

лення одного из предельных состояний: потеря теплоизолирующей способности, исчерпание несущей способности или достижение предельного прогиба. Возможно наступление предельного состояния, обусловленного образованием либо чрезмерным раскрытием трещин, например, в железобетонной стенке увеличенной высоты.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Беляков Ю.И., Снежко А.П. Реконструкция промышленных предприятий. – К.: Вища школа, 1988.-256 с.
2. Балицький В.С. Аналіз інвестиційної привабливості будівельного комплексу України // *Строительное производство* – 1998. – Вып. 39. – С. 104 – 107.
3. Шагин А.Л., Избаш М.Ю., Фархат Атиф Ахмед Локальное обжатие элементов сталежелезобетонного перекрытия эксплуатируемого здания // *Науковий вісник будівництва*. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2000. – Вып. 10. С. 53 – 58.
4. Савойский В.В. *Технология реконструкции*. – Х.: Основа, 1997.
5. Яковлев А.И. *Расчет огнестойкости строительных конструкций*. – М.: Стройиздат, 1988. – 143 с.
6. Ройтман М.Я. *Противопожарное нормирование в строительстве / 2-е издание, перераб. и допол.* – М.: Стройиздат, 1985. – 596 с.
7. Zhao B. and Kruppa J. "Fire Resistance of Composite Slabs with Profiled Steel Sheeting and of Composite Steel Concrete Beams, Part 2: Composite beams", July 1995.

УДК 614.841.332

Ю.І. Орловський, д-р техн. наук, Т.М. Шналь, канд. техн. наук, Ю.Е. Павлюк

ПІДВИЩЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД ВОГНЕЗАХИСНИМИ ПОКРИТТЯМИ

В статті приведені результати досліджень, спрямованих на розробку спучуваних вогнезахисних покриттів, проведених за участю авторів у Львівській філії НДІ будівельних матеріалів та виробів, Національному університеті "Львівська політехніка" та Львівському інституті пожежної безпеки протягом 1976-2002 рр.

Подано аналіз авторських свідоцтв СРСР та патентів України, отриманих авторами у галузі покриттів для захисту металевих, бетонних та дерев'яних конструкцій будівель та споруд від дії підвищених температур та при пожежі.

В наш час темпи нового промислового та цивільного будівництва значно знизились. На перший план вийшли питання ремонту, реконструкції та реставрації будівель і споруд старої забудови під громадські потреби, історичних пам'яток, вогнезахисту будівель, які експлуатуються та приміщень різноманітного призначення.

В сучасних існуючих житлових та громадських будівлях загроза виникнення пожеж зросла в зв'язку з масовим застосуванням горючих будівельних, викінчувальних матеріалів та легких конструкцій, які мають незначну межу вогнестійкості, підвищенням енергозбереженості та насиченістю електроприладами.

Одним з головних факторів, який впливає на матеріали, обладнання, будівельні конструкції при пожежі є висока температура, горіння з виділенням токсичних речовин. Конструкції втрачають несучу та огорожуючу здатність, що приводить до їх обрушення та подальшого розповсюдження пожежі, затрудняє дії пожежних підрозділів.

Вирішення питань, пов'язаних із підвищенням рівня загальної безпеки будівельних об'єктів, є одним із актуальних завдань. Дослідження в цій області є особливо важливими в наш

час, коли труднощі, що переживає Україна, безпосередньо відображаються на стані її економіки, житлових, громадських та промислових будівлях, в тому числі на об'єктах з підвищеною пожежною небезпекою.

Спільна дія механічних навантажень та підвищених температур приводить до виникнення в елементах конструкцій миттєвих пружних та пластичних деформацій, деформацій теплового розширення, а також деформацій усадки та повзучості.

Однією з найбільш важливих термомеханічних властивостей, що визначають довговічність матеріалів є термічна стійкість, тобто здатність витримувати різке коливання температур без руйнування структури матеріалу. Причиною руйнування при різкій зміні температури є напруження, що виникають в матеріалі внаслідок температурного градієнта при нагріванні та охолодженні. Руйнуванню також сприяє велика різниця в коефіцієнтах температурного розширення між компонентами матеріалу, тобто окремих його фаз.

В останні десятиріччя як за кордоном так і в колишньому СРСР були проведені широкі роботи по створенню вогнезахисних покриттів, виконаних з високоефективних матеріалів.

Як показує аналіз закордонних та вітчизняних складів вогнезахисних покриттів, найбільш перспективним напрямком є розробка покриттів, захисний механізм котрих ґрунтується на процесі спучування під дією високих температур. Утворюючи, в результаті дегідролізу полігідратних сполук, пористий вуглецевий шар низької теплопровідності такі покриття характеризуються високими тепло-вогнезахисними характеристиками. Актуальність створення спучуваних покриттів продиктована тим, що подібні відносно тонкошарові покриття не обтяжують будівельні конструкції, забезпечують досить високу вогнестійкість і виконуються механізованим способом.

Значний об'єм робіт по розробці ефективних вогне-теплозахисних покриттів був проведений на протязі 1976-1989 рр. у Львівській філії Українського науково-дослідного інституту будівельних матеріалів та виробів [1], а пізніше в Національному університеті "Львівська політехніка" разом з Львівським інститутом пожежної безпеки під керівництвом професора Ю.І. Орловського [2,3,4,5].

В результаті проведеної роботи запропонований та випробуваний на практиці вогнезахисту будівельних конструкцій ряд складів покриттів, захищених авторськими свідоцтвами СРСР та патентами України, що характеризуються високими вогнезахисними властивостями, водостійкістю, високою адгезією до поверхні металевих, бетонних та дерев'яних конструкцій.

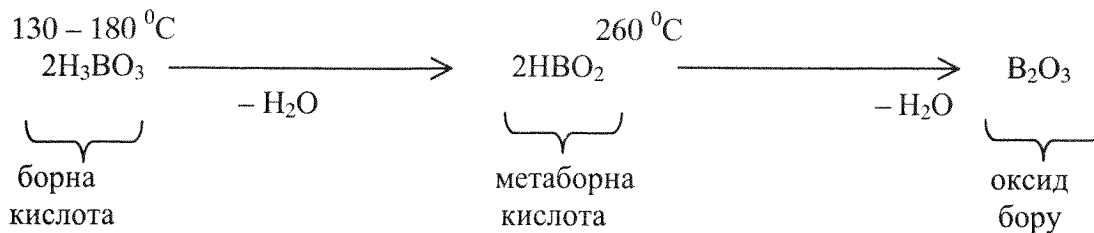
Розроблені склади представляють собою багатокомпонентні системи на основі як неорганічних, так і органічних в'язучих. Механізм вогнезахисної дії покриттів оснований на взаємодії інгібіторів горіння з речовинами та матеріалами різного функціонального призначення з урахуванням явища синергізму.

Склад покриття (а.с. СРСР 779333), який включає рідке скло, сечовину, натрій фосфорнокислий двоаміщений та наповнювачі (перлітовий пісок, скляні мікросфери), а також армуючий матеріал-скловолокно, наноситься на поверхню конструкцій шаром до 5 мм. Механізм дії складу покриття полягає в тому, що сечовина при нагріванні розкладається, утворюючи дим, який понижує температуру поверхні конструкцій, а натрій фосфорнокислий при нагріванні спочатку виділяє кристалізаційну воду, а потім (вище 250⁰С) розпадається на пірофорний натрій та воду, що покращує теплофізичні характеристики спученого шару.

Недоліком покриттів на основі рідкого скла є їх низька адгезія до захищуваних поверхонь, а також невисока межа вогнестійкості конструкцій. Так, при нанесенні на поверхню алюмінієвих сплавів адгезія при 20⁰С складає не більше 1,2 МПа, а при 250⁰С – не вище 0,85 МПа. Межа вогнестійкості конструкцій з алюмінієвих сплавів не перевищує 30 хв при критичній температурі для алюмінію 250⁰С. Тому в подальших дослідженнях було поставлено за мету підвищити ці показники.

Намічена мета була досягнута (патент України 38256А) тим, що до складу покриття додатково були введені три нових компонента: борна кислота, бура та тригідрат окису алюмінію.

Борна кислота і бура ($H_3BO_3 + Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) створюють безперервне захисне покриття по поверхні конструкції. Розкладання борної кислоти протікає за схемою:



Оксид бору пом'якшується при температурах вище 300°C та при 500°C стає досить тягучим, Бура при нагріванні розчиняється в кристалізаційній воді, що утворюється, після чого рідина википає, а тверда маса, що залишилась, плавиться з утворенням прозорої, легкокорухомої рідини. Суміш борної кислоти з бурою більш ефективна з двох причин. По-перше, кристалізація суміші проходить не так швидко, як у випадку введення окремих компонентів, внаслідок чого на поверхні утворюється більш щільне та безперервне покриття. По-друге, в даній суміші обидва компоненти відіграють дещо різні та доповнюючі одне одного функції як ретарданти горіння. Борна кислота не є такою ефективною при дії на полум'я, але сповільнює горіння на поверхні поза зоною полум'я в матеріалі, що обвуглився. В цей же час бура значно ефективніше взаємодіє з полум'ям. Ще одним фактором, з яким пов'язана дія сполук, що містять в собі бор, є ендотермічність реакцій дегідратування та екрануючий ефект великої кількості води, котра міститься в газах, що поступають в полум'я.

Тригідрат оксиду алюмінію $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ знижує рухомість рідкої фази після розкладання борної кислоти та бури, а вміст 35% води, котра при розкладанні оксиду ($230\text{-}330^{\circ}\text{C}$) виділяється, екранує полум'я. В якості наповнювача рідкого скла оксид сприяє підвищенню фізико-механічних характеристик покриття. Відомо також, що оксид алюмінію є активним агентом, що зменшує виділення диму, однак хімічний механізм такої дії ще точно не встановлений [6].

Проведені вогневі випробування складу показали, що міцність адгезії покриття до алюмінію підвищилась до 1,75 МПа (при 20°C) і 1,23 МПа (при 250°C), а межа вогнестійкості взірців з алюмінію досягла 47 хв. [7].

Основними недоліками покриттів на основі рідкого скла і всіх неорганічних в'язучих, як відмічалось вище, є низька межа вогнестійкості захищуваних металевих конструкцій – не вище 30 хв. при значній товщині шару, що досягає 10 мм. Це призводить до обтяжування конструкцій, знижуючи їх ефективність. Особливо цей недолік відчувається при використанні таких покриттів при захисті конструкцій з алюмінієвих сплавів. При щільності $430\text{-}750\text{ кг/м}^3$ склади на основі мінеральних в'язучих та термостійких наповнювачів мають низьку адгезію до поверхні металу. Ці недоліки примусили шукати більш ефективні склади з вмістом поряд з мінеральними в'язучими органічних, а саме формальдегідних смол.

Спучувані склади на органічних в'язучих представляють собою складні композиції, що містять наступні компоненти: термопластичну в'язучу речовину пониженої горючості та речовини чи добавки, котрі добре коксується; антипірени (ретарданти горіння), що є кислотними чи лужними каталізаторами в процесі термічного розкладання; газоутворювачі, що підсилюють дію антипіренів; наповнювачі, що стабілізують спучений шар, котрий утворюється при дії високих температур; пігменти, розріджувачі, поверхнево-активні та інші добавки функціонального призначення, наприклад біоциди.

Склад покриття (а.с. СРСР 785316) включає як в'язучі і плівкоутворюючі речовини водорозчинну сечовино-формальдегідну чи меламіно-формальдегідну смоли, фосфати амонію, полівініловий спирт, щавелеву кислоту, перлітовий пісок та скловолокно. Кисле середовище, необхідне для затвердіння смоли утворюють щавелева кислота та амоній фосфорнокислий двоаміщений, котрий як і триаміщений забезпечує спучування складу. Регулювання строків затвердіння композиції досягається одночасною присутністю дво- та триаміщеного амонію фосфорнокислого. Розроблений склад покриття виявився малоефективним для захисту

конструкцій з алюмінієвих сплавів, так як він здійснював кородуючу дію на метал, а використання в складі полівінілового, бутилового чи етилового спиртів сприяло розчиненню ґрун-товок ВЛ-02, ФЛ-ОЗЖ, що наносяться на поверхню для захисту від корозії.

В подальшому був розроблений більш ефективний спучуваний склад покриття (а.с. СРСР 883119) з температурним інтервалом застосування від -40 до 60°C при відносній вологості повітря до 70 %. Склад представляє собою 10-ти компонентну водну суспензію формальдегідних смол, в котру введені розчинні та нерозчинні в воді тонкодисперсні та волокнисті речовини та матеріали: ортофосфорна кислота, амоній фосфорнокислий двозаміщений, меламін, гліцерин, борний ангідрид, сечовина, перліт чи скляні мікросфери та скловолокно. Межа вогнестійкості конструкцій з алюмінієвих сплавів збільшилась до 68 хв при межі міцності при згинанні до 8,6 і стисненні до 16 МПа.

Як показав виробничий досвід, недоліком розробленого складу покриття є понижена тріщино-стійкість, котра викликана підвищеною усадкою складу при затвердінні, що сягає 2 та більше % від маси. Це веде до порушення адгезії між покриттям та захищуваною поверхнею, особливо при температурних градієнтах та різкому зниженню ударної та вібраційної стійкості покриття.

З метою усунення недоліків перелічених вище, склад покриття по а.с. СРСР 883119 був модифікований (патент України 47993А). Дія нового складу покриття основана на взаємодії інгібіторів горіння. Оскільки виробництво діамонію фосфату обмежене, він був замінений на антипірен-амофос, котрий містить 10% діамонію та решту моноамонію фосфату, що відрізняється від чистих ортофосфатів більш повільною розчинністю та виробляється в промислових масштабах (ГОСТ 18918-79).

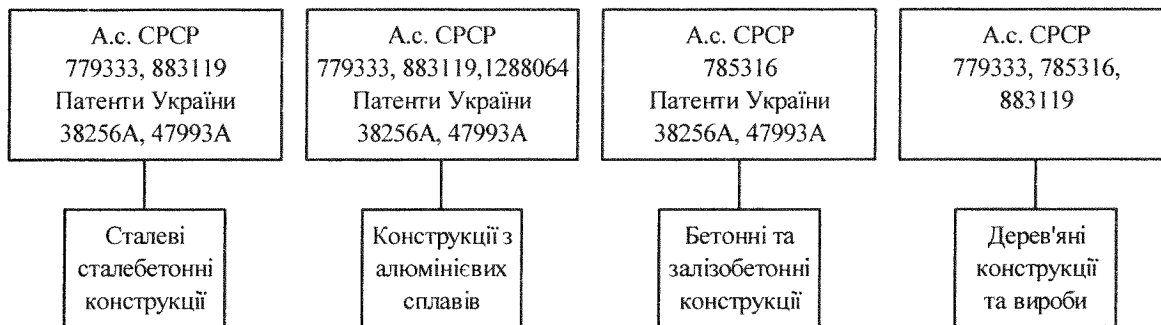
Введення до складу покриття в якості наповнювача сульфату барію, на відміну від інших наповнювачів, надає затверділій в його присутності формальдегідній смолі підвищену тріщиностійкість та дає можливість отримувати на її основі композити при кімнатній температурі та атмосферному тиску. Сульфат барію модифікує структуру смоли, надаючи їй більшу однорідність та розріджуваність на надмолекулярному рівні та, отже, більшу стійкість до тріщиноутворення. Обробка сульфату барію вищими жирними кислотами (2-х % розчин в бензині) приводить до зниження виникаючих в процесі затвердіння усадочних деформацій та при оптимальному проценті наповнення по відношенню до смоли (1:20) внутрішні напруження не спричиняють появу тріщин в затверділому покритті. Величина усадки знижується до 0,19-0,33%. Межа вогнестійкості підложки з алюмінієвого сплаву товщиною 5 мм та товщині шару покриття 5 мм становить 65-68 хв.

Починаючи з 1986 року розроблені складні покриттів використовуються для вогнезахисту металевих, залізобетонних та дерев'яних конструкцій на ряді об'єктів України, а саме на лінолеумному заводі (м. Одеса), Глібовському підземному сховищі газів (м. Чорноморськ, АР Крим), ряді об'єктів м. Львова (завод кольорових телевізорів "Електрон", панчішна фабрика, обласна клінічна лікарня та ін.).

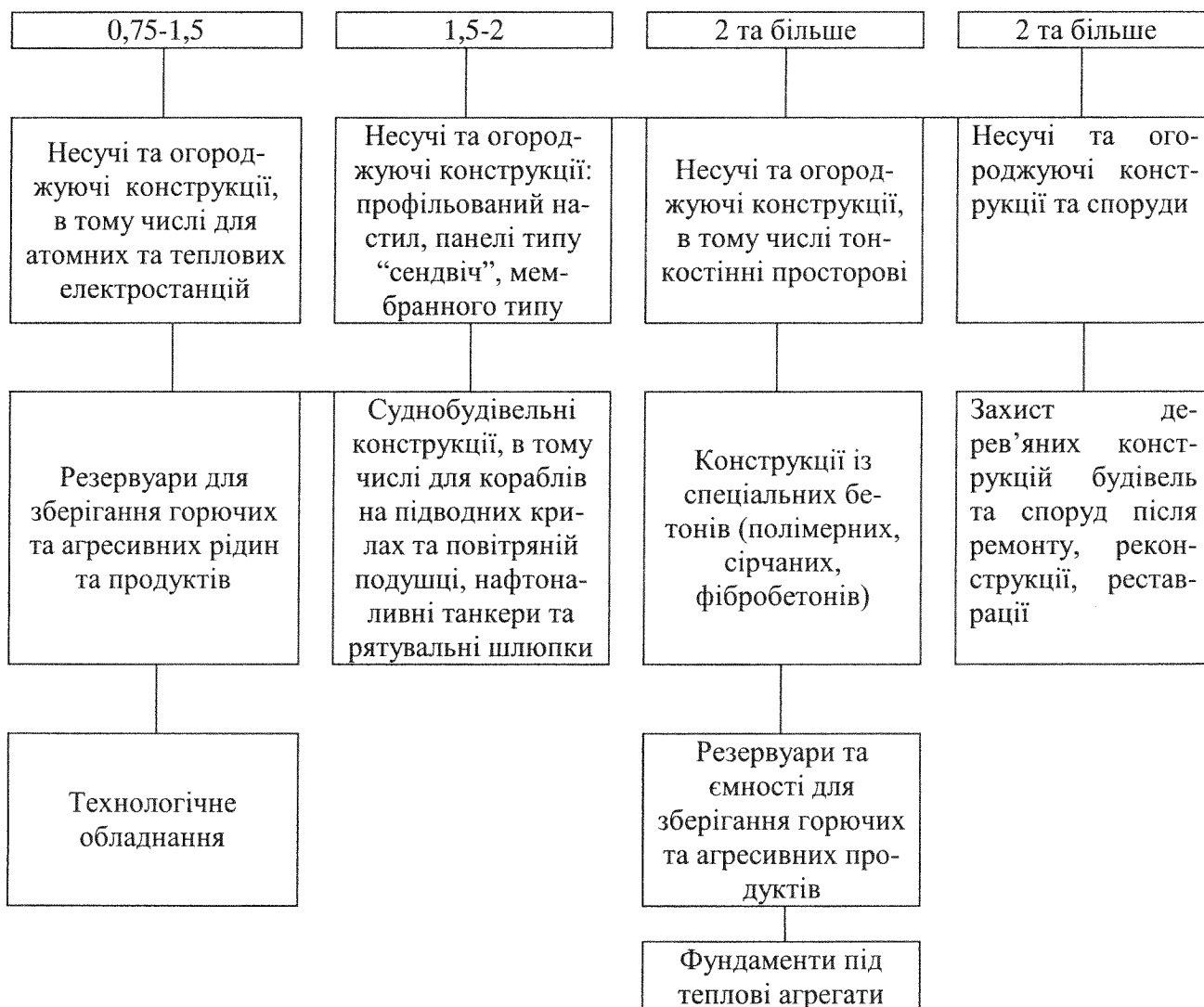
На підставі висновку Одеської філії науково-дослідного інституту гігієни водного транспорту, покриття можуть експлуатуватися на відкритому просторі, всередині нежитлових приміщень з підвищеною пожежною небезпекою, забезпечених достатньою вентиляцією.

Більш як 15-ти річний досвід експлуатації цих об'єктів показав, що складні характеризуються достатньою опірністю природним факторам, високою адгезією до захищуваних поверхонь та високою тріщиностійкістю. Крім того, білий колір базового складу дозволяє вводити в композицію різноманітні пігменти, що дає можливість покриттю виконувати декоративно-вікінчувальні функції.

На доданій схемі наведені основні області застосування складів розроблених покриттів та межі вогнестійкості захищуваних конструкцій з різних матеріалів. На даний час в Національному університеті "Львівська політехніка" спільно з Львівським інститутом пожежної безпеки продовжуються роботи, спрямовані на вдосконалення і розробку нових ефективних складів вогнезахисних покриттів.



Межа вогнестійкості, год



СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Проблемы огнезащиты строительных материалов и конструкций // Тезисы и доклады I Межгосударственного семинара. 26-28.05.1994. Львов: Малое предприятие «Украина», 1994. –271 с.
2. Шналь Т.Н. Свойства и оптимизация составов вспучивающихся покрытий для огнезащиты металлических конструкций // Дис... канд.техн.наук: 05.23.05/05.26.02. – Львов, 1995.– 248 с.

3. Орловский Ю.И., Ивашкевич Б.П., Труш Л.Е., Шналь Т.Н. Вспучивающиеся покрытия для огнезащиты конструкций из стали и алюминиевых сплавов // Изв. Вузов. Строительство, – 1995, №9. – С.55-60.
4. Шналь Т.М., Павлюк Ю.Е., Гірняк О.Р., Кірпічник В.В. Дослідження деструкції вогнезахисних спучуваних покриттів у процесі термічного розширення компонентів: Зб. наукових праць “Пожежна безпека-2001” Львівського інституту пожежної безпеки. – Львів: “Сполом”, 2001. – С.412-414.
5. Шналь Т.М., Власов В.В. Деструкція вогнезахисних покриттів при дії високих температур : Зб. матеріалів конференції “Актуальні проблеми будівництва та інженерії довкілля”. – Ч.І. Будівництво. 12-15.09.2001. Львів-Кошице-Жешув. – Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, 2001. – С.478-482.
6. Грасси Н., Скотт Дж. Деструкция и стабилизация полимеров. – М.: “Мир”, 1988. – 246 с.
7. Шналь Т.Н., Павлюк Ю.Е., Пархоменко Р.В. Оптимизация состава и механизм действия огнезащитного покрытия на основе жидкого стекла // Материалы 41-го международного семинара: Прогнозирование в материаловедении. 25-26.04.2002. – Одесса: “Астронпринт”, 2002. – С.84-85.

УДК 666. 974.2

Ю.І. Орловський, д-р техн. наук, Р.В. Пархоменко

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ДІЇ ДОБАВОК АНТИПІРЕНІВ НА ТЕРМО– І ВОГНЕСТІЙКІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ, ДО СКЛАДУ ЯКИХ ВХОДИТЬ СІРКА

У статті наводяться дані про дослідження сірчаних бетонів з метою підвищення їх термічної стабільності і вогнестійкості. Описані механізми дії антипіренів і інших добавок поліфункціонального призначення. Розроблені сполуки призначені для використання в будівельних цілях.

Сірка, як зв'язуюча речовина, відома в практиці будівництва з середини 19 століття. До 70-х років її використання при виробництві композиційних матеріалів, насамперед бетону, мало епізодичний характер через відсутність інформації про властивості і довговічність матеріалів і виробів на основі сірки та через її дефіцитність.

Аналіз праць в області використання сірки в будівництві показує, що сірчані бетони мають ряд позитивних якостей: високі фізико-механічні характеристики, корозійну стійкість, простоту технології і безвідходність виробництва з можливістю рециклювання виробів. Але такі бетони мають і суттєві недоліки. Основними недоліками сірчаних бетонів є низька термостійкість і вогнестійкість, високі температурні деформації, які виникають при формуванні структур і впливі підвищених температур в умовах експлуатації. Це пов'язано, насамперед, з низькою температурою плавлення сірки (біля 120°C) і її горючістю (247-266°C). Проведені досліди показали, що горючість сірки в складі бетону представляє значно меншу небезпеку, ніж очікувалось. Це пояснюється тим, що сірка складає не більше 12-15 % від маси бетонної суміші й основну частину тепла при горінні поглинають мінеральні компоненти; низькотемпературне полум'я у випадку загорання легко загасити, а діоксид сірки, який утворюється, навіть у малих концентраціях має специфічний запах, який своєчасно легко виявляється. Через низьку теплопровідність сірчаного бетону вироби під час дії високої температури втрачають міцність і форму відносно повільно [1-4].

Одним із способів підвищення термо– і вогнестійкості, зниження горючості сірки є введення до складу сірчаних композицій різних ретардантів горіння й антипіренів. У якості добавок, які підвищують вогнестійкість сірки, вивчались органічні кислоти, орґанофосфорні з'єднання і неорґанічні речовини. Огляд таких досліджень наведений у роботі [5]. Галогени–хлор, бром – відомі своєю здатністю утворювати полімери, які стійкі до горіння з