

Висновки. Після завершення дослідження ми зможемо визначити вогнегасні властивості комбінованої піни та відповісти на питання чи слід окремо розрізняти піну середньої кратності отриманої різними способами, а також запропонувати спосіб визначення кратності. Для комбінованої піни, що в подальшому буде використано для проектування пінних генераторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ковалишин В.В., Васільєва О.Е., Козяр Н.М. Пінне гасіння // Навч. посібник.– Львів: ЛДУ БЖД, 2007.– 168 с.
2. Антонов А.В., Боровіков В.О., Білошицький М.В., Светлов Є.Я., Чінець С.Д., Деревинський Д.М. Вплив тиску перед піногенератором на піноутворювальну здатність піноутворювачів загального призначення та залежність вогнегасної ефективності піни від її кратності // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2002.– №1(5). – С. 105-111.
3. Чучковський В.М., Меренков В.П., Ілляшенко Г.В., Деревинський Д.М., Антонов А.В. Дослідження з визначення тактико-технічних характеристик установки комбінованого гасіння пожеж “Пурга-5” // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2002. – №2 (6). – С. 175-182.
4. Луц В.І. Підвищення ефективності гасіння пожеж легкозаймистих та горючих речовин комбінованими пінними струменями: Автореф. дис. ... канд.техн.наук. – Л., 2007. – 20 с.
5. ДСТУ 3789-89. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробувань.
6. ДСТУ 2802-94. Стволи пожежні лафетні комбіновані.

УДК 666.974.2

Р.В.Пархоменко, к. т. н., В.В.Кошеленко, к.т.н. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності), І.В.Маргаль, к.т.н., доцент (Національний університет «Львівська політехніка»)

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СУЛЬФУРВМІСНИХ МАСТИК І БЕТОНІВ ПРИ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

У статті наведені дані про дослідження впливу підвищених температур на теплофізичні властивості сірчанних мастик і бетонів. Визначені фактори, які мають визначальний вплив на теплофізичні властивості сірчанних мастик і бетонів

Сірчаний бетон є конструктивним матеріалом, що є альтернативою для традиційних цементних бетонів у тому випадку, коли, окрім міцності, до бетону пред'являються високі вимоги щодо корозійної стійкості.

Проте одними із найбільш істотних недоліків бетонів, модифікованих сіркою, продовжують залишатися низькі термостійкість, термостабільність та вогнестійкість. Тому пошук способів і методів підвищення даних характеристик є важливою науковою і практичною задачею, від успішного вирішення якої залежить масштабність і розширення сфер використання Сірки в будівництві.

Знання теплофізичних властивостей забезпечує якість технологічного процесу виробництва і необхідні властивості виробів на основі сірчаного в'язучого при експлуатації в умовах підвищених температур.

Даних про теплофізичні характеристики сірчановмісних матеріалів, зокрема сірчанних бетонів, практично немає. Відомі роботи [1-4], в яких питання теплофізики сірчанних бетонів розглядалися фрагментарно.

Метою теплофізичних досліджень є оцінка зміни основних теплофізичних характеристик Сірки, сірчаної мастики і бетону при підвищених температурах залежно від модифікованого стану Сірки, вигляду, вмісту заповнювача і співставлення їх з аналогічними характеристиками звичайного цементного бетону.

Теплопровідність і питома теплоємність.

Основними параметрами при розрахунку температуропроводності, термостійкості, а також при виборі матеріалів для вогнезахисних покриттів, які безпосередньо впливають на час прогрівання конструкцій при пожежі, є коефіцієнти теплопровідності (λ) і питомої теплоємності (C_0) будівельних матеріалів.

У дослідженнях [5] прийнято, що λ і C_0 основних видів будівельних матеріалів з підвищенням температури змінюються по прямолінійній залежності. При цьому вважається, що λ із зростанням температури знижується, а C_0 зростає.

Основними чинниками від яких залежить теплопровідність матеріалів є: вид і структура основної речовини, щільність і характер пористості, вологість і температура. Перш, ніж аналізувати результати експериментів, розглянемо структуру сірчаного бетону з позицій теплофізики.

За структурою більшість будівельних матеріалів умовно ділять на два види [6, 7]: а) матеріали із замкнутими включеннями (вкрапленнями) одного матеріалу в іншому; б) матеріали з взаємопроникаючими компонентами (рис.1).

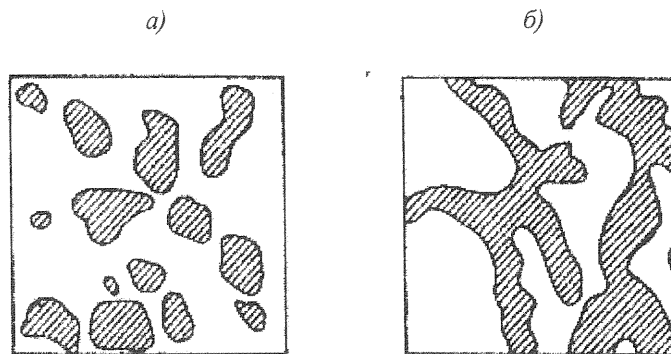


Рис. 1. Гетерогенні системи з різною структурою:

а - з вкрапленнями одного матеріалу в іншому; б - з взаємопроникаючими компонентами [7]

Враховуючи структурні особливості сірчаного і цементного бетонів, структуру першого можна представити у вигляді моделі із замкнутими включеннями (сірчана матриця з вкрапленням заповнювачів) і відсутністю капілярно-пористої системи активних пор і капілярів (рис.1 а), а другого – моделі з взаємопроникаючими компонентами (рис. 1 б).

Сірчаний бетон характеризується відсутністю капілярно-пористої структури і води як компоненту, тому величина коефіцієнта не залежить від вологості і при нормальній температурі є стабільною, залежною від хімічної природи компонентів, що входять до складу бетону.

Якщо при оцінці теплопровідності цементного бетону основним компонентом, від якого залежить теплопровідність, є цементний камінь і його вологість, то основним компонентом сірчаного бетону є сірчане в'яжуче. Враховуючи, що коефіцієнт теплопровідності цементного каменя при 20°C – 0,70 Вт/(м·°C), а Сірки, за цих же умов,

0,27 Вт/(м·°С), слід чекати, що при однакових заповнювачах коефіцієнт теплопровідності сірчаного бетону буде істотно нижчий, ніж цементного.

Сірка відрізняється низькою теплопровідністю, яка залежить від структури, форми і розміру кристалів. Коефіцієнт теплопровідності ромбічної сірки в інтервалі температур 20-95,6°С за даними [8] змінюється лінійно від 0,273 до 0,216 Вт/(м·°С), знижуючись на 21 %. Для моноклінної Сірки при 100°С коефіцієнт складає 0,156-0,166 Вт/(м·°С). Таким чином, Сірка разом із слоюдою, азбестом, деревиною і керамзитом відноситься до матеріалів з високими теплоізоляційними властивостями.

На підставі експериментальних даних коефіцієнт теплопровідності ромбічної сірки в інтервалі температур (20-95,6)°С можна визначити розрахунком за залежністю

$$\lambda = 0,29 - 0,0008t. \quad (1)$$

Коефіцієнт питомої теплоємності Сірки в інтервалі температур (20-105)°С також змінюється прямолінійно збільшуючись від 0,71 до 0,81 кДж/(кг · °С) і для розрахунку пропонується залежність :

$$c_o = 0,685 + 0,0012t. \quad (2)$$

Теплофізичних характеристик полімерної модифікації сірки в технічній літературі ми не знайшли, але відомо, що якщо кристалічний мінерал розплавляється або переходить в аморфний стан, його теплопровідність знижується. Отже, можна припустити, що теплопровідність модифікованої Сірки, структура якої є аморфною або аморфно-кристалічною [3], буде нижча, ніж ромбічної.

Сірка спільно з наповнювачами і заповнювачами утворює твердий каркас, тому загальний коефіцієнт теплопровідності каркаса залежатиме не тільки від Сірки, але і від виду мінеральних компонентів. Як компоненти в сірчаних бетонах використовуються ті ж матеріали, що і в цементних. Вміст заповнювачів в сірчаних бетонах складає 80-87 %, тому так само як і в цементних теплопровідність при нагріві змінюється по такому ж закону як заповнювачів. Знаючи вміст компонентів в об'ємі і їх коефіцієнти теплопровідності сумарну теплопровідність можна розрахувати, використовуючи закон аддитивності за залежністю

$$\lambda = \frac{\lambda_1 \cdot V_1 + \lambda_2 \cdot V_2 + \dots \lambda_n \cdot V_n}{V_1 + V_2 + \dots V_n}, \quad (3)$$

де $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ - коефіцієнти теплопровідності сірчаного в'язучого та окремих мінеральних компонентів, Вт/(м·°С);

V_1, V_2, \dots, V_n - об'ємний вміст окремих компонентів в бетоні.

Із залежності (3) можна зробити висновок, що величину середнього приведенного коефіцієнта теплопровідності бетону можна регулювати в широких межах за рахунок використання різних наповнювачів і заповнювачів, їх вмісту на одиницю об'єму бетону і модифікованого стану сірки.

Відсутність у складі сірчаних бетонів води і гідрофобність сірчаного в'язучого ставить їх в порівнянні з цементними, з точки зору теплофізичних характеристик, у вигідніше положення, оскільки властивості сірчаних бетонів не залежать від їх вологісного стану.

Температуропровідність і теплосасвоєння.

Коефіцієнт температуропровідності a характеризує здатність бетону вирівнювати температуру при нестационарному режимі теплопередачі. Коефіцієнт температуропровідності бетону і характер його зміни при нагріванні бетону, при теоретичному рішенні задач в нестационарних умовах теплопередачі, є основним теплофізичним показником матеріалу.

Коефіцієнт a пов'язаний з теплопровідністю і питомою теплоємністю залежністю $a = \lambda/c$ і залежить від складу і структури матеріалу через щільність $a\rho = \lambda/c$.

Дані про величини a , визначені прямими дослідженнями Сірки, ми не знайшли. Тільки в роботі [1] вказується величина a , визначена для технічної сірки з щільністю $\gamma = 1840 \text{ кг/м}^3$ за методикою Київського НДІБМВ на устаткуванні лабораторії теплофізичних досліджень, що становить $3,88 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

Оскільки прямі теплофізичні дані дослідження матеріалів трудомісткі, разом з випробуваннями контрольних зразків сірки (6 шт.), були проведені розрахунки за залежністю $a = \lambda/\rho c$ для інтервалу температур (20-100) °С з використанням залежностей (1) і (2).

Відомо, що щільність твердої Сірки із зміною температури змінюється мало, тому в розрахунках вона була прийнята для інтервалу температур (20-100) °С постійною і рівною для ромбічної Сірки 2070 кг/м^3 , для аморфно-кристалічної - 1920 кг/м^3 . Результати розрахунків представлені графічно (рис.2) і показують, що температуропровідність Сірки так само як теплопровідність знижується з підвищенням температури і аналітична залежність $a = f(t)$ має вигляд

$$a = (2 - 0,0075t) \cdot 10^{-4} \quad (4)$$

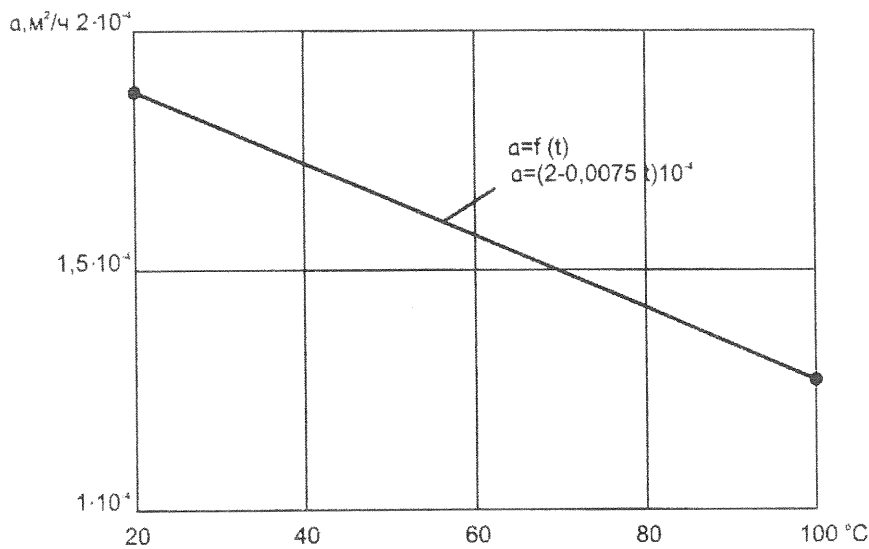


Рис. 2. Залежність коефіцієнта температуропровідності ромбічної сірки при $\gamma = 2070 \text{ кг/м}^3$ від температури

Відомо, що сірка характеризується високими теплоізолюючими властивостями, критерієм оцінки яких є показник теплосасвоєння. Величина показника теплосасвоєння $Y_{\text{п}}$ залежить від коефіцієнта теплосасвоєння, який вираховується за формулою

$$S = A_1 \sqrt{\lambda \gamma_o (C_o + 0,01 A_2 W)}, \quad (5)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності при експлуатаційній вологості, Вт/(м · °С);

γ_o – щільність матеріалу в сухому стані, кг/м³;

C_o – питома теплоємність в сухому стані, кДж/(кг · °С);

W – розрахункове масове відношення води в матеріалі, %;

A_1, A_2 – коефіцієнти, що приймаються в одиницях СІ: $A_1 = 0,27, A_2 = 4,19$.

Оскільки сірка гідрофобна і вологість не має практичного значення формула спрощується і має вигляд:

$$S = A_1 \sqrt{\lambda \gamma c} \quad (6)$$

В цьому випадку розрахункова величина коефіцієнта теплосасвоєння для ромбічної Сірки складає $S = 0,27 \sqrt{0,273 \cdot 2070 \cdot 0,71} = 5,41 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$.

Показник теплосасвоєння поверхні виробів і конструкцій при тепловій інерції $D = R_1 \cdot S_1 \geq 0,5$ визначається залежністю

$$Y_n = 2S, [\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})]. \quad (7)$$

Аналіз результатів теплофізичних досліджень.

Експериментальне визначення теплофізичних характеристик бетонів вимагає значних матеріальних витрат і часу, тому методика визначення комплексу параметрів, необхідних для розрахунку, розроблена в НДЦБМВ [9], є найбільш універсальною, оскільки дозволяє на одному тому ж зразку одержати всі дані. Нижче приведені результати досліджень і розрахунків теплофізичних характеристик досліджуваних складів сірчаних мастик і бетонів (табл. 1) [10].

Таблиця 1

Теплофізичні характеристики сірчаних мастик і бетонів

Матеріал	γ_0	λ	C_0	W, %	S	Y_n	a	v
Сірка технічна немодифікована	2005	0,28	0,71	0	5,51	11,02	1,88	14,54
Сірка, модифікована 5% ДЦПД	1910	0,25	0,82	0	5,21	10,42	1,68	12,42
Сірчана мастика, серія СМК	2245	0,93	0,47	~ 1	10,37	20,74	8,10	26,25
те ж, серія СМКм	2130	0,82	0,54	~ 1	9,85	19,70	7,90	25,13
те ж, серія СМВ	2193	0,80	0,75	~ 1	10,12	20,24	7,40	24,20
те ж, серія СМВм	2182	0,76	0,78	~ 1	9,90	19,80	7,51	23,90
Сірчаний бетон, серія СБК	2340	1,25	0,85	~ 1	11,82	23,64	8,50	27,30
те ж, серія СБКм	2310	1,18	0,60	~ 1	10,92	21,84	8,10	27,01
те ж, серія СБВ	2295	1,19	0,58	~ 1	10,75	21,50	7,25	25,80
те ж, серія СБВм	2275	1,15	0,50	~ 1	9,71	19,42	7,12	25,39

Примітка. Одиниці вимірювання величин, представлених в таблиці:

γ_0 – кг/м³; λ – Вт/(м·°С); C_0 – кДж/(кг·°С); S і Y_n – Вт/(м²·°С); a – м²/с·10⁻⁴; v – кДж/(м²·ч^{0,5}·°С).

Таким чином, при наповненні сірки, коефіцієнт теплопровідності сірчаної мастики визначається кількісним вмістом сірки, видом і кількістю наповнювача, а сірчаного бетону, додатково видом і вмістом крупного і дрібного заповнювачів, тобто залежність (3) стосовно сірчаного бетону можна представити у вигляді:

$$\lambda_b = \frac{\lambda_c V_c + \lambda_n V_n + \lambda_n V_n + \lambda_{щ} V_{щ}}{V_c + V_n + V_n + V_{щ}}, \quad (8)$$

де λ_b – сумарна теплопровідність бетону, Вт/(м²·°С);

$\lambda_c, \lambda_n, \lambda_n, \lambda_{щ}$, – теплопровідності відповідно Сірки, наповнювача, дрібного і крупного заповнювачів, Вт/(м²·°С);

$V_c, V_n, V_n, V_{щ}$, – об'ємний вміст відповідних компонентів бетону.

Результати експериментального визначення λ і розрахункові їх значення за залежністю (8) представлені в табл. 2 [10].

При розрахунках використовувалися наступні довідкові дані: коефіцієнти теплопровідності щільного меленого вапняку з розміром частинок 0-0,15 мм при W= 0 % $\lambda_n = 0,256$, вапняку в твердому стані 0,75, граніту $\gamma_0 = 2800$ кг/м³ $\lambda_{щ} = 3,0$ Вт/(м²·°С), кварцового піску в сухому стані 0,35 Вт/(м²·°С).

З таблиці видно, що похибка між експериментальними і розрахунковими величинами λ незначна.

Експериментальні і розрахункові значення коефіцієнтів теплопровідності $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$ сірчаних мастик і бетонів при нормальних умовах експлуатації

Матеріал, шифр серії	Експериментальні $\lambda_{\text{експ}}$		Розрахункові $\lambda_{\text{розра}}$ за залежністю (8)	$\lambda'_{\text{експ}} / \lambda_{\text{розра}}$	$\lambda''_{\text{експ}} / \lambda_{\text{розра}}$
	$\lambda'_{\text{експ}}$	$\lambda''_{\text{експ}}$			
Сірчана мастика, серія СМК	0,93	1,00	1,14	0,82	0,88
те ж, серія СМКм	0,82	0,79	0,95	0,86	0,83
те ж, серія СМВ	0,80	0,85	0,96	0,83	0,89
те ж, серія СМВм	0,76	0,70	0,90	0,84	0,78
Сірчаний бетон, серія СБК	1,25	-	1,48	0,85	-
те ж, серія СБКм	1,18	-	0,95	1,24	-
те ж, серія СБВ	1,19	-	1,35	0,85	-
те ж, серія СБВм	1,05	-	0,83	1,27	-

Примітка. Експериментальні значення λ отримані при дослідженні зразків-близнюків. Коефіцієнти $\lambda'_{\text{експ}}$ визначені в лабораторії НДІБМВ, $\lambda''_{\text{експ}}$ – в лабораторії НДІЗБ.

Що стосується впливу температури в інтервалах, що розглядаються, то слід зазначити, що величина λ Сірки суттєво від неї залежить, а інших компонентів бетону ні. Тому в розрахунках можна використовувати залежність λ від температури (1), а наповнювачів і заповнювачів – приймати як при нормальних умовах.

Критерієм при аналізі величин коефіцієнтів температуропровідності є швидкість нагріву або охолодження матеріалу. Сірка відрізняється низкою температуропровідністю a , також як і коефіцієнт λ зменшується з підвищенням температури і залежить від модифікованого стану і вмісту Сірки в суміші, виду і вмісту мінеральних компонентів.

Порівнюючи різні матеріали за показниками теплосвоєння (табл. 3) можна зробити такі висновки.

Таблиця 3

Показники теплосвоєння поверхонь матеріалів $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$

Матеріал	S	Y_n	Примітка
Сірка	5,2-5,5	10,4-11	Експериментальні дані в залежності від модифікованого стану Сірки
Деревина дуба те ж, сосни	5,0-7,83 3,87-6,33	10-15,66 7,74-12,66	В залежності від умов експлуатації і напрямку волокон вздовж чи поперек
Сірчана мастика	9,90-10,37	19,80-20,74	Експериментальні дані в залежності від виду наповнювача і його вмісту
Сірчаний важкий бетон	9,71-11,82	19,42-23,64	Експериментальні дані в залежності від виду мінеральних компонентів
Сірчаний легкий бетон	6,18	12,36	Експериментальні дані в залежності від виду легкого мінерального компонента
Важкий бетон на гранітному щебені, щільність в сухому стані 2400 кг/м^3	16,77-17,88	33,54-35,76	В залежності від умов експлуатації
Керамзитобетон на керамзитовому піску, щільність в сухому стані $500-1800 \text{ кг/м}^3$	2,55-10,77	5,10-11,54	В залежності від умов експлуатації

Теплосвоєння сірки знаходиться на рівні деревини дуба і сосни і знижується при модифікації технічної сірки ДЦПД. Це логічно, оскільки теплосвоєння полімерних матеріалів дуже низьке і складає $0,4-1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ C)$. Теплосвоєння сірчаних мастик і бетонів залежить від виду і вмісту мінеральних компонентів і в середньому в 1,6 разу нижче за

теплотасвоєння важкого бетону на гранітному щебені. Якщо в сірчаному бетоні замінити природні щільні заповнювачі, наприклад керамзитом, то показники його теплотасвоєння будуть практично однаковими з керамзитобетоном на керамзитовому піску. Це дозволяє рекомендувати легкі сірчані бетони для влаштування теплої підлоги (нормативні величини теплотасвоєння підлоги $Y_{\text{п}}^{\text{н}}$ в межах 12-17 Вт/(м²·°C) залежно від вимог, які до них ставляться).

Висновки

1. Встановлено, що на теплофізичні властивості сірчаних мастик і бетонів досліджених складів визначальний вплив мають такі чинники: модифікований стан Сірки, її кількісний вміст у складі сірчаних систем, вид і кількісний вміст мінеральних компонентів. Тому, знаючи їх вміст у складі сумішей і основні теплофізичні характеристики, використовуючи закон аддитивності (закон сумішей) можна, з достатньою для практики точністю, розрахунковим шляхом визначати основні теплофізичні характеристики сірчаних мастик і бетонів.
2. Оскільки сірка відноситься до речовин з гідрофобною мінеральною поверхнею, гомеополлярною атомною кристалічною решіткою, не здатною до утворення водневих зв'язків з молекулами води, а структура сірчаних мастик і бетонів характеризується відсутністю активної системи пор і капілярів, характерною для цементним системам, вологість таких матеріалів при оцінці їх теплофізичних властивостей має другорядне значення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. *Ивашкевич Б.П. Разработка оптимальных составов серных мастик и исследование воздействий повышенных температур на их свойства: Дис... канд. техн. наук: 05.23.05. – Х., 1991. – 174 с.*
2. *Еремина В.А. Легкие бетоны на серном вяжущем для полов производственных сельскохозяйственных зданий: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. / Научно-исслед. ин-т железобетона, – М., 1988. – 21 с.*
3. *Орловский Ю.И. Бетоны, модифицированные серой: Дис... д-ра техн. наук: 05.23.05. – Харьков, 1992. – 529 с.*
4. *Записоцкий П.В. Мастика и бетон на основе известняковых серных руд Прикарпатья: Дис. ...канд.техн.наук: 05.23.05. – Киев – Львов, 1999. – 181 с.*
5. *Ройтман В.М. Влияние температуры на теплофизические характеристики строительных материалов // Сб. трудов МИСИ им. Куйбышева. –М., 1970. –№ 68. – С. 39-45.*
6. *Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Справочная книга. –Л.: Энергия, 1974. – 315 с.*
7. *Горчаков Г.И., Лифанов И.И., Багаутдинов А.А., Ахмедов С.С. Прогнозирование теплопроводности композиционных материалов различного строения // Строительные материалы. –1992. –№4. – С.27–29.*
8. *Кауе G.W.C., Higgins W.F. Proceedings Royal Soc., London, 1929. A 122. – P. 633 – 646*
9. *Методические рекомендации по экспресс – определению теплопроводности строительных и теплоизоляционных материалов. –К., 1984. – 16 с.*
10. *Пархоменко Р.В. Температурная устойчивость серных бетонов и способы ее повышения: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. –Одесса, 2005. – 268 с.*