.). Ukraine: Industrial heat engineering. – pp. 62-67.
6. Shubin E. P. (1979). The main issues of designing urban heat supply systems. Moscow: Energy. – pp. 28-59.
7. Steward, F. R. Optimum arrangement and use of heat pumps in recovery waste heat / F. R. Steward //Energy Conversion Mgmt. – 1984. Vol. 24 – № 2. – pp. 123–129.
8. Morozjuk, T. V. (2006). The theory of chillers and heat pumps. Odessa, Ukraine: Studija «Negociant»/ - pp. 521-550.
9. Bezrodny M. K., Khavin S. O.. (2003). Analysis of energy and environmental aspects of waste heat recovery of the industrial gases (1st ed.). Ukraine: Ecotechnologies and resource saving.

Надійшла 30.11.2018

Received 30.11.2018

УДК 666.193; 66.047.37

**А.В. Тимошенко**, к.т.н., ORCID 0000-0001-6840-5491

**Т.Г. Беляєва**, к.т.н., ORCID 0000-0002-9748-6662

**В.Г. Стецюк**, ORCID 0000-0002-6051-3145

**Р.Я. Сороковий**, ORCID 0000-0003-4443-4559

**М.В. Мороз**, ORCID 0000-0001-5079-6340

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

## **КОНВЕКТИВНА СУШКА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ БАЗАЛЬТО-БЕНТОНІТОВИХ ВИРОБІВ**

*В роботі наводяться результати експериментального дослідження повітряної конвективної сушки плоских базальто-бентонітових теплоізоляційних виробів різної товщини та густини. Вивчався вплив на інтенсивність процесу температури та середньої швидкості агента сушіння. Для теплоізоляційних виробів спостерігаються періоди з постійною та падаючою швидкістю сушіння. В розглянутому діапазоні товщин спостерігається, як перший, так і другий критичний вологовміст. Відмічається, що зі зменшенням товщини теплоізоляційного виробу збільшуються величини критичних вологовмістів. Встановлено вплив на кінетичні характеристики процесу сушіння товщини та густини теплоізоляційного виробу. Наводиться залежність для швидкості сушіння в першому періоді, як функції від температури та швидкості агента сушіння. З використанням методу В.В. Краснікова побудовано узагальнені криві повітряної конвективної сушки, встановлено величини приведених критичних вологовмістів та відносних коефіцієнтів сушіння. Одержано узагальнену залежність для розрахунку часу повітряної конвективної сушки теплоізоляційних базальто-бентонітових виробів різної товщини та густини.*

**Ключові слова:** теплоізоляція, енергоефективність, повітряна конвективна сушка, базальтові волокна.

**Вступ**

Проблеми енерго- та ресурсозбереження набули особливої гостроти в Україні у зв'язку з виснаженням власних ресурсів органічного палива і залежністю від постачання енергоносіїв та сировини для ряду галузей промисловості з країн ближнього та далекого зарубіжжя. Наприклад, всупереч високій потребі в жорстких базальто-бентонітових теплоізоляційних пожежостійких плитах, об'єми їх виробництва невеликі внаслідок високих енерговитрат у теплотехнологічних процесах, зокрема, в процесі сушіння [1]. Енергетична ефективність процесу сушки обумовлюється: а) обраним способом підводу теплоти до матеріалу; б) технологічними параметрами процесу; в) часом сушіння; г) ефективністю технологічного устаткування, що використовується, а саме на скільки в даному обладнанні вдалося наблизити реальний процес до теоретичного. Традиційний спосіб сушки тісно пов'язаний з технологією виробництва виробів [2]. Для плоских базальто-бентонітових теплоізоляційних виробів – картонів та жорстких плит – характерними є конвективне й комбіноване – радіаційно-конвективне – сушіння, тунельне або конвеєрне. Між тим, порівняння поточних питомих показників на сушку базальто-бентонітових виробів (4740-6600 ккал/кг вологи) з кращими показниками, які можуть бути досягнені в подібних технологічних процесах (1200-2500 ккал/кг вологи) [3], дозволяє зробити висновок про їх високий рівень і очікувати 2-3 кратного зниження питомих показників при модернізації теплотехнології. Визначальними факторами процесу при конвективному способі підводу теплоти є вид сушильного агента, його температура, швидкість, вологовміст.

**Мета і задачі** роботи полягають в експериментальному вивченні особливостей повітряної конвективної сушки плоских базальто-бентонітових виробів, дослідженні впливу на її інтенсивність температури і швидкості агента сушіння, встановленні узагальненої залежності для часу сушки.

**Матеріал та результати досліджень**

Дослідження процесу сушки теплоізоляційних плит виконувалося на експериментальному стенді, що моделює повітряне конвективне сушіння плоских виробів в тунельній або конвеєрній установці. Обробка результатів дослідження виконується за методом Краснікова В.В. [4] з побудовою узагальнюючої кривої кінетики сушіння. Для визначення впливу параметрів процесу, таких, як температура і швидкість теплоносія, було проведено серії дослідів, в яких змінювалася одна з величин при інших рівних умовах. Діапазони змін характеристик базальто-бентонітових виробів і параметрів теплоносія, що були реалізовані в експериментальному дослідженні, представлено нижче (таблиця 1).

Таблиця 1 – Характеристики базальто-бентонітових виробів і параметрів теплоносія

№ пп	Найменування позиції	Позначення	Од. виміру	Величина
1	Товщина виробу	$\delta$	мм	$50^{+2}_{-8}; 100^{+0}_{-18}$ *
2	Початковий вологовміст виробів	$u_0$	кг вол./кг с.м.	3,2-4,6
3	Рівноважний вологовміст	$u_p$	кг вол./кг с.м.	0,02-0,03
4	Густина виробів	$\rho$	кг/м куб.	100-225
5	Температура агента сушіння (початкова)	$t_c$	°C	100-180
6	Швидкість агента сушіння	$v$	м/с	1,0-10,0
7	Вологовміст агента сушіння (початковий)	$d$	г вол./кг с.пов.	20-25

\* - діапазон зміни величини.

За своєю структурою базальто-бентонітові вироби можуть бути віднесені до капілярно-пористих колоїдних тіл. Схематично сушіння таких матеріалів може бути представлено як ряд зв'язаних один з одним процесів переміщення вологи всередині матеріалу, пароутворення і видалення вологи з поверхні в оточуюче повітряне або газове середовище. Необхідними умовами здійснення сушильного процесу є різниця парціальних тисків пари над поверхнею матеріалу і оточуючим середовищем та температурний напір між ними, що обумовлює приплив теплоти, який є необхідним для випаровування вологи [5]. Весь цикл сушіння базальто-бентонітових виробів може бути розділений на періоди, які відрізняються між собою за характером зміни вологовмісту, швидкістю сушіння та розподілом температури по перерізу зразків. Традиційно, у початковий період сушіння відбувається нагрівання виробу, підвищення парціального тиску пари над його поверхнею і випаровування вологи [6]. Температура зовнішніх і глибинних шарів при цьому підвищується до значення, близького до показників мокрого термометра і залишається незмінною, доки випаровування відбувається з поверхні виробу. В цей момент спостерігається період з постійною швидкістю сушіння – вологовіддача з поверхні матеріалу залишається постійною, його закінченням є величина першого критичного вологовмісту ( $u_{к1}$ ). За досягнення ( $u_{к1}$ ) починається період, що характеризується неперервним зменшенням швидкості сушіння внаслідок уповільнення надходження вологи до поверхні матеріалу. Одночасно з цим починає монотонно підвищуватися температура матеріалу, цей період – другий період сушки – має назву періоду спадаючої

швидкості сушіння [7]. Для базальто-бентонітових виробів період спадаючої швидкості сушіння має другий критичний вологовміст ( $u_{к2}$ ). Після нього крива вологовмісту асимптотично наближується до рівноважного вологовмісту матеріалу за даних умов, а його температура підвищується, наближаючись до температури агента сушіння.

З метою вивчення впливу температури теплоносія на кінетику процесу сушки проведено серію дослідів з базальто-бентонітовими виробами різної товщини. Досліди проводилися при температурах агента сушіння ( $t_c$ ) 100, 120, 140 і 160 °С, швидкості 3,0 м/с і вологовмісту 20-25 г вол. /кг с.пов. Криві сушки представлені на рис. 1.

З них видно, що з підвищенням температури агента сушіння процес інтенсифікується, і час сушіння скорочується. Для плит товщиною 50 мм зміна температури агента сушки від 100 °С до 160 °С скорочує час сушки у 1,6 раз, для плит, товщиною 100мм – час сушки скорочується в 2 рази.

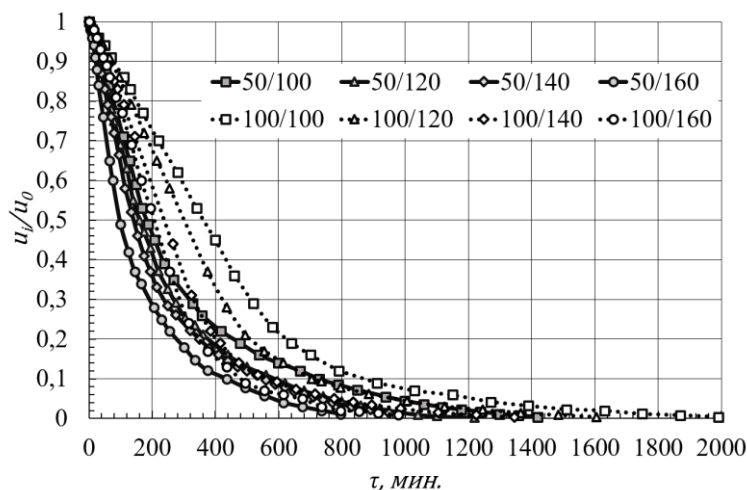


Рисунок 1 – Криві сушки базальто-бентонітових виробів товщиною 50 і 100 мм в залежності від температури агента сушіння

На рис. 2 наведено криві швидкості сушки виробів товщиною 50 та 100 мм, одержані з серії дослідів з різними температурами агента сушіння.

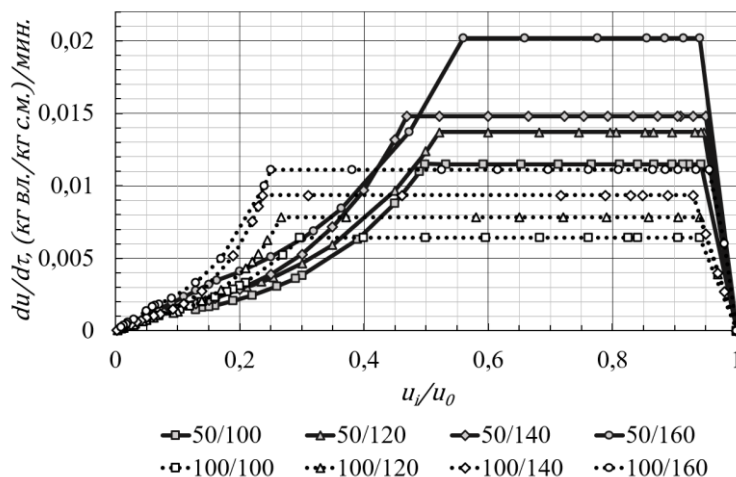


Рисунок 2 – Криві швидкості сушки базальто-бентонітових плит товщиною 50 і 100 мм

Як можна бачити, швидкість в першому періоді сушіння для виробів товщиною 100 мм нижче аналогічних величин для виробів товщиною 50 мм в 1,7 рази. Крім того, існує тенденція до збільшення значень критичних вологовмістів ( $u_{к1}$ ,  $u_{к2}$ ) зі зменшенням товщини виробів (таблиця 2). Для виробів товщиною 100 мм середні значення критичних вологовмістів складають –  $u_{к1} = 0,26$ ,  $u_{к2} = 0,07$ . Для виробів товщиною 50 мм –  $u_{к1} = 0,51$ ,  $u_{к2} = 0,12$ .

Таблиця 2 – Результати обробки кривих швидкості сушки

№ пп	Товщина виробу, $\delta$ , мм	Температура агента сушіння, $t_c$ , °C	Швидкість сушки в першому періоді, $N$ , кг вол./кг с. м.	Критичний вологовміст, кг вол./кг с. м.	
				$u_{к1}$	$u_{к2}$
1	50	100	0,0115	0,50	0,13
2		120	0,0137	0,52	0,10
3		140	0,0148	0,47	0,08
4		160	0,0202	0,56	0,16
5	100	100	0,0064	0,30	0,11
6		120	0,0078	0,27	0,06
7		140	0,0093	0,24	0,05
8		160	0,0111	0,25	0,06

Для виводу розрахункової залежності часу сушки від параметрів процесу визначальне значення мало встановлення впливу температури, швидкості теплоносія, а також товщини плити на швидкість сушки в першому періоді. Це обумовлювалося тим, що початковий вологовміст досліджуваних фабричних виробів коливався в широких межах – від 3,2 до 4,4 кг вол./кг с. м. Крім того, товщина виробів  $\delta = 50$  мм, в дійсності знаходилася в діапазоні від 42 до 52 мм, а товщина виробів  $\delta = 100$  мм – від 82 до 100 мм. Звичайно, що за однакових режимних умов проведення дослідів ( $v = \text{const}$ ,  $t_c = \text{const}$ ) для одного й того самого розміру товщини плит і близького початкового вологовмісту, і за однакової швидкості випаровування за одиницю часу (кг вологи на хвилину), швидкість сушки в першому періоді, внаслідок різниці в кінцевій абсолютно сухій вазі зразків, виявлялася різною. На рис. 3 показаний вплив потенціалу переносу – різниці температур сухого і мокрого термометрів – на швидкість сушки в першому періоді, для виробів різної товщини, але які мало відрізняються за густиною ( $\rho = 178\text{-}179$  кг/м<sup>3</sup>). Як видно з представленого графіку, шляхом введення симплексу ( $\delta_{45}/\delta_{90}$ ), где  $\delta_{45}$ ,  $\delta_{90}$  товщина виробу 45 мм и 90 мм, відповідно, враховується абсолютно суха вага виробів. Дослідні дані залежності швидкості сушки в першому періоді від різниці температур задовільно описуються прямою (достовірність апроксимації перевищує  $R^2 \geq 0,95$ ).

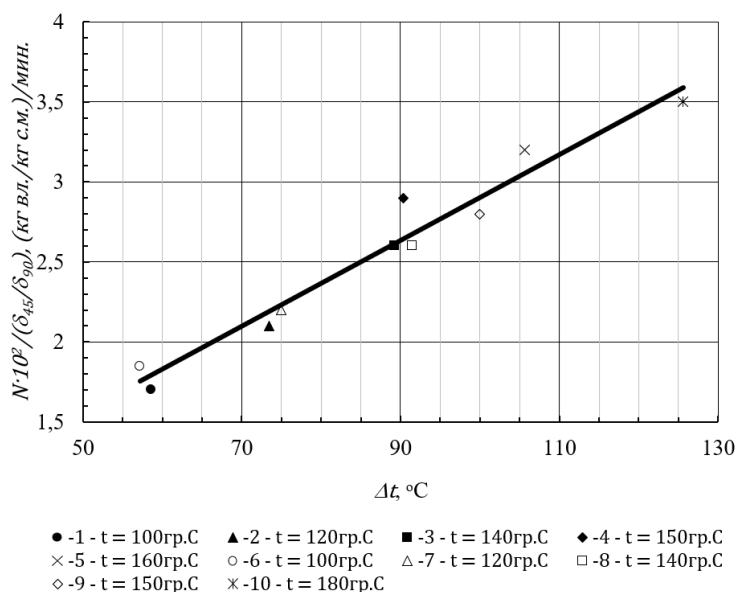


Рисунок 3 – Залежність швидкості сушки базальтових плит у періоді постійної швидкості від різниці температур ( $\Delta t = t_c - t_m$ ), при постійній швидкості  $v = 6$  м/с  
(1-5) -  $\delta = 0,09$  м; (6-10) -  $\delta = 0,045$  м

Встановлено, що густина готових виробів коливається в доволі широких межах (від 100 до 225 кг/м<sup>3</sup>). За одних і тих самих режимних параметрів процесу це також буде давати різні значення швидкості сушки в першому періоді. Причому, оскільки матеріал є композитним, густина виробів залежить від кількох факторів: кількості бентонітового сполучного (глини), діаметру базальтової нитки, пористості шару. Аналіз технологічних процесів при виробництві базальто-бентонітових виробів дозволяє зробити висновок, що основним фактором, який впливає на зміну їх густини, є кількість бентонітового сполучного. При виробництві напівжорстких виробів – плит – є операція нанесення розчину глини на поверхню плити (так зване «полірування»), і ця кількість може бути різною. Але різний вміст бентонітового сполучного не

тільки впливає на густину виробу, але також впливає й на його дифузійні характеристики. З метою врахування впливу на кінетику процесу сушки різної густини виробів в якості коригуючого множника було введено симплекс  $(100/\rho_d)$ , де 100 – мінімальна густина, а  $\rho_d$  – поточна густина базальто-бентонітового виробу, кг/м<sup>3</sup>. На рис. 4 представлено дослідні дані залежності комплексу швидкості сушки в першому періоді з урахуванням впливу різної товщини плит і різниці температур від симплекса  $(100/\rho_d)$ . З графіку видно, що з достатньою для практичних цілей точністю комплекс швидкості сушки ( $N^*$ ) в першому періоді лінійно залежить від відносної густини базальтових плит з бентонітовим сполучним  $N^* = K(100/\rho_d)$ .

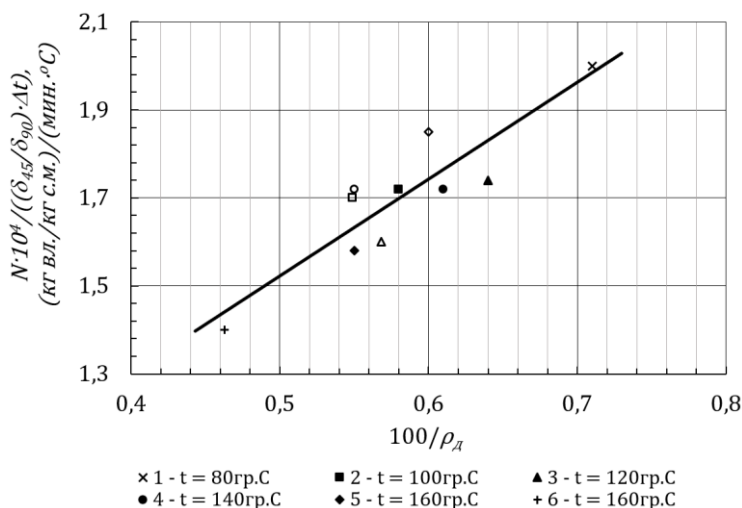


Рисунок 4 – Залежність швидкості сушки базальтових плит в першому періоді від відносної густини при  $\delta = 0,042-0,052$  м (1-6),  $\delta = 0,082 - 0,1$  м (7-10),  $v = 3,1$  м/с

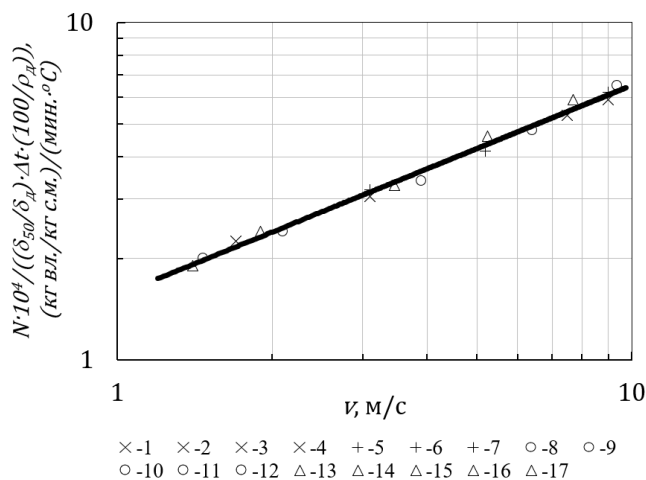


Рисунок 5 – Залежність швидкості сушки в першому періоді від швидкості теплоносія: (1-4) фабричні плити  $\delta \approx 0,042 - 0,052$ м; (5-7)  $\delta \approx 0,082 - 0,1$ м; (8-12) зволожені плити  $\delta \approx 0,042 - 0,052$ м; (13-17)  $\delta \approx 0,082 - 0,1$ м

Вплив швидкості агента сушіння на кінетику процесу вивчається для базальто-бентонітових виробів товщиною 50 та 100 мм. Швидкість агента сушіння змінювалася в діапазоні від 1,0 до 10,0 м/сек., температура і вологовміст агента сушіння підтримувалися постійними і склали 160 °С і 20-25 г вол./кг с. пов. Комплекс, що включає швидкість сушки в першому періоді як функцію від середньої швидкості агента сушіння представлено на рис. 5. Встановлено, що з ростом середньої швидкості агента сушіння, за інших рівних умов, зростає величина першого критичного вологовмісту. В досліджуваному діапазоні параметрів її зміна досягає 30%.

Проведене дослідження дозволило одержати узагальнену залежність для швидкості сушки в першому періоді базальто-бентонітових виробів різної товщини і густини, як функції від температури і швидкості сушки:

$$N = 1,55 \cdot 10^{-4} v^{0,6} (t_c - t_m) \left(\frac{0,05}{\delta_d}\right) \left(\frac{100}{\rho_d}\right), \text{ (кг вол. /кг с. м.) /хв.} \quad (1)$$

де  $t_m$  – температура мокрого термометра, °C;  $\delta_d$  – дійсна товщина виробу, м. Залежність (1) є справедливою для діапазонів параметрів, представлених в таблиці 1.

Узагальнення результатів експериментального дослідження проводилося методом Краснікова. Результати представлено у вигляді графічної залежності на рис.6. На осі абсцис відкладався узагальнений час сушки ( $N\tau$ ), на осі ординат – відношення  $\left(\frac{u_i - u_p}{u_0 - u_p}\right)$ . Узагальнена крива сушки дозволила одержати приведені значення критичних вологовмістів, які характеризують якісні зміни у перебігу процесу. Точки  $K1_{50}$ ,  $K1_{100}$  відповідають першому критичному вологовмісту для базальто-бентонітових виробів товщиною 50 и 100 мм, відповідно. За аналогією з викладеним, точки  $K2_{50}$ ,  $K2_{100}$  відповідають другому критичному вологовмісту. Результати експериментальних досліджень у другому періоді сушки добре апроксимуються ( $R^2 \geq 0,8$ ) рівняннями виду  $\ln(y) = -K \cdot x + B$ , где  $x = N \cdot \tau$ , а  $y = \left(\frac{u_i - u_p}{u_0 - u_p}\right)$ . Коефіцієнти ( $K$ ), при аргументі  $x$ , відповідають відносним коефіцієнтам сушки  $\chi_i$ . Нижче (таблиця 3) наводяться значення відносних коефіцієнтів сушки  $\chi_1, \chi_2$  для базальто-бентонітових виробів товщиною 50 и 100 мм.

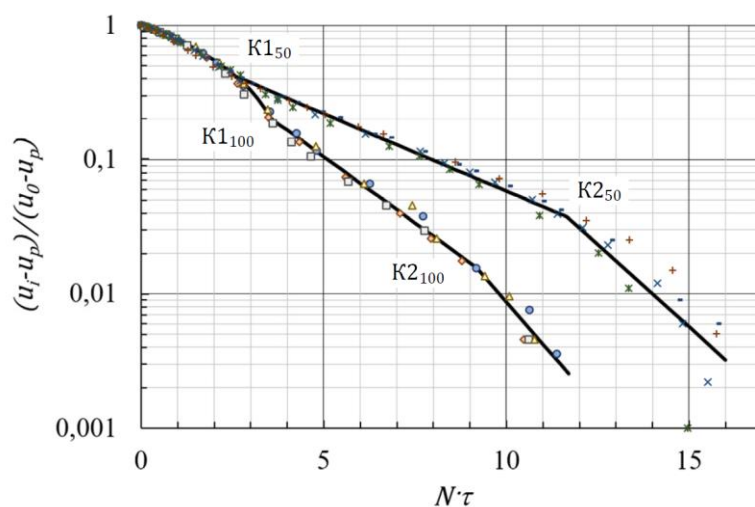


Рисунок 6 – Узагальнені криві сушки базальто-бентонітових виробів товщиною 50 и 100 мм

Узагальнена залежність для розрахунку часу сушки теплоізоляційних базальто-бентонітових виробів має вигляд –

$$\tau = \frac{1}{N} \left[ (u_0 - u_{k1}) + \frac{1}{\chi_1} \ln \frac{u_{k1} - u_p}{u_{k2} - u_p} + \frac{1}{\chi_2} \ln \frac{u_{k2} - u_p}{u_k - u_p} \right], \text{ хв.} \quad (2)$$

Константи, які входять у рівняння (2) представлені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Величини і коефіцієнти, що входять в узагальнену залежність часу сушки

№ пп	Найменування позиції	Позначення	Товщина виробу	
			50	100
1	Приведений перший критичний вологовміст	$\frac{u_{k1} - u_p}{u_0 - u_p}$	0,41	0,20
2	Узагальнений час сушки до приведеного першого критичного вологовмісту	$(N\tau)_1$	2,61	3,54
3	Приведений другий критичний вологовміст	$\frac{u_{k2} - u_p}{u_0 - u_p}$	0,04	0,02
4	Узагальнений час сушки до приведеного другого критичного вологовмісту	$(N\tau)_2$	11,64	9,18
5	Відносний коефіцієнт сушки	$\chi_1$	0,266	0,456
6	Відносний коефіцієнт сушки	$\chi_2$	0,488	0,720

### Висновки

1. Для базальто-бентонітових виробів різної товщини і густини, одержано залежність для швидкості сушки в першому періоді, як функцію від температури і швидкості агента сушіння.

2. Побудовано узагальнені криві повітряної конвективної сушки. Встановлено величини приведених критичних вологовмістів та відносних коефіцієнтів сушки.

3. Встановлено, що для базальто-бентонітових теплоізоляційних виробів спостерігаються періоди з постійною і спадаючою швидкістю сушки, при цьому, в розглянутому діапазоні товщин спостерігаються як перший, так і другий критичний вологовміст.

4. Одержано узагальнену залежність для розрахунку часу повітряної конвективної сушки теплоізоляційних базальто-бентонітових виробів різної товщини та густини.

5. Відмічено, що раціональна організація процесу дозволяє досягнути 2-3 разового зниження питомого енергоспоживання на одиницю випареної вологи.

6. Проведене дослідження служить основою для розробки енергоефективних теплотехнологічних режимів конвективної сушки базальто-бентонітових теплоізоляційних виробів та її апаратурного оформлення.

#### **Список використаних джерел**

1. Тимошенко А.В. Енергетична ефективність виробництва теплової ізоляції на основі базальтових супертонких волокон / В.О. Кремньов, Л.Ю. Шпільберг, А.В. Тимошенко, О.В. Гулієнко, Є.В. Тимошенко // КЕРАМІКА: наука і життя. – 2018. - №4(41). – С. 21-28.

2. Джигирис Д.Д. Основы производства базальтовых волокон и изделий / Д.Д. Джигирис, М.Ф. Махова. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 411 с.

3. Теплотехнический справочник: в 2 т./ [ред. В.Н. Юренев, П.Д. Лебедев]. – М.: Энергия, 1976. – Т. 2. – 1976. – 896 с.

4. Красников В.В. Кондуктивная сушка / Валерий Владимирович Красников. – М.: Энергия, 1973. – 288 с.

5. Гинзбург А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности / Абрам Соломонович Гинзбург. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.

6. Лыков А.В. Теория сушки / Алексей Васильевич Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.

7. Сажин Б.С. Основы техники сушки / Борис Степанович Сажин. – М.: Химия, 1984. – 320 с.

**A. Timoshchenko**, Cand. Sc. (Eng.), **ORCID** 0000-0001-6840-5491

**T. Belyaeva**, Cand. Sc. (Eng.), **ORCID** 0000-0002-9748-6662

**V. Stetsuk**, **ORCID** 0000-0002-6051-3145

**R. Sorokovoy**, **ORCID** 0000-0003-4443-4559

**M. Moroz**, **ORCID** 0000-0001-5079-6340

**Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine**

## **CONVECTIVE DRYING OF HEAT INSULATION BASALTO-BENTONITE PRODUCTS**

*The paper presents the results of the experimental study of air convective drying of flat basalt-bentonite heat insulation products of various thickness and density. Were considered products with the thickness of 50 and 100 mm, and the density of from 100 to 225 kg / m<sup>3</sup>. The effect on the intensity of the process temperature and the average speed of the drying agent was studied. The temperature of the drying agent varied in the range from 100 to 180 ° C with its average moisture content of 20-25 grams of moisture / kg of dry air. The average speed of the drying agent ranged from 1 to 10 m / s. For insulating products there are periods with constant and falling drying speed. In the considered range of product thicknesses, both the first and second critical moisture content are observed. It is noted that with decreasing thickness of the heat insulation product, the values of critical moisture content increase. The influence of the thickness and density of the heat insulation product on the kinetic characteristics of the drying process has been established. The dependence for the drying rate in the first period, as a function of temperature and speed of the drying agent, is given. Using the method of V. Krasnikova constructed generalized curves of air convective drying, established the values of the reduced moisture content and the relative coefficients of drying. A generalized dependence is obtained for calculating the time of air convective drying of heat insulation basalto-bentonite products of various thickness and density. It is noted that the rational*

*organization of the process allows to achieve a 2-3-fold reduction in specific energy consumption per unit of evaporated moisture. The study serves as the basis for the development of energy-efficient heat technology modes of convective drying of basalt-bentonite insulation products and its hardware design.*

**Keywords:** heat insulation, energy efficiency, air convective drying, basalt fibers.

#### References

1. Tymoshchenko A.V. Enerhetychna efektyvnist' vyrobnytstva teplovoyi izolyatsiyi na osnovi bazal'tovykh supertonkykh volokon / V.O. Kremn'ov, L.YU. Shpil'berh, A.V. Tymoshchenko, O.V. Hulyenko, YE.V. Tymoshchenko // KERAMIKA: nauka i zhyttya. – 2018. - №4(41). – S. 21-28.
2. Dzhigiris D.D. Osnovy proizvodstva bazal'tovykh volokon i izdeliy / D.D. Dzhigiris, M.F. Makhova. – M.: Teploenergetik, 2002. – 411 s.
3. Teplotekhnicheskyy spravochnik: v 2 t./ [red. V.N. Yurenev, P.D. Lebedev]. – M.: Energiya, 1976 –. – T. 2. – 1976. – 896 s.
4. Krasnikov V.V. Konduktivnaya sushka / Valeriy Vladimirovich Krasnikov. – M.: Energiya, 1973. – 288 s.
5. Ginzburg A.S. Raschet i proyektirovaniye sushil'nykh ustanovok pishchevoy promyshlennosti / Abram Solomonovich Ginzburg. – M.: Agropromizdat, 1985. – 336 s.
6. Lykov A.V. Teoriya sushki / Aleksey Vasil'yevich Lykov. – M.: Energiya, 1968. – 472 s.
7. Sazhin B.S. Osnovy tekhniki sushki / Boris Stepanovich Sazhin. – M.: Khimiya, 1984. – 320 s.

Надійшла 19.09.2018

Received 19.09.2018