

ВОГНЕЗАХИСТ БЕТОНУ ГЕОЦЕМЕНТНИМИ ПОКРИТТЯМИ

© Гузій С.Г., 2013

Показано можливість підвищення нормованої межі вогнестійкості бетонних конструкцій тунельних споруд до 120 хв за допомогою використання тонкошарових геоцементних покриттів, що спучуються в умовах температурного режиму вуглеводної пожежі. Встановлено, що розроблений склад вогнезахисного покриття завтовшки 6 мм унеможливило нагрівання поверхні бетону під шаром покриття до граничного стану – 380 °С.

Ключові слова: бетон, вуглеводна пожежа, граничний стан, геоцементне покриття, спучення.

This paper shows the possibility of increasing the fire resistance of the normalized tunnel concrete structures up to 120 min through the use of thin-film intumescent geocement base coatings in the conditions of temperature carbohydrate fire. It is established that the developed structure fire coating thickness of 6 mm prevents heating of the surface layer of concrete under the cover to limit state – 380 °С.

Key words: carbohydrate fire, concrete, geocement coating, intumescent, limit state.

Вступ

Результати аналізу статистичних даних [1, 2] свідчать, що з 1970 року дотепер у тунельних спорудах сталося понад 50 пожеж, які супроводжувалися значною кількістю людських жертв та матеріальними втратами. Лише пожежі у таких тунелях європейських країн, як Монблан, Тауер, Капрон, Сент-Готард забрали життя 236 людей. Наприклад, пожежа в Євротунелі у 1996 році призвела до пошкодження залізобетонних конструкцій на довжину близько 500 м. Глибина викришування становила 2/3 товщини обробки завтовшки 40 см. Рух по тунелю вантажних і пасажирських потягів був відновлений частково тільки через три тижні після пожежі. Ремонт пошкодженої частини тунелю продовжувався шість місяців і загальні втрати компанії – власника тунелю становили більше 250 млн. євро. Під час пожеж у транспортних тунелях внаслідок дії високої температури відбувається крихтоподібне руйнування захисного шару бетону оправа тунельних споруд, яке призводить до накопичення на поверхні шляхопроводів уламків, що суттєво ускладнює гасіння пожежі, проведення евакуації та рятувальних робіт, і, як наслідок, відбувається руйнування транспортних засобів і загибель людей. Викришування захисного шару бетону відбувається через підвищення тиску пари у його капілярах під впливом високої температури, що призводить до розкриття арматури, яка під дією високої температури пожежі швидко нагрівається до критичної температури і конструкція втрачає несучу здатність. Процес викришування починається в разі досягнення температури на поверхні бетону з боку вогневого впливу критичного значення 380 °С. Досягнення цього значення температури доцільно приймати за ознаку граничного стану з вогнестійкості для залізобетонних оправа тунельних споруд. Зазначена ознака граничного стану суттєво відрізняється від такої, що прийнята для залізобетонних несучих конструкцій, наприклад перекриттів, що застосовуються в житловому, громадському і виробничому будівництві [1].

Застосування вогнезахисних покриттів є ефективним способом вогнезахисту залізобетонних оправа тунельних споруд, який запобігає крихкому руйнуванню бетону, що забезпечують нормовану межу вогнестійкості таких конструкцій. Ураховуючи особливості експлуатації транспортних тунелів та поведінки їх залізобетонних конструкцій під час пожежі, проектування в європейських країнах ґрунтується на індивідуальному підході до розробки системи безпеки для кожного

окремого тунелю, а саме розробляються конкретні вимоги, зокрема до вогнезахисту конструкцій, з урахуванням різних сценаріїв пожежі у тунелі (рис. 1).

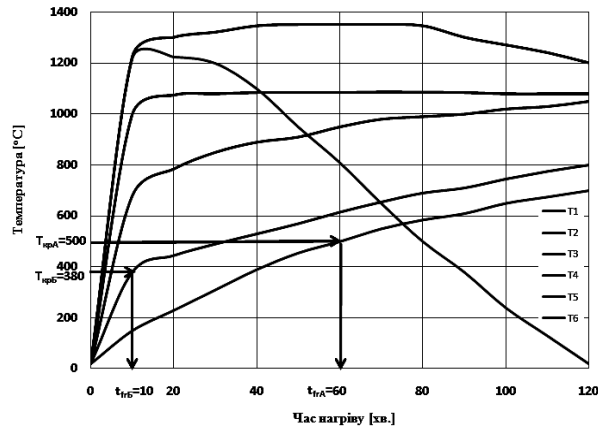


Рис. 1. Залежність температури середовища від часу вогневого впливу за різних температурних режимах: T1 – стандартний температурний режим; T2 – температурний режим вуглеводної пожежі; T3 – тунельна крива по стандартам Німеччини (RABT/ZTV зі стадією охолодження); T4 – тунельна крива за стандартами Нідерландів (RWS); T5, T6 – температура на обігрівній поверхні бетону та арматури за умов стандартного температурного режиму

Як видно з даних рис. 1, нагрів поверхні бетону до граничного стану (380 °C) відбувається вже на 10 хв, а арматури до 500 °C – на 60 хв за умов як стандартного, так і інших температурних режимів.

Постановка проблеми

З точки зору фізико-хімічних уявлень про процеси термодеструкції (дегідратації) новоутворень цементного каменю, то вони здебільшого супроводжуються переносом маси пару, сприяють розкриттю тріщин і виникненню власних напружень. Внаслідок чого зменшується жорсткість та міцність поверхневого шару бетону, що призводить до вибухоподібного руйнування. Усунення подібних явищ можливе за рахунок використання ефективних захисних матеріалів, що спроможні не доводити нагрів поверхні бетону до граничного стану.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботах [3–8] показано, що для захисту поверхні бетону від дії вогневого впливу найдоцільніше використовувати захисні покриття, що спучуються, як на основі органічних, так і мінеральних в'язучих речовин. Однак покриття на основі органіки в момент спучування можуть виділяти в навколишнє середовище багато токсичних речовин, а їх пінококсовий шар, внаслідок незначної адгезії до поверхні, що захищається, має тенденцію до змивання перемінними потоками теплоти. Доцільніше використовувати покриття, здатні до спучення, на основі мінеральних в'язучих речовин. Для таких покриттів характерно як збільшення товщини під час нагрівання, так і блокування теплового потоку в конструкцію, що захищається та зменшенні зростання температури. Відомі покриття марок ОСВПВ 1, ФайрэксВ400, Антигор, ОЗСВМВ, ТОЗВВ1, які розроблені на основі рідинного скла. Дані марки покриттів достатньо ефективні з погляду адгезії до основи, але характеризуються незначним терміном збереження здатності до спучення. Як альтернативне рішення цієї проблеми, тобто розширення у часі здатності до спучення, є застосування вогнезахисних покриттів на основі геоцементів, теоретичні основи отримання яких розроблені в НДІ в'язучих речовин і матеріалів Київського національного університету будівництва і архітектури, за допомогою спрямованого синтезу в їх структурі цеолітоподібних новоутворень типу гейландиту [9–12]. Процес спучення в таких матеріалах відбувається за температури 500 °C завдяки виділенню цеолітної води з утворенням каменю зниженої густини з розвиненою поровою структурою. Довговічність вогнезахисних покриттів, здатних до спучення, зберігається протягом 15

років [13, 14]. Але незважаючи на переваги цього виду вогнезахисного покриття порівняно з відомими аналогами, зовсім відсутня інформація щодо визначення оптимальної товщини нанесення їх на бетонну основу з урахуванням не доведення нагріву поверхні бетону до граничного стану в момент дії вогневого впливу.

Метою роботи є визначення оптимальних значень товщини вогнезахисного геоцементного покриття, що спучується, в умовах вуглеводної пожежі для запобігання нагріву поверхні бетону до критичного стану.

Методи досліджень і матеріали

У роботі, для отримання покриття, здатного до спучення, використовували геоцемент складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ за ТУ У В.2.7-16403272-001-97 “Зв’язуюче лужне алюмосилікатне”, наповнений алюмосилікатними гранулами аналогічного складу розмірами 0,125–2,5 мм і меленим вапняком. Після змішування рідинної складової з сухою, отриману геоцементну дисперсію наносили попередньо підготовлену бічну поверхню бетонних зразків розмірами 150×150×150 мм завтовшки 6, 12 і 18 мм. Після затвердження вогнезахисного покриття в спеціально висвердлені отвори на глибину 75 мм заводили хромель-алюмелеві термопари (рис. 2). Термопари ($T_1 \dots T_4$) під’єднували до автоматично-регістраційного приладу КІМО HD 200 (Франція), поверхневу температуру (T_n) вимірювали інфрачервоним пірометром DT-8867H (Німеччина), температурний режим вуглеводної пожежі забезпечували за допомогою газового пальника ROTHENBERGER (Німеччина) з температурою полум’я 1100 °С.

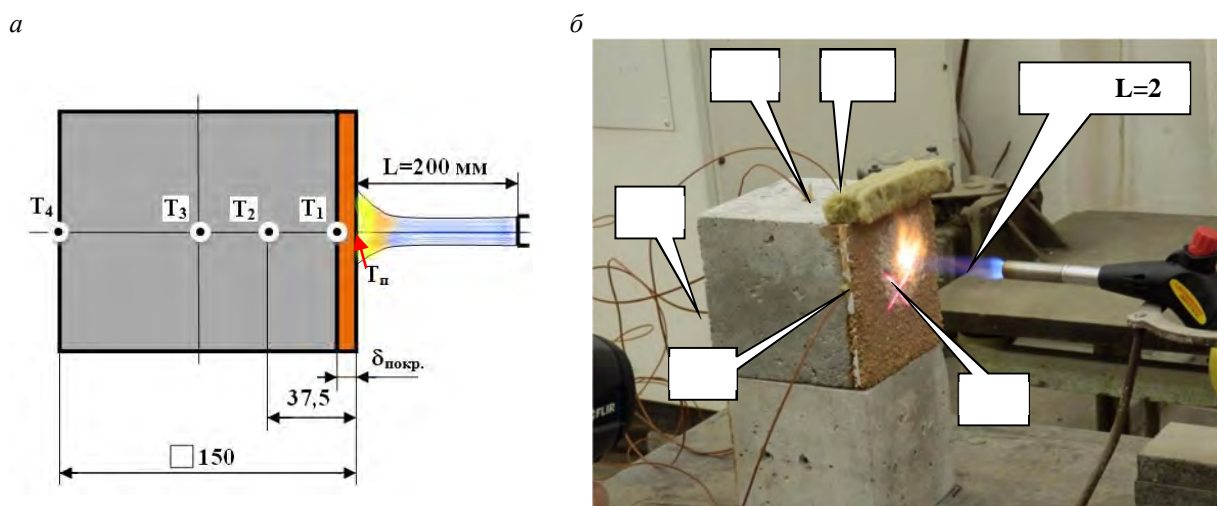


Рис. 2. Схема закладки термопар (а) та випробувальної установки (б)

Товщину шару покриття, що спучується, розраховували за формулою: $H=h_2/h_1$, де h_1 і h_2 – висота шару покриття, відповідно, до та після вогневого впливу. Односторонній нагрів поверхні як незахищеного, так і захищеного бетону проводили упродовж 120 хв із фіксацією температур T_n – T_4 через кожні 30 хв.

Результати досліджень

Згідно з даними робіт [2, 6] мінімальна товщина вогнезахисного покриття для досягнення нормованої межі вогнестійкості бетонної оправи в 120 хв в умовах температурного режиму вуглеводної пожежі становить 10,84 мм, що не дає змогу нагріватись поверхні бетону під шаром вогнезахисного покриття до граничного стану –380 °С. Враховуючи зазначене, в даних дослідженнях товщина геоцементного вогнезахисного покриття становила, відповідно, 6, 12 і 18 мм.

На рис. 3 продемонстровані основні стадії вогневих випробувань розробленого складу захисного покриття в умовах температурного режиму вуглеводної пожежі.

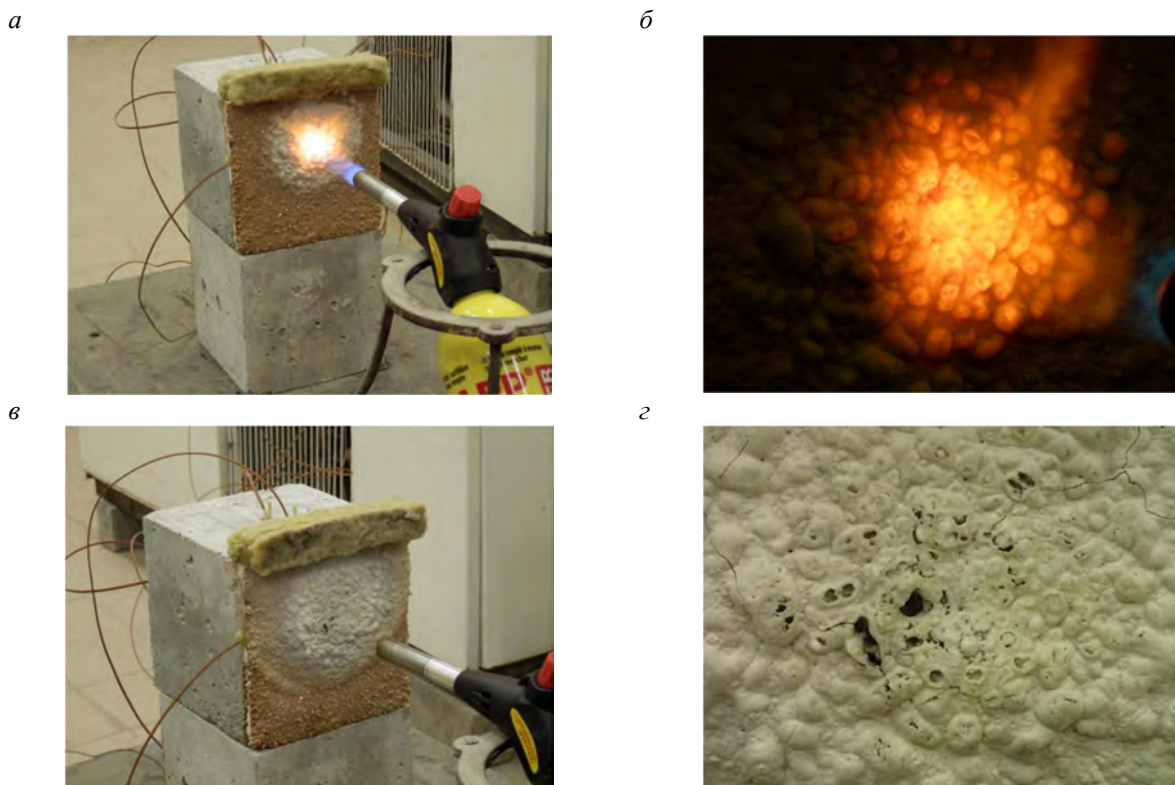


Рис. 3. Основні стадії вогневих випробувань геоцементного вогнезахисного покриття в умовах температурного режиму вуглеводної пожежі: а – початок спучення покриття; б – вигляд покриття в час дії полум'я; в – вигляд покриття після припинення вогневого впливу; г – макроструктура поверхні покриття після його охолодження

Основні залежності температури від часу вогневого впливу покриттів, що випробувались, наведено на рис. 4. Отримані експериментальні дані показують, що незахищена бетонна поверхня досягає граничного стану вже на 5 хв випробувань за температури полум'я 1100 °С (рис. 4, а) з подальшим її підняттям та розповсюдженням у товщу бетонного зразка. Максимально зафіксована величина поверхневої температури становила 1090 °С. Під час вогневого впливу на обігрівній поверхні бетону спостерігалось випаровування води з утворенням та розкриттям тріщин завдовжки близько 45–75 мм та завширшки 0,2–1,5 мм.

Під час дії полум'я на покриття завтовшки 6 мм упродовж 120 хв зафіксована максимальна температура на обігрівній поверхні бетону під шаром вогнезахисного покриття –300 °С, яка в 1,3 разу менша за температуру граничного стану (рис. 4, б). Температура в центрі зразку не перевищували 109 °С, а на задній не обігрівній поверхні – 33 °С. Градієнт перепаду температур між поверхнями становив майже 100 °С.

Під час дії полум'я на покриття завтовшки 12 мм упродовж 120 хв зафіксована максимальна температура на обігрівній поверхні бетону під шаром вогнезахисного покриття –254 °С, яка в 1,5 разу менша за температуру граничного стану (рис. 4, в). Температура в центрі зразку не перевищували 55 °С, а на задній не обігрівній поверхні –25 °С. Градієнт перепаду температур між поверхнями становив майже 100 °С.

Під час дії полум'я на покриття завтовшки 18 мм упродовж 120 хв зафіксована максимальна температура на обігрівній поверхні бетону під шаром вогнезахисного покриття –216 °С, яка в 1,8 разу менша за температуру граничного стану (рис. 4, г). Температура в центрі зразку не перевищували 50 °С, а на задній не обігрівній поверхні –28 °С. Градієнт перепаду температур між поверхнями становив майже 70 °С.

Треба зазначити, що на кривій T_1 (рис. 4, б–г) спостерігається ділянка упродовж 50 хв, де ця крива паралельна осі значень часу нагріву. Це свідчить про те, що розроблені склади захисних

покріттів завтовшки 6, 12 і 18 мм спроможні досягти нормованої межі вогнестійкості бетонної оправи в 180 хв.

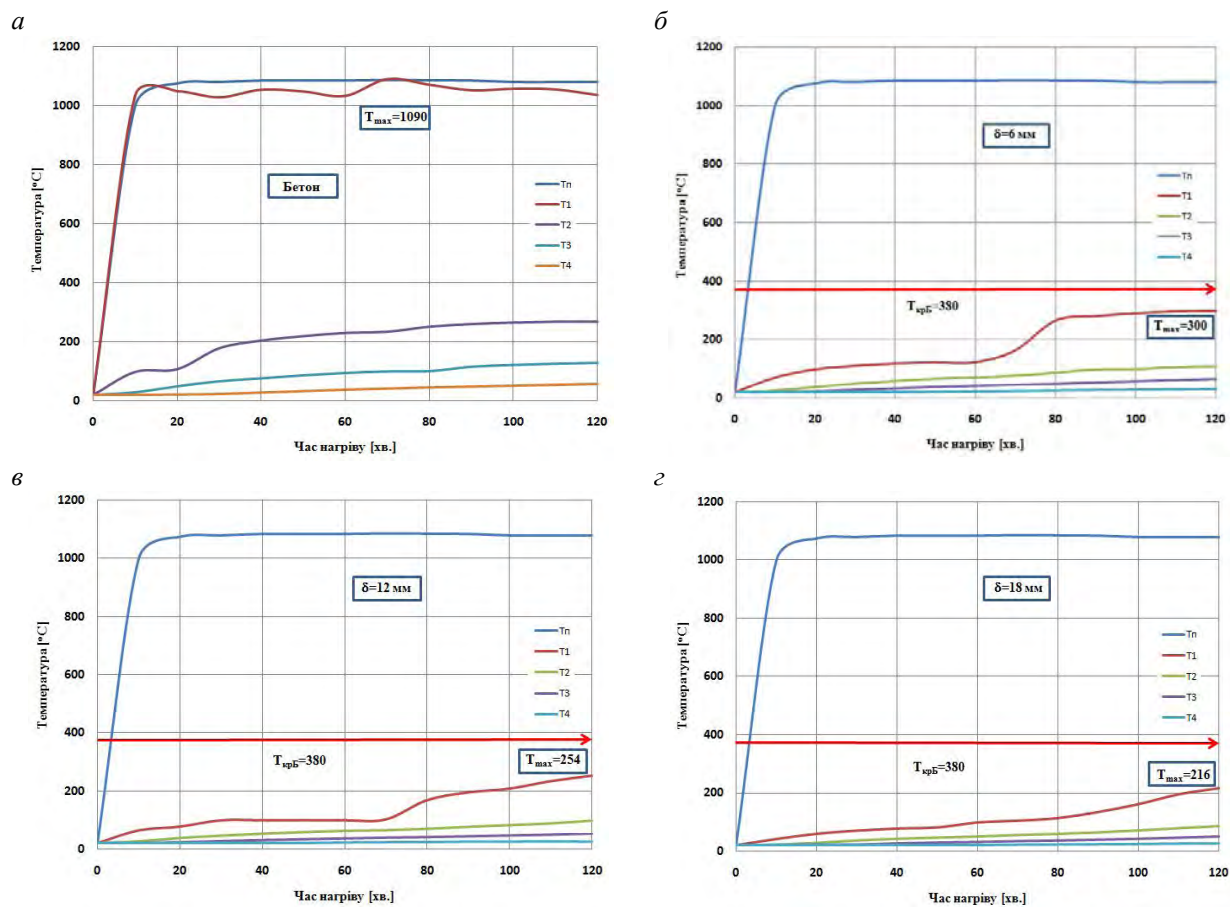


Рис. 4. Залежності температури від часу вогневого впливу: T_n – температура режиму вуглеводної пожежі; T_1 – температура на поверхні бетону/покріття; T_2 – температура на відстані 37,5 мм від обігрівної поверхні; T_3 – температура в центрі зразка; T_4 – температура на не обігрівній поверхні зразка

Зміни товщини шару вогнезахисного геоцементного покріття в умовах дії вогневого впливу наведені на рис. 5.

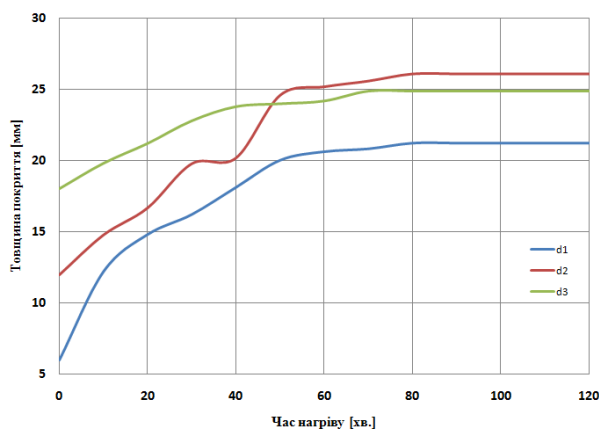


Рис. 5. Зміна товщини шару покріття, що спучується, на бетонному зразку-кубі залежно від часу впливу температурного режиму вуглеводної пожежі: $d_1=6$ мм; $d_2=12$ мм; $d_3=18$ мм

Аналіз отриманих даних показує, що чим менша товщина захисного покриття, тим більше воно спучується ($\kappa_{\text{сп}} = 3,53$ при δ_1 ; $\kappa_{\text{сп}} = 2,8$ при δ_2 ; $\kappa_{\text{сп}} = 1,38$ при δ_3), тобто виконується залежність $h_1 > h_2 > h_3$.

Висновок

У результаті проведених експериментів встановлено, що розроблений склад геоцементного вогнезахисного покриття, здатного до спучення, в умовах температурного режиму вуглеводної пожежі спроможний забезпечити нормовану межу вогнестійкості бетонної оправи тунельних споруд протягом 120 хв. Показано, що захисне покриття завтовшки 6 мм, яка в 1,8 разу менше від розрахункової [2, 6] унеможливило нагрівання поверхні бетону під шаром вогнезахисного покриття до граничного стану – 380 °С.

Подальші роботи будуть спрямовані на встановлення фізико-хімічних особливостей формування поризованої структури алюмосилікатного каменю низької теплопровідності на краю, посередині та в центрі захисного покриття.

1. Якименко О.П. Підвищення вогнестійкості залізобетонних оправ тунельних споруд: Автореф. дис...канд. техн. наук: 21.06.02 – К. – 2012. – 24 с. 2. Романенков И.Г., Левитес Ф.А. Огнезащита строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1991. – 320 с. 3. Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов. – М.: Стройиздат, 1985. – 56 с. 4. Страхов В.Л. Огнезащита строительных конструкций: современные средства и методы оптимального проектирования / В.Л. Страхов, А.Н. Гаращенко // Строительные материалы. – № 6. – 2002. – С. 2–5. 5. Ройтман В.М. Повышение огнестойкости железобетонных конструкций с помощью тонкопленочных огнезащитных покрытий // В. М. Ройтман, Р.Ш. Габдулина, С. В. Щербина // Наука и безопасность. – № 4. – 2012. – С. 4–8. 6. Ненахов С.А. Экспериментальное изучение влияния толщины вспенивающихся покрытий на огнезащитную эффективность / С.А. Ненахов, В.П. Пименова // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20, № 5. – С. 2–9. 7. Кривцов Ю.В. Тонкослойная огнезащита бетона / Ю.В. Кривцов, О.Б. Ламкин, В.В. Рубцов, Р.Ш. Габдулин // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 6. – С. 42–44. 8. Халтуринский Н.А. О механизме образования огнезащитных вспучивающихся покрытий / Н.А. Халтуринский, В.Г. Крупкин // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20, № 10. – С. 33–36. 9. Fireproof coatings on the basis of alkaline aluminum silicate systems / [Krivenko P.V., Pushkareva Y.K., Sukhanevich, M.V., Guziy S.G.] // Ceramic Engineering and Science Proceedings. – 29(10). – 2009. – P. 129–142. 10. Кривенко П.В. Розробка фізико-хімічних основ направлено синтезу неорганічних в'язучих в системі $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ для отримання екологічно безпечних спучуваних матеріалів / [П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьова, М.В. Суханевич] // Будівництво України – № 2. – 1997. – С. 46–49. 11. Krivenko P. V. Bloating Concrete Coatings to Improve Fire Resistance of Building Structures / P.V. Krivenko, E.K. Pushkareva, M. . Sukhanevich // Proc. of the Intern. Conference held at the Dundee, Scotland, UK, 8-10 September, 1999 (Concrete Durability and Repair Technology). – P. 415–422. 12. Гузий С.Г. Щелочные алюмосиликатные композиции для защиты строительных конструкций от агрессивных воздействий урбанистической среды / С.Г. Гузий, М.В. Суханевич // Сборник трудов 6-й Междунар. научн.-техн. конф. «AquaStop-2010» гидроизоляционные, кровельные и теплоизоляционные материалы, 14–15 апреля 2010 г., ЛЕНЭКСПО, Санкт-Петербург, Россия. – С. 56–64. 13. Гузий С.Г. способность к вспучиванию огнезащитных геоцементных покрытий после искусственного старения / С.Г. Гузий // Стройпрофиль. – № 2(80). – 2010. – С. 108–110. 14. Гузий С.Г. способность к вспучиванию огнезащитных геоцементных покрытий после искусственного старения / С.Г. Гузий // Стройпрофиль. – № 3(81). – 2010. – С. 114–117.