

УДК 533.24.083

Л. П. ШУМСЬКА

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ ПРИ УТЕПЛЕННІ ПОРИСТИМИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

В статті розглядаються результати досліджень, які проводились експериментально в лабораторних умовах та в діючих будівлях. Досліджувалися зразки нових пористих матеріалів на основі стучених гідро розчинних силікатів та кремнезему. На основі отриманих даних аналізувалися методи утеплення огорожувачою конструкцій, перебіг теплових і вологісних процесів, що відбуваються в огорожувальних конструкціях не утеплених та утеплених будівель. Отриману інформацію закладено в основу методики розрахунку параметрів мікроклімату в приміщеннях.

Ключові слова: теплоізоляційні пористі вироби, огорожувальна конструкція, теплопровідність, тепломасообмін, вологовміст, енергоефективність.

В статье рассматриваются результаты исследований, которые проводились экспериментально в лабораторных условиях и в действующих зданиях. Исследовались образцы новых пористых материалов на основе вспученных гидрорастворимых силикатов и кремнезема. На основе полученных данных анализировались методы утепления ограждающих конструкций, протекание тепловых и влажностных процессов, происходящих в ограждающих конструкциях неутепленных и утепленных зданий. Полученную информацию заложено в основу методики расчета параметров микроклимата в помещениях.

Ключевые слова: теплоизоляционные пористые материалы, ограждающая конструкция, теплопроводность, тепломассообмен, влагосодержание, энергоэффективность.

Insulation porous products based on silicates and silica belong to the most effective materials for protective elements of various purposes. Low density, fire resistance, low thermal conductivity, however, sufficiently high strength structural allow to consider the pore ceramic materials one of the most promising materials for construction. Therefore, the problem of creating new porous insulation materials and production technologies are extremely important.

Also, one of the today current requirements is increasing of the buildings energy efficiency that primarily is implemented by increasing their thermal protection. Thermal protection increasing effect directly on improving thermal comfort rooms in the cold season. In addition, reducing the heat load for heating at enhancing thermal protection can reduce the temperature of the coolant. This leads to improved thermal comfort and air quality in premises.

The results of studies, which are carried out experimentally in the laboratory and in existing buildings, are considered. The samples of new porous materials based on chain hydro-soluble silicates and silica are described. Based on these results, methods of covering constructions insulation, the flow of heat and humidity processes occurring in the protective structures of insulated and non-insulated buildings are analyzed. Obtained information is incorporated in the basic method for microclimate parameters calculating in the premises.

Keywords: heat-insulation materials, covering construction, thermal conductivity, heat-and-mass transfer, moisture content, energy efficiency.

Вступ. Теплоізоляційні пористі вироби на основі силікатів та кремнезему належать до найбільш ефективних матеріалів для захисних елементів різного призначення. Низька густина, вогнестійкість, мала теплопровідність, разом з тим достатньо висока конструктивна міцність дозволяють вважати пористо-рамічний матеріал одним із найбільш перспективних матеріалів для будівництва. Тому проблема створення нових пористих теплоізоляційних матеріалів і технологій їх виробництва є надзвичайно актуальною.

Також однією з актуальних вимог сучасності є підвищення енергетичної ефективності будівель, що реалізується, насамперед, за рахунок посилення їх теплового захисту. Посилення теплозахисту прямо позначається на поліпшенні теплового комфорту приміщень у холодну пору року. Крім того, зменшення теплового навантаження на опалення при посиленні теплозахисту дозволяє знизити температуру теплоносія. Це призводить до поліпшення теплового комфорту і якості повітря в приміщенні.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. В літературі наводиться багато інформації щодо різних схем утеплюючих конструкцій [1–5], теплофізичних властивостей нових теплоізоляційних матеріалів [3–8] та способів їх виробництва [5–11].

Наприклад, в роботах [1, 2] наводиться детальний аналіз структури матеріалів, залежності теплофізичних характеристик від структурних показників та закономірності перебігу теплообмінних процесів. Але відсутня інформація щодо впливу на ці процеси вологості.

В роботах [5–8], крім того, теоретично аналізуються процеси перенесення тепла в пористому середовищі, але не враховуються вологовміст та форма пор. Звісно, це призводить до зниженої оцінки теплопровідності.

Роботи [9–11] присвячено розробці методів формування пористої структури. Але вологісні параметри не досліджувалися. Врахування впливу вологи на інтенсивність теплообмінних процесів в теоретичних моделях – задача складна і, ймовірно, не може бути повною мірою вирішена. Тому тільки експериментальні дані можуть надавати реальні результати щодо зазначеного впливу вологості і їх, звичайно, слід використовувати в теоретичних моделях.

Цілі та задачі дослідження. Методи проведення експерименту. Для оцінки кількісного ефекту утеплення будівлі була створено різні математичні моделі перехідних теплових процесів у будівлі та відповідні методики розрахунку.

Метою експериментальних досліджень було визначення тепловологісного стану огорожувальної конструкції будівлі із нового матеріалу, а також для оцінки її ефективності.

Моделювання тепловологісного режиму огорожувальної конструкції при програмному відпуску теплоти виконувалось на експериментальному стенді, в основу якого покладено регулювання відпуску теплоти в приміщенні. Схему установки в цілому та її загальний вигляд представлено на рис. 1, 2.

© Л. П. Шумська. 2016

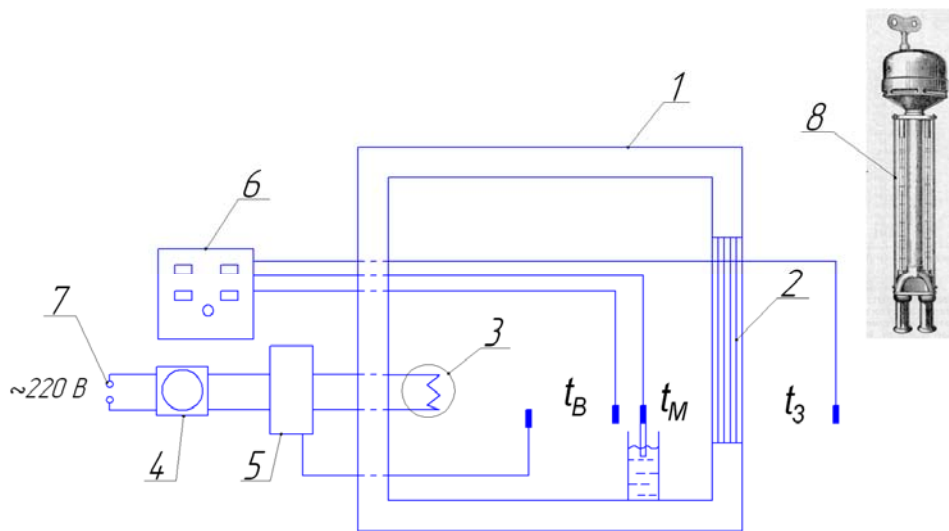


Рис. 1 – Схема експериментальної установки

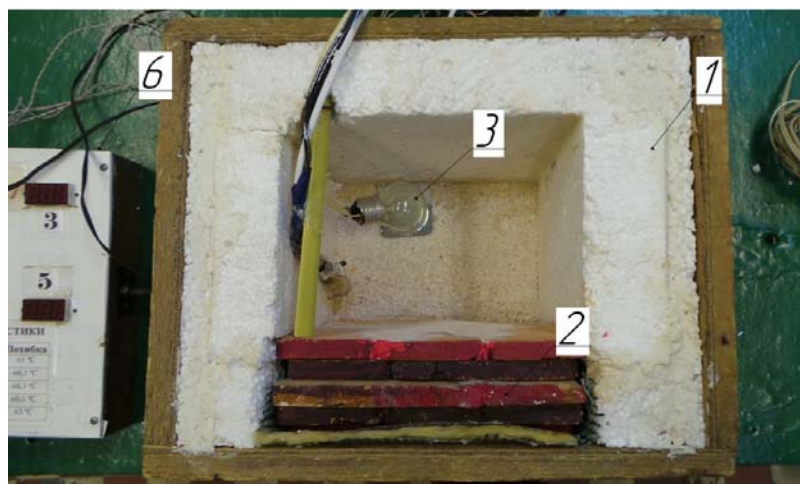


Рис. 2 – Фото експериментальної установки (вигляд зверху)

Експериментальна установка складається з коробки (1) зі стінками, утепленими пінопластом товщиною 5 см. Одна із стінок коробки має прямокутний виріз для вставлення тонких цегляних пластин (2), на прикладі яких досліджувались нестационарні процеси тепло- та вологообміну. В середині та зовні експериментальної установки встановлені датчики температури «сухого» і «мокрого» термометрів. Температура в середині установки регулювалась нагрівачим елементом (3), що автоматично вмикалась та вимикалась за допомогою датчика програми (4) та терморегулятора (5), імітуючи програмне регулювання. Датчик програми та терморегулятор працюють від електромережі (7). Результати замірів температури виводились на цифровий екран датчиків температури (6). Контрольні виміри проводилися аспіраційним психрометром Ассмана (8).

Експериментальна огорожувальна конструкція складалась з п'яти цегляних пластин розміром 20×20 см товщиною 1 см кожна (рис. 3). Торці кожної пластини були оброблені лаком для запобігання розповсюдження вологи, що міститься всередині огорожувальної конструкції та надходить до неї.

В ході експерименту проводилися заміри температури і вологості повітря в середині та зовні експериментальної установки, та заміри масової вологи

цегляних пластин ваговим методом. В установці було встановлено два датчики температури, один з яких був обмотаний батистом та опущений у ємність з дистильованою водою. За допомогою цього датчика виконувалися заміри температури «мокрого» термометра. Інший датчик температури – заміри сухого термометра. Третій датчик було встановлено на зовнішній стінці коробки для вимірювання температури зовнішнього повітря.



Рис. 3 – Фото експериментальної огорожувальної конструкції

Вологість повітря зовні експериментальної установки вимірювалась один-два рази на добу.

Було проведено лабораторні дослідження для неутепленої та утепленої зовні огорожувальної конструкції.

Усі експерименти проводились в лабораторному приміщенні, а саме у підвалі, де спостерігалась приблизно постійна температура повітря.

Прилади, що використовувались для вимірювань:

– для визначення відносної вологості повітря використовувався аспіраційний психрометр Ассмана (клас точності – 0,1 °С);

– для зважування пластин у ході експерименту використовувалися лабораторні ваги технічні 2-го класу Т-200 з точністю вимірювання до 0,01 г;

– для сушіння пластин використовувалася електрична сушильна шафа з температурою нагріву до 200 °С та плавним регулюванням температури в режимі від 1 до 5;

– у якості регулятора температури для експериментальної установки використовувався терморегулятор плавно затухаючого типу ТРТ-1000, що працює від електричної мережі. Терморегулятор являє собою електронний пристрій з тристоронньою безконтакт-

ною системою регулювання температури у діапазоні від +20 °С до +50 °С. Задання температури виконується двома змінними резисторами, плавного і грубого регулювання.

Результати замірів внутрішньої та зовнішньої температури експериментальної установки виводились на блок приладу МІВ-1, де встановлені датчики температури типу Т-0,56 DS.

Неутеплена огорожувальна конструкція.

Вихідні дані:

Параметри приміщення (навколишнього середовища): $t=18,6$ °С, $\varphi=92$ %, $P=1898,88$ Па.

Параметри внутрішнього повітря експериментальної установки задавались за датчиком – періодично нагріваючись та охолоджуючись.

Заміри температури сухого та мокрого термометрів, на основі яких визначався парціальний тиск в середині експериментального приміщення, робились через кожну 1 хвилину протягом циклу ввімкнення та вимкнення нагрівального елемента. Результати розрахунку представлені в табл. 1, рис. 4, 5.

Таблиця 1 – Результати розрахунку

Час експерименту, хв	Температура в середині експериментального приміщення, °С	Парціальний тиск в середині експериментального приміщення, Па	Час експерименту, хв	Температура в середині експериментального приміщення, °С	Парціальний тиск в середині експериментального приміщення, Па
0	22,6	2330,7	39	30,4	2951,9
1	30,3	3065,1	40	30,4	2951,9
2	31,3	3154,0	41	30,4	2951,9
3	31,4	3217,9	42	30,4	2951,9
4	31,4	3171,9	43	30,4	2951,9
5	31,3	3108,3	44	30,4	2951,9
6	31,2	3089,9	45	30,4	2951,9
7	31,1	3072,2	46	29,6	2860,7
8	30,9	3036,9	47	28,8	2795,3
9	30,8	3064,3	48	28,3	2769,1
10	30,7	3002,9	49	27,8	2809,0
11	30,6	2985,2	50	27,3	2721,0
12	30,5	2968,9	51	27,3	2721,0
13	30,4	2951,9	52	26,9	2693,44
14	30,4	2951,9	53	26,9	2693,44
15	30,4	2951,9	54	26,1	2603,37
16	30,4	2951,9	55	26,1	2603,37
17	30,4	2951,9	56	25,5	2544,36
18	30,4	2951,9	57	25,5	2544,36
19	30,4	2951,9	58	25	2534,4
20	30,4	2951,9	59	25	2534,4
21	30,4	2951,9	60	24,6	2536,26
22	30,4	2951,9	61	24,6	2536,26
23	30,4	2951,9	62	24,3	2460,78
24	30,4	2951,9	63	24,3	2460,78
25	30,4	2951,9	64	23,9	2401,65
26	30,4	2951,9	65	23,9	2401,65
27	30,4	2951,9	66	23,6	2388,66
28	30,4	2951,9	67	23,6	2388,66
29	30,4	2951,9	68	23,4	2387,91
30	30,4	2951,9	69	23,4	2387,91
31	30,4	2951,9	70	23,1	2373,84
32	30,4	2951,9	71	23,1	2373,84
33	30,4	2951,9	72	22,9	2345,28
34	30,4	2951,9	73	22,9	2345,28
35	30,4	2951,9	74	22,8	2331,84
36	30,4	2951,9	75	22,8	2331,84
37	30,4	2951,9	76	22,6	2303,28
38	30,4	2951,9	–	–	–

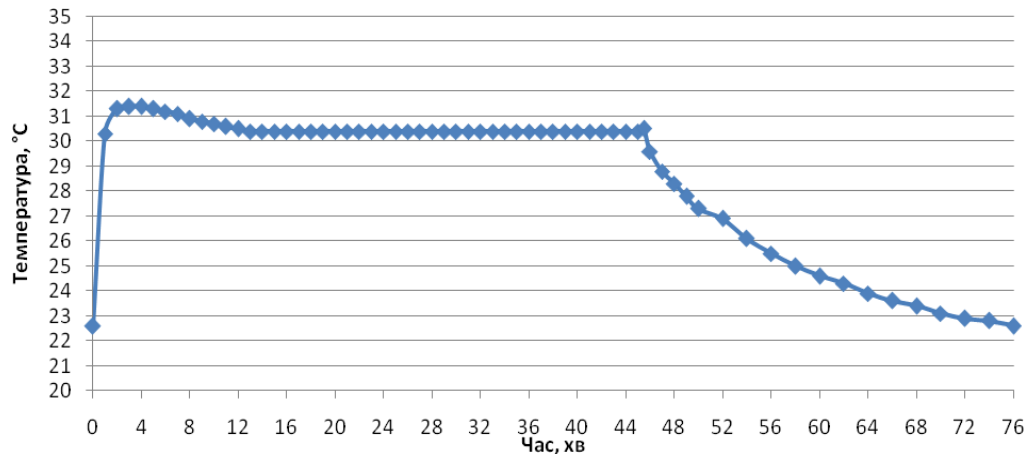


Рис. 4 – Графік температурного розподілу всередині експериментального приміщення

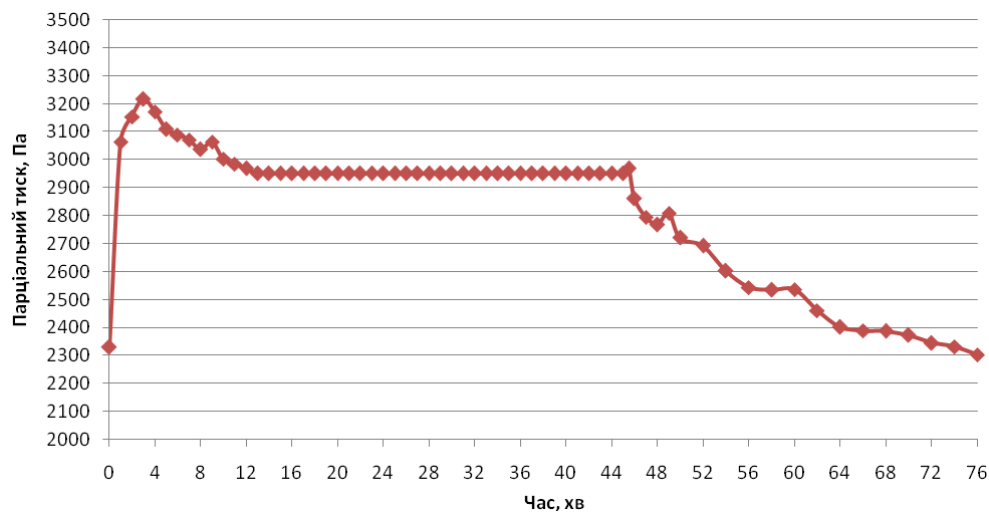


Рис. 5 – Графік розподілу парціального тиску всередині експериментального приміщення

Заміри ваги цегляних пластин виконувались один раз на добу (табл. 2, табл. 3). Тривалість експерименту визначався переходом пластин у стаціонарний режим – коли пластини перестають набирати вологу, їх вага стає незмінною. Загальний час експерименту з не утепленою огорожувальною конструкцією – 187,8 годин.

Таблиця 2 – Вага пластин у сухому стані

Вага пластин у сухому стані, г				
1	6	3	4	2
750,20	712,89	740,00	707,86	825,80

Таблиця 3 – Вага пластин у сухому стані

Час дослід, год	Вага пластин у ході експерименту, г				
	1	6	3	4	2
0	752,57	715,14	741,85	710,23	828,70
19,8	753,13	715,66	743,07	710,54	828,90
44,5	753,23	716,00	743,07	710,9	829,10
68,5	753,52	716,04	743,07	711,10	829,30
144,1	753,29	715,73	743,05	711,26	829,50
164,8	753,31	715,70	742,85	711,21	829,60
187,8	753,3	715,52	742,85	711,18	829,60

На основі отриманих результатів ваги пластин була розрахована їх масова волога ω , %:

$$\omega = \frac{m_i - m_1}{m_1}, \quad (1)$$

де m_1 – вага пластин у сухому стані, г; m_i – вага пластин у ході експерименту, г.

Масова волога пластин за експериментальними даними представлена в табл. 4.

Таблиця 4 – Масова волога пластин

Час дослід, год	ω , %				
	1	6	3	4	2
0	0,32	0,32	0,25	0,34	0,35
19,8	0,39	0,39	0,42	0,38	0,38
44,5	0,40	0,44	0,42	0,43	0,40
68,5	0,44	0,44	0,42	0,46	0,43
144,1	0,41	0,40	0,41	0,48	0,45
164,8	0,42	0,39	0,39	0,47	0,46
187,8	0,41	0,37	0,39	0,47	0,46

Результати експерименту порівнювались з розрахунками, проведеними за математичною моделлю. Масова волога пластин за розрахунковими даними представлена в табл. 5.

Таблиця 5 – Масова волога пластин за розрахунковими даними

Час досліду, год	ω , %				
	1	6	3	4	2
0	0,32	0,31	0,25	0,33	0,35
19,8	0,45	0,36	0,33	0,33	0,33
44,5	0,47	0,44	0,4	0,38	0,36
68,5	0,48	0,44	0,42	0,4	0,36
144,1	0,48	0,46	0,45	0,42	0,37
164,8	0,47	0,45	0,43	0,41	0,37
187,8	0,47	0,45	0,44	0,41	0,37

Схема розташування пластин у ході експерименту зображено на рис. 6.

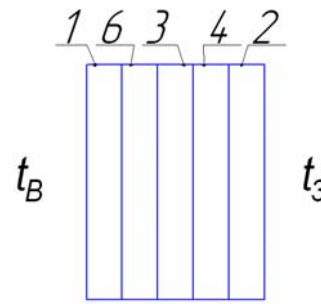


Рис. 6 – Схема розташування пластин, де 1, 2, 3... – номери експериментальних пластин

Результати порівняння масової вологи кожної експериментальної пластини зображені на рис. 7, де червоним кольором позначено розрахункові дані, а синім – експериментальні.

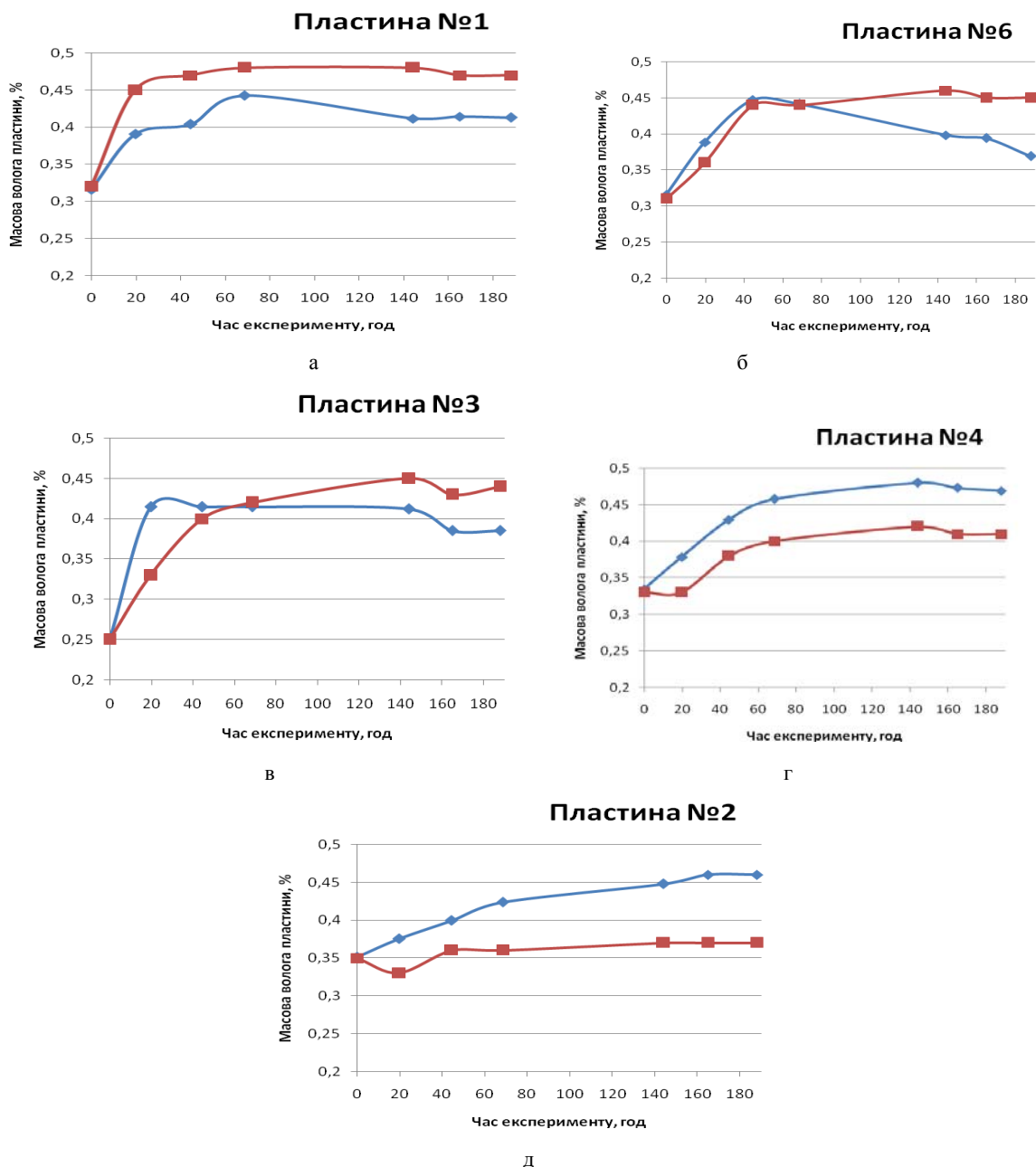


Рис. 7 – Порівняння результатів натурального експерименту з математичним розрахунком: а – пластина №1; б – пластина № 6; в – пластина № 3; г – пластина № 4; д – пластина № 2.

Утеплена зовні огорожувальна конструкція

Загальний час експерименту з утепленою зовні огорожувальною конструкцією – 94 години. Вага пластин у сухому стані та у ході експерименту представлено у табл. 6, 7.

Таблиця 6 – Вага пластин у сухому стані

Вага пластин у сухому стані, г				
1	6	3	4	2
750,20	712,89	740,00	707,86	825,80

Таблиця 7 – Вага пластин в ході експерименту

Час до- сліду, год	Вага пластин у ході експерименту, г				
	1	6	3	4	2
0	751,32	714,35	741,21	708,70	826,10
3,9	752,07	715,085	741,805	709,21	827,63
23,2	752,31	715,34	742,35	710,10	828,34
94,0	752,57	715,51	742,60	710,27	828,62

Масова волога пластин за експериментальними даними представлена в табл. 8.

Масова волога пластин за розрахунковими даними представлена в табл. 9.

Таблиця 8 – Масова волога пластин

Час до- сліду, год	ω , %				
	1	6	3	4	2
0	0,15	0,21	0,16	0,12	0,04
3,9	0,25	0,31	0,24	0,19	0,22
23,2	0,28	0,34	0,32	0,32	0,31
94,0	0,32	0,37	0,35	0,34	0,34

Таблиця 9 – Масова волога пластин

Час до- сліду, год	ω , %				
	1	6	3	4	2
0	0,15	0,19	0,15	0,11	0,03
3,9	0,29	0,16	0,13	0,14	0,18
23,2	0,35	0,33	0,3	0,28	0,28
94,0	0,36	0,35	0,34	0,32	0,3

Схему розташування пластин у ході експерименту зображено на рис. 6

Результати порівняння масової вологи кожної експериментальної пластини зображені на рис. 8, де червоним кольором позначено розрахункові дані, а синім – експериментальні.

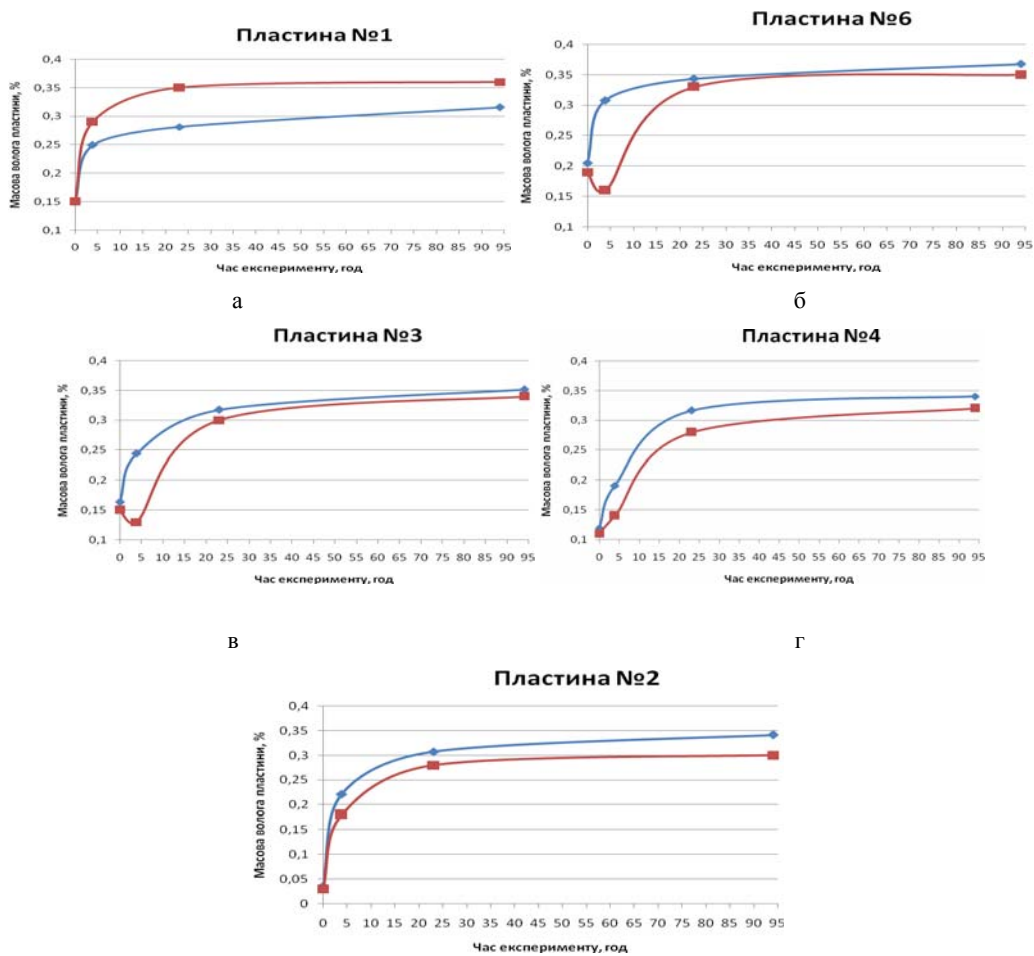


Рис. 8 – Порівняння результатів натурального експерименту з математичним розрахунком: а – пластина №1; б – пластина № 6; в – пластина № 3; г – пластина № 4; д – пластина № 2.

Висновки

1. Результати натурного експерименту для неутепленої огорожувальної конструкції показали, що за перші 60 годин експерименту експериментальна конструкція інтенсивно набирала вологу. Далі процес зміни масової вологи кожної експериментальної пластини починав сповільнюватись, тобто конструкція починала виходити на більш стаціонарний режим накопичення вологи. Приблизно ж такі значення були отримані у ході математичного розрахунку даної експериментальної конструкції. Точність наукових розрахунків складає >5%, проте це можна пояснити тим, що у ході експерименту не вдалося забезпечити ідеальний тепловий контакт між пластинами.

За результатами експерименту видно, що максимальний вологовміст спостерігається у зовнішній експериментальній пластині (№1). Це відповідає загальним уявленням про процеси тепломасообміну в неутеплених огорожувальних конструкціях.

2. Результати натурного та цифрового експерименту для огорожувальної конструкції із зовнішнім утепленням показали, що за перші 25 годин експерименту теплоізоляційна конструкція із нового матеріалу інтенсивно набирала вологу. Далі конструкція починала виходити на більш стаціонарний режим накопичення вологи. Приблизно такі ж значення були отримані у ході математичного розрахунку даної експериментальної конструкції. Точність наукових розрахунків складає <5%.

За результатами експерименту встановлено, що кількість вологи, накопиченої у зовнішній експериментальній конструкції, значно менша, ніж у неутепленій огорожі. Це відповідає загальним уявленням про процеси тепломасообміну в утеплених зовні огорожувальних конструкціях.

Список літератури:

- Братута С. Г. Пористі теплоізоляційні матеріали [Текст] / С. Г. Братута, А. М. Павленко, А. В. Кошляк, О. В. Кругляков. – Харків: ТОВ «ЕДЕНА», 2010. – 107 с.
- Bodnarova, L. Behaviour of Lightweight Expanded Clay Aggregate Concrete Exposed to High Temperatures [Text] / L. Bodnarova, R. Hela, M. Hubertova, I. Novakova // International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering. – 2014. – Vol. 8, № 12. – P. 1205–1208.
- Nimmo, J. Porosity and Pore Size Distribution [Text] / J. Nimmo // Encyclopedia of Soils in the Environment. – 2005. – P. 295–303. doi:10.1016/b0-12-348530-4/00404-5
- Pavlenko, A. M. Analysis of thermal peculiarities of alloying with special properties [Text] / A. M. Pavlenko, B. O. Usenko, H. V. Koshlak // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – № 2. – P. 15–19.
- Lopez-Pamies, O. Effects of internal pore pressure on closed-cell elastomeric foams [Text] / O. Lopez-Pamies, P. P. Castaneda, M. I. Idiart // International Journal of Solids and Structures. – 2012. – Vol. 49, № 19–20. – P. 2793–2798. doi:10.1016/j.ijsolstr.2012.02.024
- Aboudi, J. Multiscale Modeling of Composites [Text] / J. Aboudi, S. M. Arnold, B. A. Bednarczyk // Micromechanics of Composite Materials. – 2013. – P. 447–540. doi:10.1016/b978-0-12-397035-0.00007-0
- Pavlenko, A. M. Design of processes of thermal bloating of silicates [Text] / A. M. Pavlenko, H. V. Koshlak // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 1. – P. 118–122.
- Pavlenko, A. Production of porous material with projected thermophysical characteristics [Text] / A. Pavlenko, H. Koshlak // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 1. – P. 123–128.
- Pavlenko, A. M. Peculiarities of controlled forming of porous structure [Text] / A. M. Pavlenko, H. V. Koshlak, B. O. Usenko // Thermal technology. – 2014. – № 6. – P. 92–95.
- Pavlenko, A. M. Thermal conductivity of the gas small space [Text] / A. M. Pavlenko, H. V. Koshlak, B. O. Usenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – № 2. – P. 20–24.
- Pavlenko, A. Study of the formation of gas-vapor in the liquid mixture [Text] / A. Pavlenko, H. Koshlak, A. Cheilytko, M. Nosov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 4/5 (82). – P. 58–65. doi:10.15587/1729-4061.2016.75428

Bibliography (transliterated):

- Bratuta, E. H. (2010). Porysti teploizolatsiini materialy. Kharkov: TOV «EDENA», 107.
- Bodnarova, L., Hela, R., Hubertova, M., Novakova, I. (2014). Behaviour of Lightweight Expanded Clay Aggregate Concrete Exposed to High Temperatures. International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering, 8 (12), 1205–1208.
- Nimmo, J. R. (2005). Porosity and pore-size distribution. Encyclopedia of Soils in the Environment, 295–303. doi:10.1016/b0-12-348530-4/00404-5
- Pavlenko, A. M., Usenko, B. O., Koshlak, H. V. (2014). Analysis of thermal peculiarities of alloying with special properties. Metallurgical and Mining Industry, 2, 15–19.
- Lopez-Pamies, O., Castaneda, P. P., Idiart, M. I. (2012). Effects of internal pore pressure on closed-cell elastomeric foams. International Journal of Solids and Structures, 49 (19-20), 2793–2798. doi:10.1016/j.ijsolstr.2012.02.024
- Aboudi, J., Arnold, S. M., Bednarczyk, B. A. (2013). Multiscale Modeling of Composites. Micromechanics of Composite Materials, 447–540. doi:10.1016/b978-0-12-397035-0.00007-0
- Pavlenko, A. M., Koshlak, H. V. (2015). Design of processes of thermal bloating of silicates. Metallurgical and Mining Industry, 1, 118–122.
- Pavlenko, A. M., Koshlak, H. V. (2015). Production of porous material with projected thermophysical characteristics. Metallurgical and Mining Industry, 1, 123–128.
- Pavlenko, A. M., Koshlak, H. V., Usenko, B. O. (2014). Peculiarities of controlled forming of porous structure. Thermal technology, 6, 92–95.
- Pavlenko, A. M., Koshlak, H. V., Usenko, B. O. (2014). Thermal conductivity of the gas small space. Metallurgical and Mining Industry, 2, 20–24.
- Pavlenko, A., Koshlak, H., Cheilytko, A., Nosov, M. (2016). Study of the formation of gas-vapor in the liquid mixture. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(5(82)), 58–65. doi:10.15587/1729-4061.2016.75428

Надійшла (received) 10.01.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження теплового захисту будівель при утепленні пористими теплоізоляційними матеріалами/ Л. П. Шумська// Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2016. – No 4(1176). – С.102–109. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Исследование тепловой защиты зданий при утеплении пористыми теплоизоляционными материалами/ Л. П. Шумская// Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2016. – No 4(1176). – С.102–109. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.