

де C_1, C_2, A, A_1 – визначаються з граничних умов (4).

Розв'язок задачі (3), (4) реалізовано у середовищі Mathematica 4.

Висновки

Наведено фізико-математичну модель розрахунку технологічних параметрів просочування деревини з врахуванням змінних значень коефіцієнтів стискання просочуваної рідини і пористості деревини. Отриманий алгоритм з використанням програмного середовища Mathematica 4 дозволяє розрахувати залежності глибини просочування від тиску рідини і тривалості процесу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Серговский П.С., Расев А.И. Гидродинамическая обработка и консервирование древесины. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 359 с.
2. Варфоломеев Ю.А., Баданина А.А., Аганов Д.В. Решение краевой задачи Стефана для уравнений фильтрации жидкости в древесине //Межвуз. сборник научных трудов/ ПГУ – 2000. – Вып.3: Вестник математического факультета. – С. 16-21.
3. Коллинз Р. Течение жидкости через пористые материалы. – М.: Мир, 1974. – 350с.
4. Осмач Н.А. Проницаемость и проводимость древесины. – М.: Лесная промышленность, 1964 – 184с.
5. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами товароведения : Учебник для ВУЗов. – 2-е изд. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 366с.

УДК 666.974.2

Пархоменко Р.В. (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУР НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СІРЧАНИХ МАСТИК І БЕТОНІВ*

У статті наводяться дані про дослідження впливу підвищених температур (інтервал 20 °С – 110 °С) на міцність сірчаних композицій, температурних деформацій і напруг та експериментальне визначення коефіцієнтів лінійного розширення в межах (+23 °С) - (+46°С) і (+23 °С) - (-26 °С).

Сірчані мастики і бетони, разом з багатьма позитивними якостями, мають ряд значних недоліків і насамперед порівняно низьку термостійкість і підвищену горючість. Тому дослідження їх стійкості до впливу негативних і позитивних температур є актуальним питанням.

Дослідженнями сірчаних бетонів, які були проведені в Канаді [1], при охолодженні їх до – 40 °С встановлено, що показники, які характеризують міцність сірчаних бетонів, змінюються незначно. В роботах С. Н. Журкова, Г. Л. Слонимського, А. Л. Рабіновича вказується, що міцність термопластичних полімерів, каучуків, гуми підвищується прямо пропорційно зниженню температури, при цьому максимальна міцність таких матеріалів може бути отримана при температурі – 200 °С і нижче.

Сірка є типовим термопластом і можна припустити, що вплив низьких температур на сірчані бетони має бути аналогічним їх впливу на термопластичні полімери. До теперішнього часу досліджень характеристик міцності сірчаних мастик і бетонів при понижених температурах практично не проводилось.

* Робота виконується в рамках кандидатської дисертації під керівництвом проф. Ю. І. Орловського і доц. Т.Н.Шналя

В НДІЗБ Держбуду СРСР (М. В. Патуров) [2] вивчались характеристики міцності сірчанних бетонів при зниженні температури від 0 до -60°C з інтервалом 20°C на зразках розміром $40 \times 40 \times 160$ мм. Результати дослідів показали, що із зниженням температури у даному інтервалі характеристики міцності сірчаного бетону збільшуються від 44 до 58 МПа (рис. 1.).

Відомо, що низька термостійкість обмежує області застосування виробів і конструкцій з сірчанних бетонів. До теперішнього часу відсутні науково обгрунтовані рекомендації щодо гранично допустимих позитивних температур, при яких виріб чи конструкція із сірчаного бетону знижує свою несучу здатність не більш ніж на 20%.

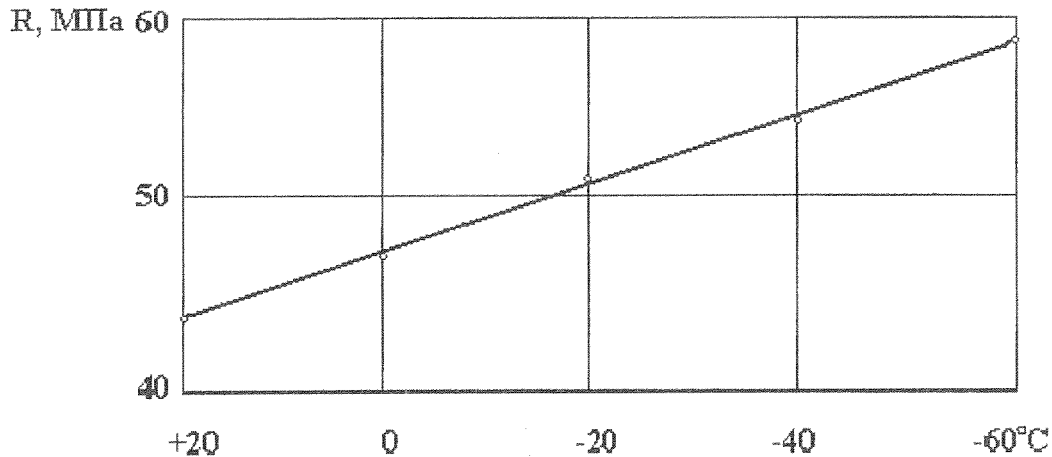


Рис. 1. Залежність межі міцності сірчаного бетону на стиснення від температури в інтервалі ($+20^{\circ}\text{C}$) - (-60°C)

Дослідження, проведені в НДІЗБ, показали, що при дії на полімербетони температур в інтервалі $20-100^{\circ}\text{C}$ їх міцність знижується прямо пропорційно підвищенню температури і при 80°C становить 50% від початкової при 20°C .

На початку ми припускали, що вплив підвищених температур на характеристики міцності сірчанних бетонів має бути аналогічним. Однак, проведені експерименти показали, що характер зміни міцності сірчанних бетонів під дією позитивних температур значно відрізняється від характеру зміни характеристик міцності полімербетонів при аналогічних умовах випробувань [3,4,5].

Здатність бетону протистояти дії температур характеризується температурним коефіцієнтом лінійного розширення (ТКЛР). Сірчані бетони та мастики мають високу термочутливість, тому для розрахунку напруг, які виникають від дії температур у виробів і конструкціях на їх основі, необхідно знати величину ТКЛР.

Мета і методика досліджень

Метою досліджень було вивчення впливу підвищених температур (інтервал $20^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$) на міцність сірчанних композицій, виникнення температурних деформацій і напруг та експериментальне дослідження коефіцієнтів лінійного розширення в інтервалах $(+23^{\circ}\text{C}) - (+46^{\circ}\text{C})$ і $(+23^{\circ}\text{C}) - (-26^{\circ}\text{C})$.

Об'єктами досліджень були: технічна сірка, склади сірчанних мастик і бетонів з використанням кварцового наповнювача, кварцового піску і гранітного щебеню.

Предметом досліджень було встановлення закономірностей зміни міцності даних об'єктів, виникнення температурних деформацій і визначення коефіцієнтів лінійного розширення у вказаних інтервалах температур.

Методика випробувань дослідних зрізів на межу міцності при згинанні передбачала такий порядок. Зразки розміром $0,04 \times 0,04 \times 0,16$ м розміщувалися в термошафі з автоматичним регулюванням температури, де знаходився контрольний зразок з вмонтованою в центрі термопарою. Зразки прогрівались дотого часу, поки по контрольному не була зафіксована рівномірність прогріву всього перерізу до заданого рівня температури. Потім

зразки виймалися з термошафи і випробовувалися на розтяг при згинанні, а половинки - на стиснення.

Дослідження ТКЛР зразків – циліндрів діаметром 5 мм і довжиною 50 мм з сірки і сірчаних мастик, проводилося на установці, яка дозволяла вимірювати температурні деформації в діапазоні 10 – 110 °С за допомогою індукційного датчика пересування [3] і з використанням кварцового дилатометра ДКВ – 2 для контролю.

Вимірювання ТКЛР зразків сірчаних бетонів виконувалось на спеціальній установці, яка змонтована на базі сушильної термошафи. Дослідний взірець розміром 0,04 X 0,04 X 0,16 м встановлювали вертикально в шафу на металеву рамку, підвішену до жорсткої металічної консолі через отвір в шафі. При нагріванні деформації зразка передавалися на кварцовий стрижень, який одним кінцем впирався на шток індикатора годинникового типу, другим – на репер, приклеєний до торця зразка. Перед початком вимірювань ТКЛР на дилатометрі було визначено лінійні температурні деформації металевого профілю рамки і на підставі даних побудовано тарировальний графік, який дозволяє врахувати деформації металу рамки. Витримка зразків в шафі при заданій температурі до початку вимірювань становила 3 – 4 год.

Дослідження деформацій при негативних температурах проводилося в морозильній камері. Розмір деформацій фіксувався компоратором фірми “Амслер” (Швейцарія).

ТКЛР обчислювались за залежністю:

$$\alpha_t = \Delta l / (t_k - t_n) l, \quad (1)$$

де Δl - приріст довжини зразка (або скорочення при негативних температурах) при нагріванні (охолодженні) від початкової температури t_n до кінцевої t_k ;

l - початкова довжина зразка.

Зміну довжини зразка з урахуванням поправок на деформації рамки Δl_p і кварцового стрижня S обчислювались за формулами:

$$\Delta l = \Delta l_p - \Pi - S, \quad (2)$$

$$S = \alpha_{кв} (t_k - t_n) l_{кв}, \quad (3)$$

де Π - показники індикатора;

$\alpha_{кв}$ - температурний коефіцієнт лінійного розширення кварцу;

$l_{кв}$ - довжина кварцового стрижня.

Матеріали і технологія виготовлення зразків

Для виготовлення дослідних зразків (15 серій) використовувались такі матеріали. В якості в'язучого – сірка технічна, мінерального наповнювача – мелений кварцовий пісок з Ясинецького кар'єру Львівської області. Пісок молотся в фарфоровому млині протягом 2, 5 і 8 годин. Питома поверхня наповнювача, яка визначалась на приладі Товарова, складала 310, 475 і 665 м²/кг відповідно. Дрібними заповнювачами були кварцовий пісок з модулем крупності $M_{кр} = 1,4$ і стандартний Вольський пісок з модулем крупності $M_{кр} = 2,34$; крупним заповнювачем – гранітний щебінь Клесівського кар'єру Рівненської області (фракції 5 – 10 мм).

Технологія виготовлення зразків передбачала на початку виготовлення сірчаного в'язучого. Для чого в розплав сірки вводили сухий мінеральний наповнювач при заданому співвідношенні і, ретельно перемішуючи, добавляли пісок і щебінь, які були висушені до постійної маси і нагріті до 150 °С. Суміш при 150 ± 10 °С вкладалася в нагріті до цієї ж температури металеві форми, ущільнювали штикуванням і 1 – 2 хвилини піддавали вібрації на вібромайданчику. Форму вкривали повстю і після тригодинного охолодження розформували. Після стабілізації температурно – усадочних деформацій і закінчення процесів перекристалізації сірки, які фіксувались компоратором між реперами по торцях зразка, через 14 – 16 діб проводили дослідження ТКЛР за вищеописаною методикою.

Результати дослідів і їх аналіз

Аналізуючи графіки залежностей міцності зразків від температури (характерний графік представлений на рис. 2) виявлена характерна для сірчаних мастик і бетонів аномальна властивість, пов'язана зі збільшенням міцності при підвищенні температури від 20 до 70 °С і зниженні міцності при подальшому підвищенні температури. На графіках видно дві чітко виражені ділянки. Перша в інтервалі температур (20 – 70) °С відповідає підвищенню міцності і друга – в інтервалі (70 – 110) °С – інтенсивному її зниженню. При цьому відмічено, що навіть при температурі (90 -100) °С міцність бетону близька до початкової при 20 °С.

Таку аномальну поведінку сірчаного бетону можна пояснити структурними змінами в кристалічній решітці сірки, які відбуваються під дією підвищених температур. Відомо, що сірка представляє в розплаві суміш різних алотропів. При вистиганні до 20 °С в сірці присутні, крім основного алотропа – ромбічної сірки $S_\alpha(S_8)$, циклогектосірка S_6 і циклогентасірка S_7 . Сірка S_7 при 39 °С, а S_6 при 50 °С розкладаються і перебудовуються в ромбічну сірку з більш щільною структурою, яка має підвищену міцність. Окрім того, при підвищенні температури до (60 - 70) °С в ромбічній сірці відбувається відновлення дефектних кристалів і інтенсивно протікають незавершені релаксаційні процеси, що зменшує внутрішні напруги. Ці структурні переміни і обумовлюють підвищення міцності бетону завдяки сірчаній складовій. При температурі вищій за 70 °С починається поступова перекристалізація ромбічної сірки S_α в призматичну (моноклінну) S_β , яка має меншу щільність і міцність, в порівнянні з ромбічною, що призводить до зниження характеристик міцності усієї системи.

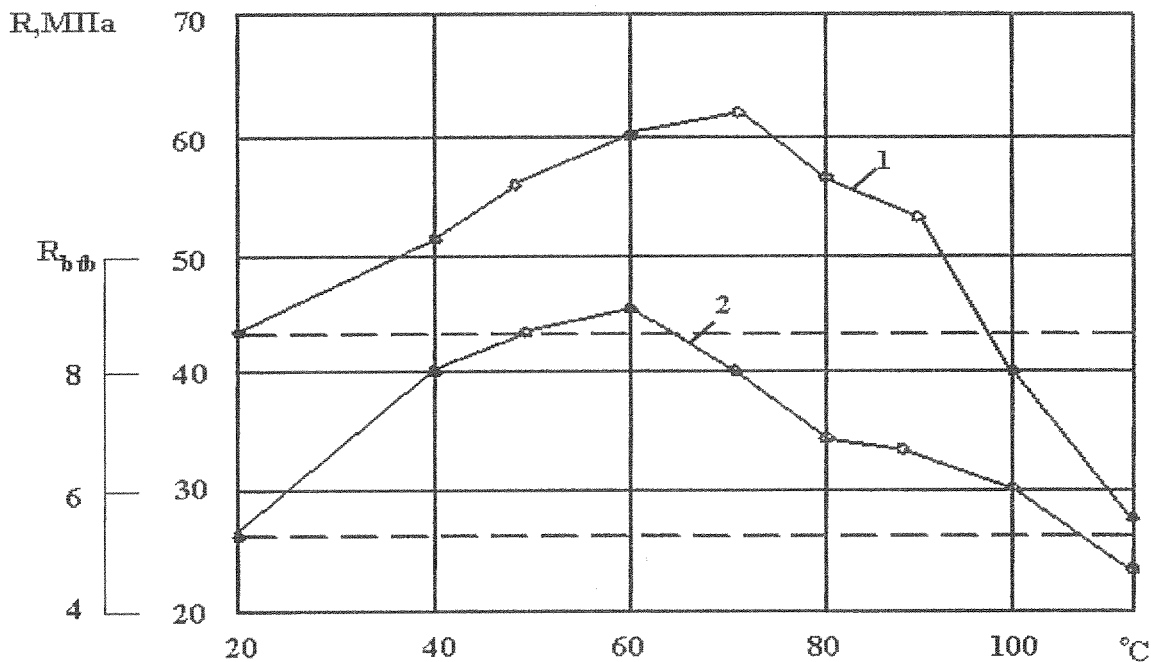


Рис.2. Залежність міцності сірчаного бетону від температури в інтервалі (20 – 110)°С:
1 – при стисненні; 2 – при розтягненні під час згинання.

Результати досліджень ТКЛР приведені в таблиці 1 і на рис. 3 – 6. Встановлено, що найбільші величини ТКЛР характерні для технічної сірки (серії 13 - 15), залежать від віку зразків і знаходяться в межах $(2,44 - 6,50) \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Із заповненням розплаву сірки дрібнодисперсними структуроутворюючими компонентами і введенням дрібного і крупного заповнювачів, величина ТКЛР бетону знижується (рис. 3) до величин, які можна співставити з цементними бетонами. Для порівняння на графіку (пунктирні лінії) нанесено результати визначення ТКЛР сірки у віці зразків 2 роки (серія 13), 3 роки (серія 15) і в ранньому віці (серія 14).

Ці результати показують, що величина ТКЛР сірки залежить від віку зразків і з часом зменшується. Зменшення ТКЛР зразків всіх серій, як і слід було очікувати, встановлено і при переході позитивних температур через нуль.

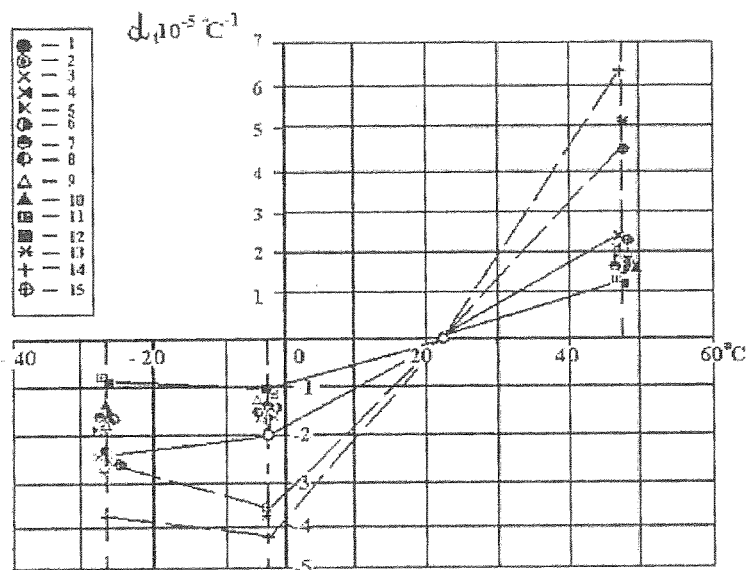


Рис. 3. Залежність температурних коефіцієнтів лінійних деформацій сірки, сірчанних мастик і бетонів від температури в інтервалі (- 26 °С) – (+ 46 °С).

Таблиця 1

Склади дослідних зразків і результати дослідження ТКЛР

№ серії	Склад за масою	Вміст компонентів, % за об'ємом				S _н , м ² /к г	M _{кр} модуль крупності піску	ТКЛР $\alpha_t \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ в інтервалі, $^\circ\text{C}$		
		Сірка С	Наповнювач, Н	Пісок П	Щебінь Щ			(+23) - (+46)	(+23) - (-1)	(+23) - (-26)
1	1:2 ₈	39,17	60,83	-	-	665	-	2,14	2,03	1,82
2	1:2 ₅	39,17	60,83	-	-	475	-	2,14	1,98	2,14
3	1:2 ₂	39,17	60,83	-	-	310	-	2,19	1,93	2,30
4	1:2,5 ₅	34,00	66,00	-	-	475	-	2,04	1,77	2,26
5	1:3 ₅	30,03	69,97	-	-	475	-	1,88	1,67	1,84
6	1:2 ₅ :2	24,36	37,82	37,82	-	475	2,34	1,57	1,56	1,40
7	1:2 ₅ :2	24,36	37,82	37,82	-	475	1,4	1,60	1,54	1,42
8	1:2 ₅ :2	24,36	37,82	37,82	-	475	2,3	1,60	1,51	1,43
9	1:2 ₅ :1	30,03	46,65	23,32	-	475	1,4	1,81	1,72	1,62
10	1:2 ₅ :3	20,48	31,81	47,71	-	475	1,4	1,53	1,35	1,31
11	1:2 ₅ :2:1,76	18,47	28,69	28,69	24,15	475	1,4	1,22	1,02	0,77
12	1:2 ₅ :2:2,3	17,20	26,71	26,71	29,38	475	1,4	1,16	0,94	0,79
13	С - 1	100	-	-	-	-	-	5,09	3,65	2,83
14	С - 2	100	-	-	-	-	-	6,50	4,17	3,83
15	С - 4	100	-	-	-	-	-	4,38	3,52	2,44

На рис. 4 показана залежність ТКЛР від вмісту сірки за об'ємом в інтервалі температур (23 - 46) °С.

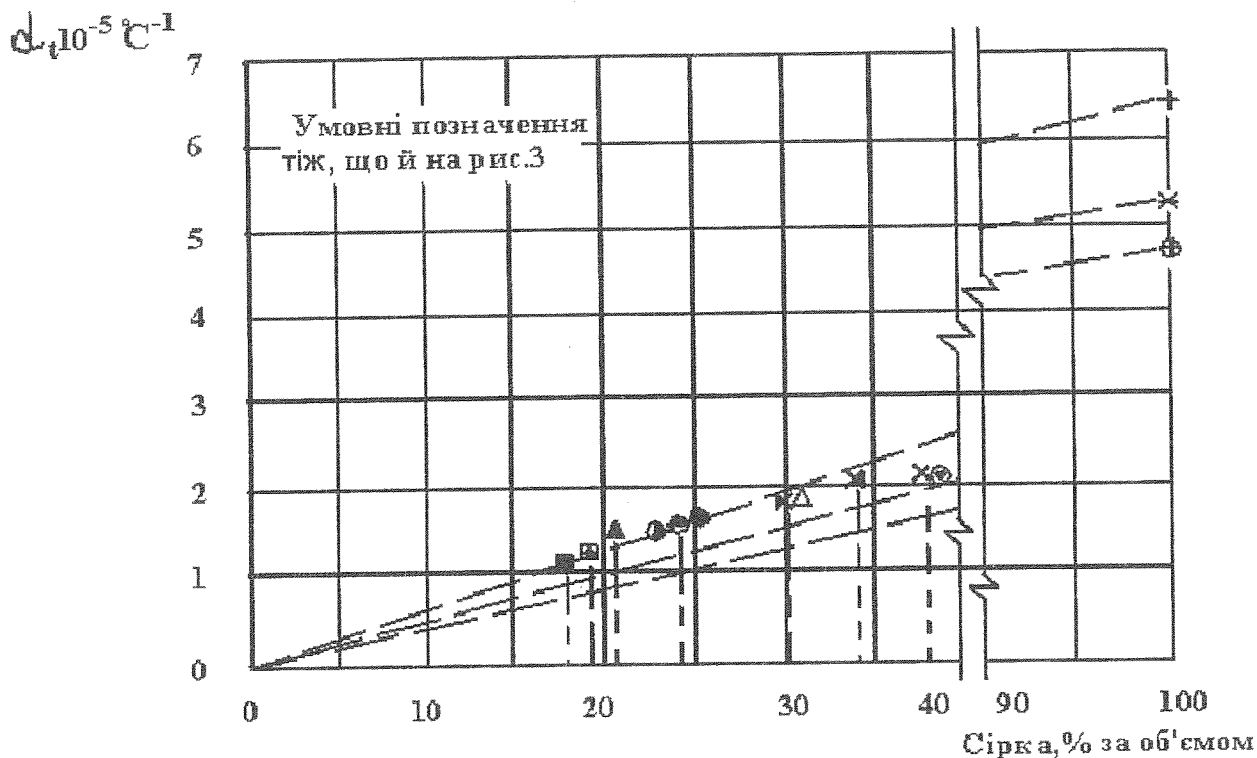


Рис. 4. Залежність температурних коефіцієнтів лінійного розширення від вмісту сірки в сумішах.

Встановлено, що ТКЛР змінюється пропорційно вмісту сірки в сумішах. Це дозволяє прогнозувати величини ТКЛР, використовуючи залежності:

- для сірчаних мастик

$$\alpha_{t,m} = \alpha_{t,c} \cdot V_c; \quad (4)$$

- для сірчаних піскових бетонів (кварцовий пісок)

$$\alpha_{t,пб} = \alpha_{t,c} \cdot V_c + \alpha_{t,п} \cdot V_п; \quad (5)$$

- для сірчаних бетонів (гранітний щебінь)

$$\alpha_{t,сб} = \alpha_{t,c} \cdot V_c + \alpha_{t,п} \cdot V_п + \alpha_{t,ш} \cdot V_ш; \quad (6)$$

де $\alpha_{t,c}$, $\alpha_{t,п}$, $\alpha_{t,ш}$ – температурні коефіцієнти лінійного розширення відповідно сірки, піску і щебеню;

V_c , $V_п$, $V_ш$ – об'ємні співвідношення складових сумішей в долях одиниці.

Для розрахунків були прийняті дані з технічної літератури: середні значення ТКЛР кварцу $\alpha_{t,п} = 1,12 \cdot 10^{-5}$ і мінімальні кварцового піску $\alpha_{t,п} = 1 \cdot 10^{-5}$ і гранітного щебеню $\alpha_{t,ш} = 0,83 \cdot 10^{-5}$; ТКЛР сірки $\alpha_{t,c}$ приймався за експериментальними даними. В результаті розрахунків за формулами (4–6) отримали добре співвідношення експериментальних і розрахункових величин ТКЛР.

На рис. 5 представлено залежність ТКЛР сірчаних мастик від питомої поверхні наповнювача. Розкид експериментальних значень коефіцієнтів відносно середнього значення досягає 20 %. З отриманих даних видно, що питома поверхня наповнювача не впливає на величину ТКЛР.

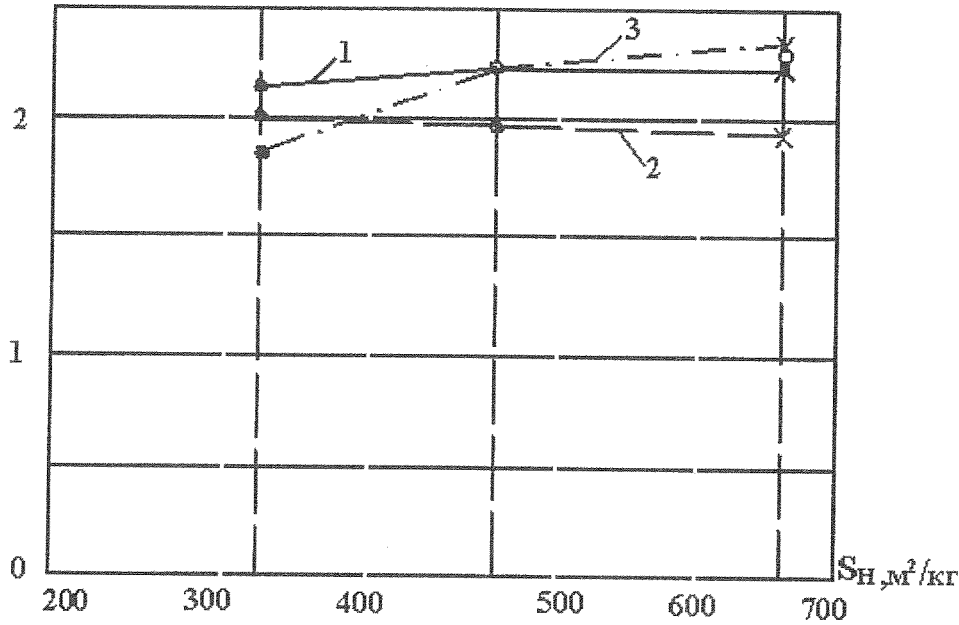
$\alpha_t \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$


Рис. 5. Залежність температурного коефіцієнта лінійного розширення сірчаних мастик від питомої поверхні наповнювача.

Аналіз величин ТКЛР і складів сірчаних мастик та бетонів показав, що існує закономірність зміни ТКЛР від співвідношення компонентів. В діапазоні температур (23 - 46) $^\circ\text{C}$ для сірчаних мастик (рис. 6а) залежність має вигляд:

$$\alpha_{t,m} = 2,45 - 0,143 (C + H), \quad (7)$$

- для сірчаних піскових бетонів (рис. 6б):

$$\alpha_{t,пб} = - 0,153 (C + H + П)^2 + 1,167 (C + H + П) - 0,41, \quad (8)$$

де С, Н, П – відповідно кількість сірки, наповнювача і піску, мас. ч.

Використовуючи залежність (8) для розрахунку ТКЛР сірчаного бетону, запишемо:

$$\alpha_{t,сб} = \alpha_{t,пб} \cdot (V_{см} + V_{п}) / V_{сб}, \quad (9)$$

де $(V_{см} + V_{п}) / V_{сб}$ – співвідношення об'єму, який займають сірчана мастика і дрібний заповнювач, до загального об'єму бетону в зразку. Для зразків серій 11 і 12 це співвідношення складає 75,85 і 70,62 %. При даних значеннях $\alpha_{t,сб}$ дорівнює відповідно $1,21 \cdot 10^{-5}$ і $1,13 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, що добре співвідноситься з експериментальними значеннями, які дорівнюють $1,23 \cdot 10^{-5}$ і $1,16 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

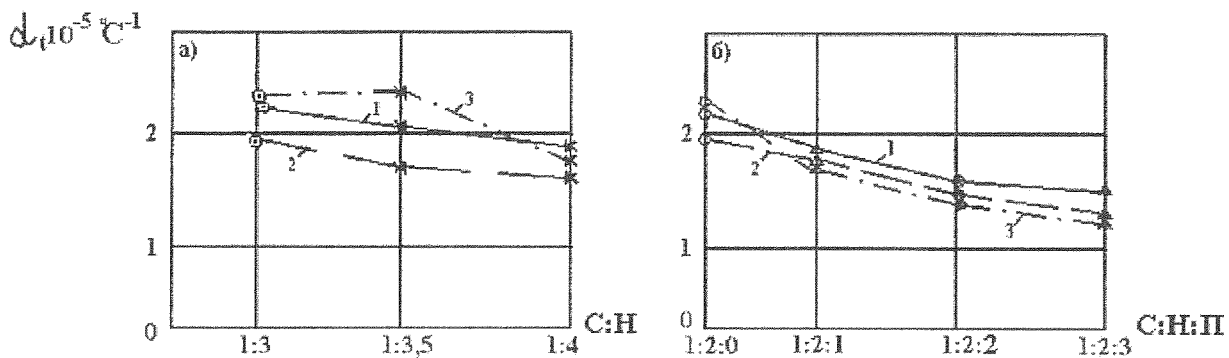


Рис. 6. Залежність температурних коефіцієнтів лінійного розширення сірчаних мастик (а) і сірчаних піскових бетонів (б) від співвідношення компонентів.

Висновки

1. При підвищенні температури від 20 до 60 – 70 °С в структурі сірки, яка складається в розплавленому стані з різних алотропів, відбуваються релаксаційні процеси, які призводять до відновлення дефектних кристалів, що сприяє збільшенню щільності структури і відповідно характеристик міцності сірчаного в'язучого.

2. Подальше підвищення температури призводить до перекристалізації ромбічної модифікації сірки в призматичну (моноклінну), яка характеризується меншою щільністю і міцністю. Це веде до різкого зниження міцності сірчаного в'язучого і всіх композитів на його основі.

3. Встановлено, що підвищення температури призводить до збільшення величин ТКЛР сірки, сірчаної мастики і бетону і, навпаки, зниження – веде до зниження ТКЛР.

4. Величина ТКЛР сірчаної мастики і бетону залежить від ступеню їх наповнення мінеральними матеріалами, об'ємного вмісту сірки і співвідношення компонентів в суміші.

Проведені дослідження дозволяють оцінити вплив позитивних і негативних температур на величину ТКЛР сірчаних мастик і бетонів різних складів. Це важливо при оцінці рівнів виникаючих напруг у виробках і конструкціях в результаті самовільних деформацій під час температурних впливів середовища.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Vroom A. H. *Sulphur Concrete a new material for Arctic construction // Proceedings of an International Conference. St. Jovite. Quebec. Canada, 1976. Edited by M. B. Ives. Pp. 35 – 41.*
2. Патуроев М. В. *Разработка оптимальных составов серных бетонов и влияние тепловых и огневых воздействий на их свойства: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05. 23. 05. – Л., ЛИИЖТ, 1989. – 22 с.*
3. Ивашкевич Б. П. *Разработка оптимальных составов серных мастик и исследование воздействий повышенных температур на их свойства: Дис... канд. техн. наук: 05. 23. 05. – Львов, 1991. – 172 с.*
4. Орловский Ю. И. *Бетоны, модифицированные серой: Дис... д - ра техн. наук: 05. 23. 05. – Львов, 1992. – 529 с.*
5. Патуроев В. В. *Полимербетоны. – М.: Стройиздат, 1987. – 286 с.*