



Гузий С.Г.



Кривенко П.В.



Боднарова Л.



Валек Я.

**Гузий С.Г., кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
Кривенко П.В., доктор технических наук, профессор,  
Боднарова Л., кандидат технических наук, ассистент профессора,\*  
Валек Я., кандидат технических наук, ассистент профессора,\*  
Научно-исследовательский институт вяжущих веществ и материалов им.В.Д. Глуховского  
Киевского национального университета строительства и архитектуры, г. Киев, Украина,  
Технологический университет Брно\*, Чешская республика**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ НАГРЕВЕ БЕТОНОВ, ЗАЩИЩЕННЫХ ВСПУЧИВАЮЩИМ ПOKРЫТИЕМ НА ОСНОВЕ ГЕОЦЕМЕНТА

Возникновение пожара в тоннелях приводит к значительным разрушениям бетонных конструкций (бетон откалывается или крошится) вследствие его локальности и действия высоких температур. Бетон, перегреваясь под воздействием пламени, при температуре 523 К трескается и разрушается с потерей прочных до этого времени связей между цементным камнем и заполнителем.

Нагрев в интервале 473–673 К приводит к постепенному снижению прочности цементного камня и бетона из-за дегидратации в основном гидроалюминатов, а также распада и перекристаллизации гидросульфалюминатов кальция. При нагревании свыше 653 К (критическая температура для поверхности бетона) нарушается структура цементного камня и бетона в результате различия деформаций гидратных продуктов цементного камня и негидратированных зерен цемента. При 773–873 К идет разложение гидратных новообразований и дегидратация  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – продукта гидролиза клинкерных минералов, преимущественно трехкальциевого силиката, что способствует дальнейшему снижению прочности цементного камня и быстрому прогреву арматуры (773 К – критическая температура для арматуры), которая под действием тепла расширяется, прогибается и теряет свои несущие способности. В интервале 873–973 К происходит полиморфное превращение  $\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  в  $\gamma\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  со значительным увеличением объема. При непрерывном нагревании бетона до 1473 К прочность цементного камня составляет 35–40% прочности контрольных образцов со значительным развитием усадки – от 1% и более.

Защитить бетон от прямого воздействия огня и уменьшить сроки его нагревания (исключить быстрый и резкий перегрев) до начала потери прочности связей возможно за счет использования эффективных защитных материалов. Эти защитные материалы способны не доводить нагрев поверхности бетона до предельного состояния ( $T_{\text{кр}}=653$  К), наиболее эффективными из которых являются вспучивающиеся геоцементные покрытия [1–4]. Процесс вспучивания в покрытиях происходит в диапазоне температур 523–773 К за счет выделения химически связанной (цеолитной воды) с образованием искусственного камня

пониженной плотности, характеризующегося развитой поровой структурой. Долговечность огнезащитных вспучивающихся покрытий на основе геоцементов сохраняется в течение 15 лет [5, 6].

Целью данной работы является исследование температурных полей бетонов, защищенных вспучивающимся покрытием на основе геоцемента и предотвращающих нагрев его поверхности до предельного состояния.

В качестве связующего вещества использовали геоцемент структурной формулы  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 20\text{H}_2\text{O}$  при соотношении основных структурообразующих оксидов  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1$ ,  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 6$  и  $\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 20$ . Геоцемент получали на основе метакаолина. В качестве щелочного компонента использовали силикат натрия растворимый, характеризующийся силикатным модулем 3,0 плотностью 1430 кг/м<sup>3</sup>. В качестве корректирующей добавки использовали молотый до удельной поверхности 650 м<sup>2</sup>/кг трепел, состоящий из аморфного микрокремнезема вида  $\text{SiO}_2\cdot m\text{H}_2\text{O}$ . В качестве наполнителей использовали алюмосиликатные микросферы размерами 0,63–0,42 мм, полученные путем грануляции геоцемента состава  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 20\text{H}_2\text{O}$  в растворе  $\text{CaCl}_2$  плотностью 1350 кг/м<sup>3</sup> и молотый до удельной поверхности 350 м<sup>2</sup>/кг известняк.

После смешивания геоцемента состава  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 20\text{H}_2\text{O}$  с гранулами и наполнителем в соответствующих пропорциях, вспучивающееся покрытие наносили шпателем на боковую поверхность бетонных образцов размерами 150x150x150 мм толщинами 6, 12 и 18 мм, предварительно установив в центре боковой поверхности бетонных образцов хромель-алюмелевые термомпары Тп, Т1...Т3.

После отверждения огнезащитного покрытия, в специально высверленные отверстия на расстоянии 20 мм

от края бетонных образцов, на глубину 75 мм заводили хромель-алюмелевые термопары Тп/20, Т1/20...Т3/20 (рис. 1). Термопары подключали к регистрационному прибору КИМО HD 200 (Франция), поверхностную температуру (Тs) измеряли инфракрасным пирометром DT – 8867Н (Германия), точечный температурный режим обеспечивали с помощью газовой горелки ROTHENBERGER (Германия) с температурой пламени 1373 К и размещенной на расстоянии 200 мм от поверхности бетонных образцов. Изменения температурных полей образцов во время теста от 0 до 120 минут фиксировали прибором КИМО HD 200 и тепловизором TESTO 1000-1 (Чехия).

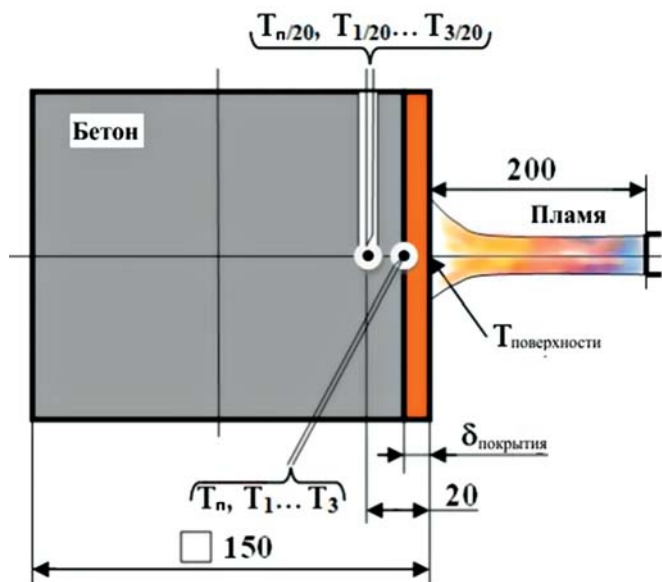


Рис. 1. Схема закладки термопар и измерение температур

Основные зависимости температуры от времени огневого воздействия на бетон и бетон со вспучивающимся огнезащитным покрытием, приведены на рис. 2. Экспериментальные данные показывают, что незащищенная бетонная поверхность достигает предельного состояния 653 К уже на 10 мин. Испытаний при температуре пламени 1373 К с последующим ее повышением и распространением вглубь бетонного образца. На расстоянии 20 мм от поверхности на 35 минут испытаний фиксируется предельная температура для арматуры – 773 К. На этой же глубине, после 60 минут нагрева, фиксируется температура 1073 К, которая после 120 минут нагрева достигает глубины до 40 мм (рис. 3). В процессе огневого воздействия на обогреваемой поверхности бетона наблюдалось испарение воды с образованием и раскрытием трещин длиной около 45...75 мм и шириной 0,2...1,5 мм.

При воздействии пламени на покрытие толщиной 6 мм в течение 120 минут зафиксирована максимальная температура на обогреваемой поверхности бетона под слоем огнезащитного покрытия – 572 К, которая в 1,1 раза меньше температуры предельного состояния. Температура на расстоянии 20 мм от края поверхности бетона 383 К. По данным рис. 3 бетон под защитным покрытием прогревается вглубь до 30 мм на 60 и 120 минут, соответственно, не более 345 и 383 К.

При воздействии пламени на покрытие толщиной 12 мм на протяжении 120 мин. зафиксирована максимальная температура на обогреваемой поверхности бетона под слоем огнезащитного покрытия – 526 К, которая в 1,24 раза меньше температуры предельного состояния. Температура на расстоянии 20 мм от края поверхности бетона 371 К.

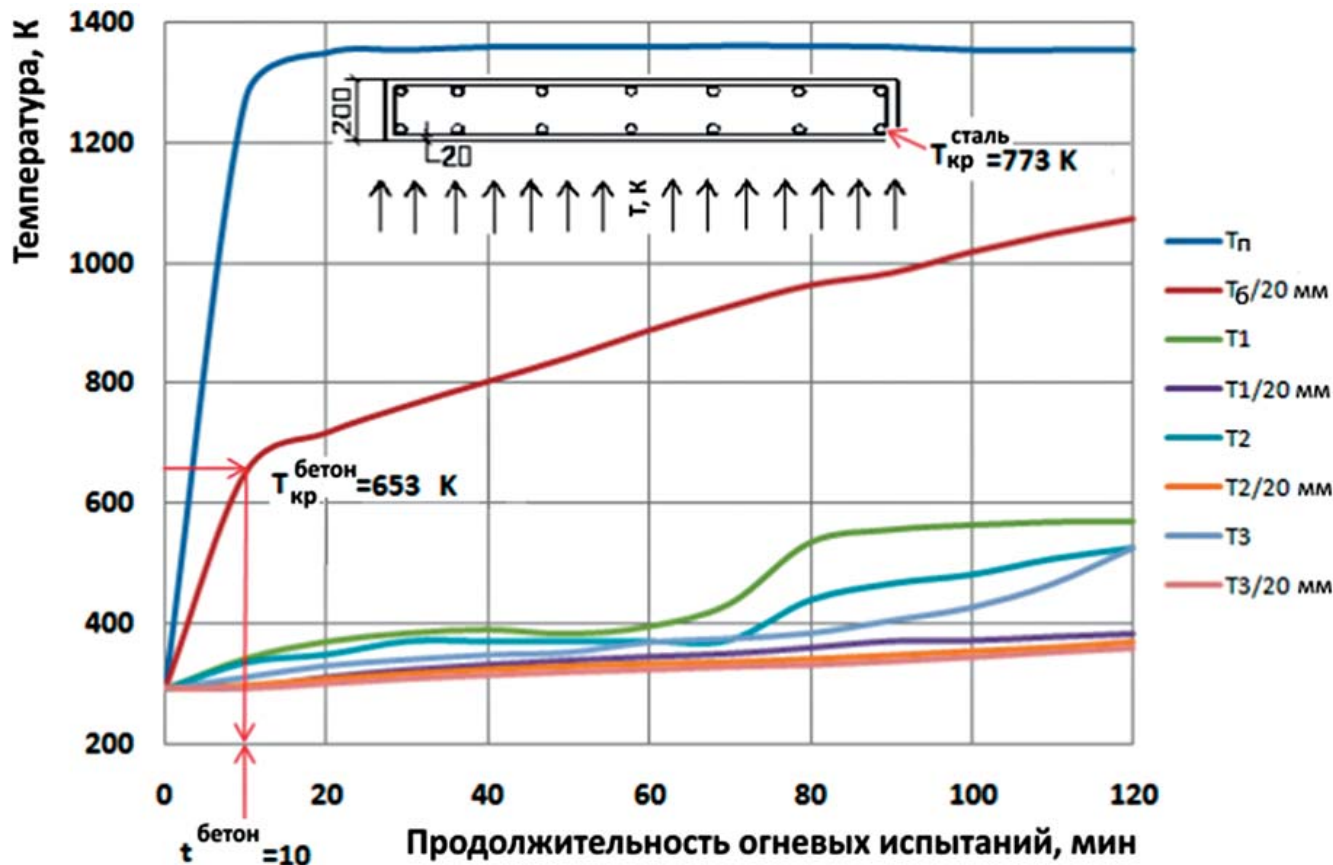


Рис. 2. Зависимости изменения температур от продолжительности огневого воздействия:

Тп, Т6/20 мм – температуры на поверхности бетона и в глубине на расстоянии 20 мм от поверхности бетона;  
Т1, Т1/20 мм – температуры на поверхности бетона под покрытием толщиной 6 мм и в глубине на расстоянии 20 мм от поверхности бетона;  
Т2, Т2/20 мм – температуры на поверхности бетона под покрытием толщиной 12 мм и в глубине на расстоянии 20 мм от поверхности бетона;  
Т3, Т3/20 мм – температуры на поверхности бетона под покрытием толщиной 18 мм и в глубине на расстоянии 20 мм от поверхности бетона

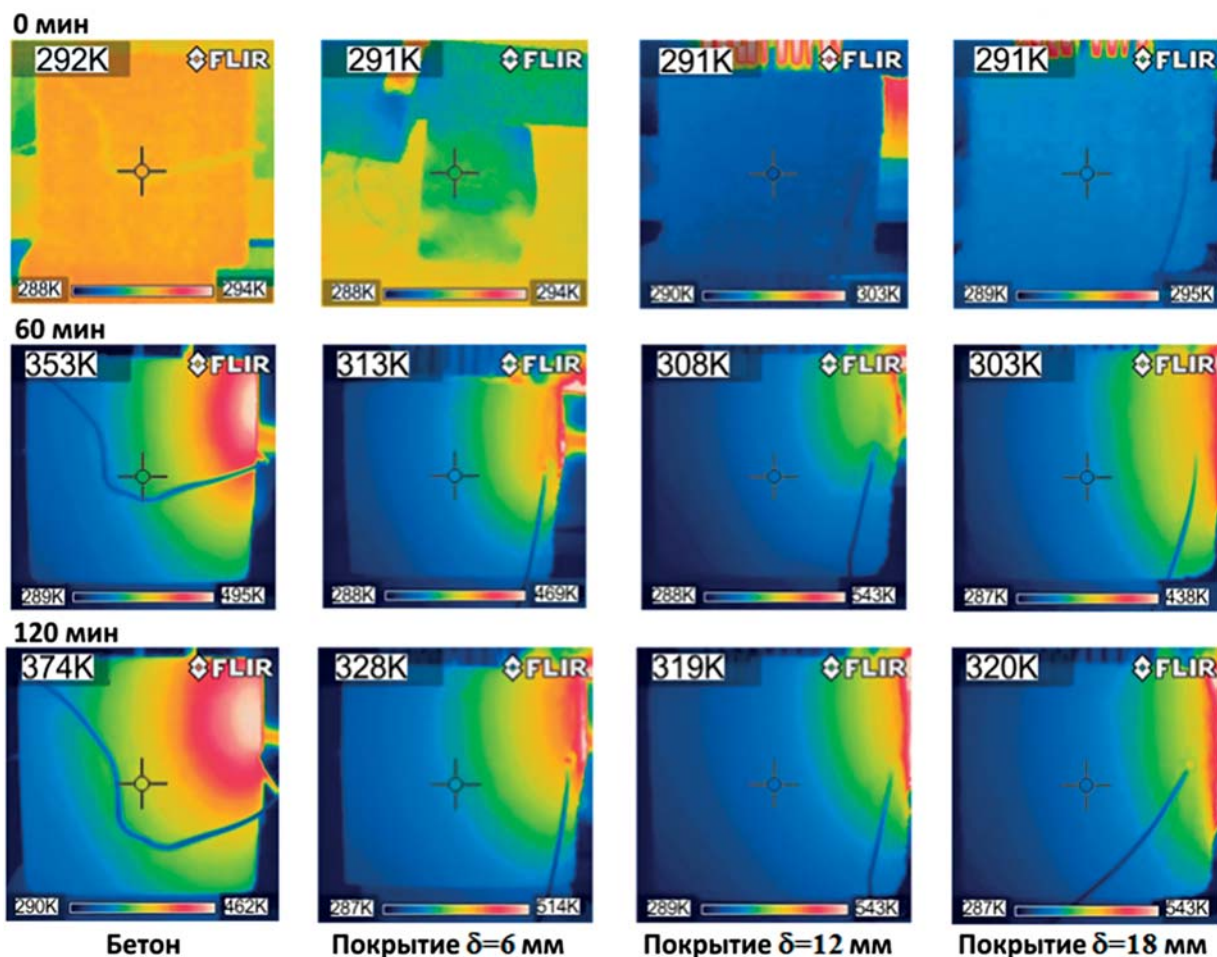


Рис. 3. Изменения температурных полей от времени огневого воздействия образцов на бетон без покрытия и на бетоны с покрытием. Точка замера тепловизором – центр образца

По данным рис. 3 бетон под защитным покрытием прогревается вглубь до 25 мм на 60 и 120 минуту, соответственно, не более 335 и 371 К.

При воздействии пламени на покрытие толщиной 18 мм на протяжении 120 мин. зафиксирована максимальная температура на обогреваемой поверхности бетона под слоем огнезащитного покрытия – 528 К, которая в 1,24 раза меньше температуры предельного состояния. Температура на расстоянии 20 мм от края поверхности бетона 359 К. По данным рис. 3 бетон под защитным покрытием прогревается вглубь до 20 мм на 60 и 120 минуту, соответственно, не более 323 и 359 К.

Следует отметить, что на кривых T1, T1/20...T3, T3/20 (рис. 2) в процессе огневого воздействия в 120 минут, наблюдаются участки продолжительностью, в среднем, до 50 минут, где кривые температур параллельны оси значений времени нагрева. Это свидетельствует о том, что разработанные составы защитных покрытий толщинами 12 и 18 мм способны повысить предел огнестойкости бетона до 210 минут.

#### Вывод

В процессе огневых испытаний продолжительностью 120 минут установлено, что вспучивающиеся огнезащитные покрытия на основе геоцемента толщинами 6, 12 и 18 мм не позволяют прогреву поверхности бетона до критической температуры 653 К, а на глубине залегания арматуры (20 мм) температура прогрева бетона лежит в пределах 323-383 К.

#### Литература:

1. Кривенко П.В. Розробка фізико-хімічних основ направленої 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.
2. Krivenko, P.V. Fireproof coatings on the basis of alkaline aluminum silicate systems / [P.V. Krivenko, K.K. Pushkareva, M.V. Sukhanevich, S.G. Guziy] // Ceramic Engineering and Science Proceedings 29(10). – 2009. – pp. 129-142.
3. Krivenko P. Protection of Timber from Combustion and Burning Using Alkaline Aluminosilicate-Based Coatings / P. Krivenko P., S. Guziy, A. Kravchenko // Advanced Materials Research Vol. 688 (2013), pp 3-9
4. Гузий С.Г. Огнезащита бетона геоцементными покрытиями / Вестник НУ "Львовская политехника": Теория и практика строительства. Вып. №755. – 2013. – С. 100-105.
5. Гузий С.Г. Способность к вспучиванию огнезащитных геоцементных покрытий после искусственного старения / С.Г. Гузий // СтройПрофиль – № 2(80). – 2010. – С. 108-110.
6. Гузий С.Г. Способность к вспучиванию огнезащитных геоцементных покрытий после искусственного старения / С.Г. Гузий // СтройПрофиль – № 3(81). – 2010. – С. 114-117.