

УДК 624.0

В.И. КРАЮХИН

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и технологий
Научно-образовательный строительно-архитектурно-дорожный институт
Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

О.П. ХОМЯКОВА

кандидат технических наук, инженер Учебно-вычислительной лаборатории
Научно-образовательный строительно-архитектурно-дорожный институт
Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

Н.В. ХАЮК

ассистент кафедры строительных материалов и технологий
Научно-образовательный строительно-архитектурно-дорожный институт
Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧЕЙ

THE FEATURES OF THE INDUSTRIAL FURNACES` OPERATION

Рассматривается целесообразность применения технологических мероприятий по усилению структуры жаростойких бетонов и повышению их долговечности в сооружениях типа дымовых труб и печей на различных объектах теплоэнергетики и нефтехимии.

В процессе эксплуатации бетоны претерпевают структурные изменения, что приводит к образованию трещин и в условиях кризисных явлений требует экономичных ремонтов с применением современных паст, растворов, смесей и технологий.

Ключевые слова: жаростойкие бетоны, дымовые трубы, печи, трещины, пасты, растворы, смеси, ремонт.

Конструктивные элементы печей нефтепереработки претерпевают в процессе эксплуатации значительные температурные воздействия – 500-1000 °С. В процессе работы горелочных устройств возникают значительные тепловые потоки горячих газов.

Образующиеся трещины, сколы, эрозивные зоны на поверхности жаростойких бетонов, в швах кладки огнеупорных кирпичей понижают эксплуатационные свойства объектов, являются зонами начального разрушения бетона, коррозии металла труб, перегрева прилегающих конструкций, грозящих снижению несущих способностей сооружения.

По мере эксплуатации печи приходится осанавливать на плановые и внеплановые ремонты в течение разных периодов года. Как показывает практика, с точки зрения экономичности плановых ремонтов их выгодно производить в зимнее время года, когда потребление горючесмазочной продук-

The article describes the expediency of using technological measures for strengthening the structure of heat-resistant concrete and improving concrete durability in such structures as chimneys and furnaces at different objects of power and petrochemical industries.

During the operation concrete undergoes structural changes that cause cracks. Under the conditions of crisis cost-effective repairing with the use of modern pastes, solutions, compounds and technologies is required.

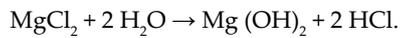
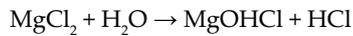
Keywords: heat resistant concrete, chimney, furnace, crack, paste, solution, compound, mixture, repairing.

ции с заводов НПЗ не так значительно по сравнению с летним периодом. С точки зрения ремонтных служб этот период также не очень комфортен при наличии сильных отрицательных температур в нашем регионе.

Профилактические мероприятия при ремонтах различного вида печных труб внутри печей требуют их пропарки, резки, сварки, чистки, освобождения от внутренних наслоений в виде сульфидов, дисульфидов, тиофенов и других агрессивных и менее агрессивных отложений.

Эти мероприятия осуществляются в непосредственной близости с окружающими внутреннее пространство печей строительными элементами: сводами, стенами, подами. Естественным моментом при остановке печей на ремонт является процесс конденсации влаги при охлаждении печи с плюс 1000 до минус 30 °С.

Конденсат интенсивно способствует гидролизу отложившихся солей вышеперечисленных соединений:



Возможны аналогичные гидролизные реакции с солями кальция, сероводорода и т.д.

Учитывая процессы горения в печах, на сводах и стенах происходит непрерывное отложение сажистых скоплений, способных проникать по трещинам, открытым и капиллярным порам вглубь бетона, а при охлаждении туда попадают пары воды и идёт накопление влаги – растворения различных агрессивных соединений.

Все эти накопления начинают процессы разрушения жаростойких бетонов, кладок кирпичей, швов в конструктивных габаритных элементах, коррозию металлических элементов.

Накопления от перечисленных веществ осуществляются за счёт механических прилипания и за счёт мощных тепловых потоков от горелок печей сублимационно-эрозионных и обратно-десублимационных процессов, приводящих к образованию большого количества пылеватых частиц, выбрасываемых через трубное пространство в атмосферу. Наиболее крупные отложения остаются в горелочном пространстве печей в подовой части и удаляются в межремонтный период и при остановке печей.

При строительстве печей и их эксплуатации применяется большое количество жаростойкого бетона – до 100 тыс. м³ в год. В случае эрозионных, десублимационных процессов в атмосферу и окружающую среду попадает (до 47 % пылеватых частиц за 20 лет) в год 2–3 % пылеватых частиц, что составляет 2–4 тыс. м³.

С целью предотвращения загрязнений атмосферы, усиления строительных элементов, продления срока их службы возможна пропитка жаростойких бетонов фосфатными композициями, тампонирующее дефектных зон, что ведет к снижению ПДК: углеводорода – с 100 до 0,01 мг/м³, сероазота – с 50 до 0,8 мг/м³. Количество пылеватых частиц снижается при этом с 4 до 1 тыс. м³ в год.

Для более полного сочетания свойств старого и нового бетона предлагается пропитка Н₃Р₀₄ старых поверхностей и трещин, дефектов, порового пространства с целью вовлечения в процесс облагораживания, лечения старого бетона за счёт взаимодействия сублимационных, эрозионных отложений

в виде скоплений сажистых, кварцево-алюминатных, железистых, магнезиальных и других отложений.

На границах трещин пористого пространства происходит взаимодействие дисперсной системы и фосфатных композиций по системе «жидкое–твёрдое», дающее в результате образование зародышей новой фазы и скоростное образование сростка по «берегам» трещин и поверхностям пылеватых частиц нового и старого бетона.

Наращивание прочностных показателей бетона подкрепляется тепловым эффектом, возникающим при выводе печи на режим рабочих температур, что в итоге способствует дальнейшему наращиванию процесса кристаллизации – срастанию «берегов» трещин и усилению прочностных показателей бетона, уменьшению его эрозии, пыления и выбросов твёрдых частиц в атмосферу воздуха и поддержанию атмосферы в нормативных показателях.

В большинстве случаев подобные объекты подвергаются циклическому режиму работы с нагревом и охлаждением, существенное значение имеет и режим первого нагрева различных конструкций и агрегатов. При таком нагреве возникают наибольшие температурные усилия и элементы претерпевают неравномерные по сечению температурные внутренние напряжения. Немаловажную роль здесь играет выбор вяжущих, расположение арматуры, усадка бетона при твердении.

При длительном одностороннем нагреве конструкций особенно сильно подвергается нагреву сторона, обращенная к источнику тепла, при охлаждении происходит быстрое снижение температуры.

При охлаждении бетонных и железобетонных элементов от высоких температур до низких, порой до минус 40 °С, в условиях зимнего ремонта возникает процесс конденсации и появления воды в порах бетона. Здесь разграничение границ конденсации пара на поверхности и в объеме материала является условным, и при этом имеет место создание «ядер» мест конденсации. Этот способ можно еще назвать методом флуктуационных зародышей. Конденсация пара в объеме наступает при определенном перенасыщении пара, называемом критическим. В этом случае соблюдается соотношение $S \geq S_{кр}$, где $S_{кр}$ – критическое перенасыщение пара.

Для плоской поверхности $S_{кр} = 1$, для вогнутой $S_{кр} < 1$. Для выпнутой поверхности пар, например, создает условия для создания мельчайших центров конденсации $S_{кр} > 1$. Чем больше кривизна поверхности, тем больше $S_{кр}$, отличающееся от единицы в

большую сторону. Этим и объясняется, что конденсация паров в объеме материала и образование воды происходит в перенасыщенном паре, так как для того чтобы пар конденсировался на центрах конденсации, имеющих выпнутую поверхность, перенасыщение его должно быть больше единицы.

В капиллярах, стенки которых имеют вогнутую поверхность, конденсация паров происходит и при ненасыщенном паре. Зависимость давления насыщенного пара над каплей и насыщение пара от ее радиуса выражается уравнением

$$S_i = 2GM/RT\rho r,$$

где S_i - перенасыщение пара, соответствующее равновесному давлению насыщенного пара над каплей; G - поверхностное натяжение капли; M - молекулярная масса жидкости; R - универсальная газовая постоянная; T - абсолютная температура; ρ - плотность жидкости; r - радиус капли.

Как указывалось, жаростойкие бетоны работают в условиях высоких температур, а также часто при соприкосновении со средой сгорания теплотворных масс, газов, выделяющих большое количество сернистых, углеродосодержащих частиц SO_2 ; CO_2 ; CO и т.д., проникающих при длительной эксплуатации конструкций в тело бетона. К тому же в составе вяжущих для этих бетонов присутствуют вещества, не способствующие долговечности материала.

Содержание этих частиц в вяжущем материале может оказаться в состоянии различной степени опасности. Внешние осмотры поверхностей типа сводовых панелей, шовных поверхностей показывают, что наиболее опасным является скопление вредных частиц в какой-то точке или маленькой зоне, которая становится очагом мощных распирающих усилий. В таких местах наблюдаются сажистые отложения, еле заметные визуально черные точки, распределенные по объему [1]. Это наблюдается в гидравлических вяжущих, жидком стекле. Например, глиноземистый цемент и портландцемент, содержащие в своем составе соответственно 12 и 4 % оксидов железа, подвергаются весьма сильным повреждениям. ВГЦ, содержащий 1,9 % металлического хрома, имеет серьезные повреждения, однако ВГЦ алюмотермического производства от выплавки ферротитана, несмотря на содержание вредных примесей 1,64 %, после испытаний образцов повреждений не имеет, а также не имеет заметных повреждений цементный камень на основе ВГЦ из шламов этилбензола (0,9 % из отработанного катализатора ИМ 2201(0,83 %) и

цементный камень на основе жидкого стекла и тонкомолотых добавок – перлита и вермикулита.

Если для цементного камня видна закономерность между содержанием вредных примесей и его стойкостью, то в заполнителях эта картина еще более неоднозначна. В керамзите, содержащем 8,2 % вредных примесей Fe_2O_3 , FeO , повреждения наблюдаются в меньшей степени, чем в шамоте с содержанием примесей 4,5 % или базальте - 5 %. Это, очевидно, связано с тем, что составы цементного камня по структуре и другим характеристикам сопоставимы, а заполнители имеют разные по структуре и по внешним признакам отличия. Следовательно, использование в бетоне вяжущих композиций, стойких в теплотворных средах, не может быть гарантией стойкости бетона на длительные сроки (естественно, в разумных пределах, например, до 30 лет).

Этому способствует конденсация влаги на поверхности и отложения в порах бетона, трещинах, так как при смешении газов, содержащих вредные примеси и отложения, в результате химических реакций газообразных составляющих в объеме и в теле бетона возникают капли жидкости типа H_2SO_4 . Этот процесс ведет к интенсивному образованию и развитию трещин.

Трещины представляют собой структурные дефекты бетона и изделий и делятся на два типа: технологические и силовые.

У первых размеры не превышают диаметры частиц заполнителя, их длина составляет несколько микрон (1-5 нм), это в основном микротрещины и поры в вяжущей матрице, а также трещины и дефекты на границе крупного и мелкого заполнителя и матрицы, возникающие в процессе изготовления конструкции и ее первого нагрева. Они располагаются в основном в одном направлении, что приводит к существенному механическому отличию свойств бетона вдоль и перпендикулярно к слоям бетонирования.

Вторые макротрещины являются результатом соединения микротрещин и представляют собой большие разрывы (до 3 мм), длина трещин может быть такой, что они проходят по всему поперечному разрезу поверхности. Это сквозные трещины, возникающие при неправильном расчете состава бетона и эксплуатации объекта.

Силовые трещины (от имеющихся нагрузок бетона) обычно равномерно ориентированы, что приводит к изменению физико-механических характеристик по разным направлениям из-за неупорядоченности гетерогенной системы типа бетона.

Соединение двух видов трещин может привести к появлению магистральных трещин, весьма опасных и представляющих собой мегатрещины.

Развитие дефектов в бетоне с течением времени существенно сказывается на напряженно-деформированном состоянии элементов конструкций, работающих в условиях температурного воздействия.

Долговечность легкобетонных жаростойких конструкций, каковыми являются панели, своды печей, панели стен, боровы и т.д., в большей степени определяется их трещиностойкостью. Процесс разрушения бетона можно рассматривать как многостадийный процесс, начинающийся еще при выборе материала, подборе состава бетона, упущениях в расчетах и армировании, изготовлении с использованием некачественных материалов, технологии монтажа, нарушении режимов первого нагрева и др. Каждый из этих этапов и факторов проявляется на разных стадиях эксплуатации бетона и влияет на долговечность его службы неодинаково. Большую роль играют деформации, происходящие в твердеющем бетоне, образующие поровое пространство, причем основная доля приходится на те из них, которые связаны с растягивающими и изгибающими нагрузками, внутренними напряжениями, циклическими напряжениями от высоких до низких температур (особенно в периоды ремонта и остановки объекта в зимний период), воздействиями внешней среды на поверхность и внутренний объем бетона, коррозионными процессами за счет конденсации влаги в толще бетона и создания перенасыщения парового давления агрессивного газа типа CO_2 , SO_2 .

Трещины, сколы, различные дефекты сильно понижают эксплуатационные свойства изделий из жаростойкого бетона и являются зонами начального разрушения конструкций, коррозии арматуры, утечек тепла, перегрева прилегающих конструкций, нарушения экологической обстановки на объекте за счет утечек агрессивных газов не через дымовую трубу, а в окружающую атмосферу данного предприятия или объекта [2].

В 1921 г. Гриффитс высказывал предположение, которое впоследствии было подтверждено и развито многими учеными. Оно заключалось в том, что хрупкое разрушение (а именно таковым может быть разрушение в бетоне, прошедшем многоциклическое нагревание – высушивание) происходит вследствие концентрации напряжений у вершин существующих в материале микродефектов, называемых теперь трещинами Гриффитса. Он предпо-

ложил, что трещины имеют эллиптическую форму. На самом же деле, что позднее было доказано, – они весьма разнообразны.

Разрушение – это продолжение трещины, и оно начинается тогда, когда в какой-нибудь точке достигается предел прочности материала. В случае одноосного растяжения это происходит в конце трещины, ориентированной перпендикулярно направлению растягивающих напряжений. Это экспериментально вполне объяснимо за счет попадания в трещины сернистого аммиака, оксида углерода, примесей хлористого магния, солей кальция, натрия, сажи.

Эти вещества в трещинах начинают уплотняться, увеличиваются по толщине и создают дополнительные растягивающие напряжения G при вершине трещины, определяемой зависимостью

$$G = G^* G_T (1 + 2\sqrt{c/d}),$$

где G^* – концентратор напряжения; G_T – собственная прочность материала на растяжение; c – половина длины трещины; d – радиус кривизны трещины у вершины.

К ограждающим конструкциям, типа панелей в печах, в нефтехимической, нефтеперерабатывающей промышленности предъявляется много требований. К основным относится малая объемная масса при достаточно высоком уровне теплотехнических, прочностных и эксплуатационных качеств. Поэтому при толщине сводовых стеновых панелей порядка 250 мм, длине 2000-2500 мм, ширине 1500-2000 мм должна обеспечиваться теплозащита металлических конструктивных элементов и их долговечность. Эти параметры могут подвергаться оптимизации в зависимости от вида печей и условий их работы [5].

Вопрос длительного периода работы предприятий, например, нефтеперерабатывающей отрасли, связан с непрерывной работой своих объектов в трехсменном режиме. Любая остановка на ремонт данных предприятий весьма дорогое удовольствие. Поэтому контроль за режимом и эксплуатацией отдельных объектов, цехов, установок, конструктивных элементов, работающих в контакте с высокими температурами, имеет особое значение для служб технадзора этих предприятий, а также различных служб данного направления.

Одной из главных задач этих служб является своевременное установление причин начала разрушения конструктивных элементов. Существующие в настоящее время методы исследования преимуще-

ственно основаны на визуальной оценке этих признаков. Выявление их в значительной степени носит субъективный характер и зависит от практического опыта специалиста, который проводит весенне-осенние осмотры этих объектов. Было предложено и используется в настоящее время много методик. Наиболее распространены методы ультразвукового контроля, позволяющие выявить очаговые места повреждений с помощью ультразвуковых волн. Указанный метод основан на связи между скоростью распределения импульсов УЗ-волн, физико-механическими свойствами и структурой материала.

Многие исследователи достаточно близко подошли к оценке долговечности обычных и жаростойких бетонов, подвергающихся высокотемпературному нагреву, в том числе даже в условиях пожара, что способствует повышению эксплуатационных надежностей теплотехнических сооружений, подвергаемых действию термических и механических повреждений [3].

В настоящее время используются следующие методы контроля за состоянием поверхности бетонов: ультразвуковой, магнитный, акустического эффекта образования трещин.

Большинство методов требует постановки определенных видов датчиков и образцов, высверленных из толщи бетона, что порой весьма неудобно и даже невыполнимо в условиях действующих установок и работающих в непрерывном режиме.

В последнее время в России и за рубежом в различных отраслях производства (металлургии, энергетике, химической промышленности, медицине, строительстве и др.) для изучения процессов теплообмена на поверхностях различных полей успешно применяют технику инфракрасного излучения [1].

При этом особую роль играют тепловизоры – приборы, способные на расстоянии, без контактного соприкосновения с объектом преобразовать тепловое излучение объекта в инфракрасной области спектра в видимое изображение.

Фирмой АГА разработана программа ГАМОС 142, служащая для преобразования данных, полученных с блока ОСКАР, пригодная для обработки программой ГАММА-11, разработанной фирмой «Дидимтел Эквипмент корпарейшен» для обработки изображений. Более современная программа разработана с использованием 3D MAX. Она позволяет осуществлять интерпретацию поверхностей объектов в 3D изображении [4].

По мере анализа и объема выявленных с помощью тепловизионных систем дефектных мест необходимо применять безвибрационные методы укладки-уплотнения жаростойких ремонтных составов.

В настоящее время для ремонта дефектных зон бетона, получения ремонтного слоя в поврежденных местах дефектных зон жаростойких бетонов и конструкций лучше всего использовать торкрет- и пневмоустройства (рис. 1).

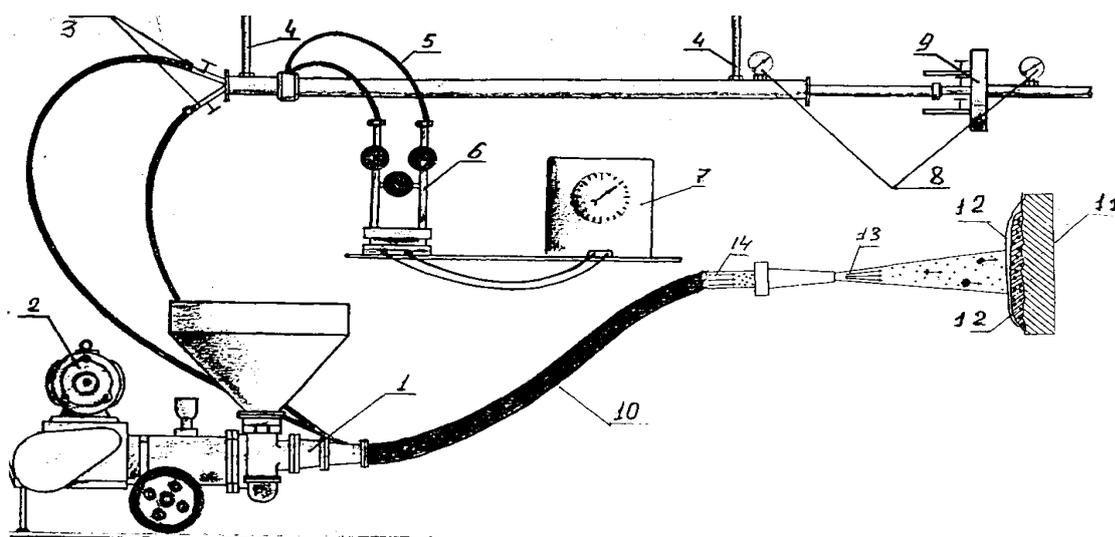


Рис. 1. Установка «мокрого торкретирования»:

- 1 - растворнасос (питатель) с приставкой инж. Марчукова; 2 - электродвигатель; 3 - запорные вентили;
- 4 - термометры; 5 - дифманометр; 6 - диафрагма; 7 - самопишущий прибор-ЭПИД; 8 - манометры;
- 9 - распределительная арматура; 10 - трубопровод; 11 - объект для ремонта;
- 12 - нанесенная масса бетонной смеси; 13 - скоростной участок массы; 14 - сопло

Для более глубокого проникновения тампонирующих составов и паст в поврежденных местах возможно использование процессирующих насадок, особенно эффективно работающих на вертикальных и боковых участках сводов и стен печей (рис. 2).

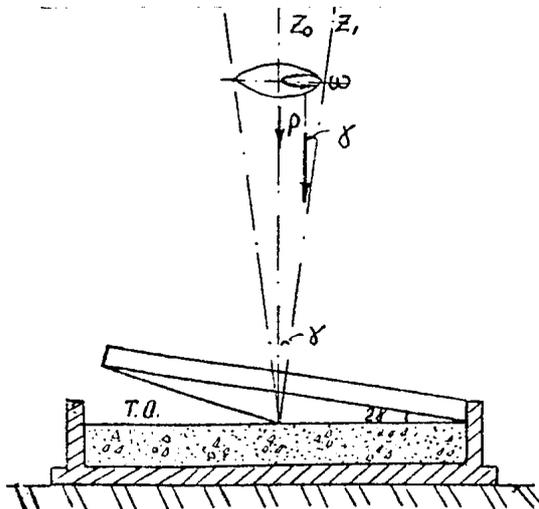


Рис. 2. Схема работы процессирующего штампа, закрепленного на переносной дрели

При ремонте дефектных покрытий возникает необходимость применения дополнительных методов их пропитки–тампонирования, выработки стратегии их колматации, выбора материала и способа их обработки и нанесения на поверхность в глубину бетона.

Для этих целей необходимо исходить от номенклатуры имеющихся дисперсных систем в виде тампонажных композиций, паст, клеев, способных выдерживать высокие температуры и увеличивать срок службы бетонов, конструкций, работающих при высоких температурах в режиме круглосуточной эксплуатации объектов в течение до трех лет, т.е. обеспечивать межцикловой ремонтный период^{1,2}.

Как показала практика длительности использования жаростойких бетонов на различных объектах и установках Саратовского НПЗ, самым эффективным является метод тампонирования неорганических композиций клея. Этот вид весьма многофункционален, особенно фосфатного, силикатного твердения, а также гидравлических цементов и металлических клеев.

¹ Патент №2291979 от 2005 г. / Краюхин В.И., Коблов А.В. Материалы и способы нанесения диффузионных покрытий.

² Патент №226578 от 10.12.2005 г. / Хлыстов А.И., Соколова С.В. Способ ремонта футеровки тепловых агрегатов жаростойким бетоном.

Разработка составов осуществляется на основе клеящих композиций и отходов производства свинцовых аккумуляторов, глётых отходов, разработки составов на алюмофосфатных композициях с включением в них мультidisперсных волокон хризотил-магнезиальных составляющих, базальта и заполнителей из вермикулита и перлита [3], позволяющих регулировать продолжительность отверждения, коэффициент линейного термического расширения, катезионные свойства и многие другие характеристики, включая прочность, объемную массу, пористость и т.д.

Разработанные составы алюмохромфосфатных композиций имеют ряд преимуществ перед другими вяжущими гидратационного плана. Алюмохромфосфатные композиции образуют пленку, обладающую аморфным свойством при высоких температурах, и способствуют тем самым непроникновению агрессивных газов CO_2 , SO_2 в толщу жаростойкого бетона. Кроме этого они стабильны при длительном хранении, обладают хорошей механической прочностью и адгезионными свойствами.

Неплохие результаты достигнуты при применении клея на основе силикатов натрия.

Жидкостекольная композиция обладает достаточной текучестью и с успехом используется, особенно при ремонте полов, аэротэнков и различных печей.

Применение так называемых металлических клеев обусловлено их способностями к высокоадгезионным сцеплениям различного рода материалов, приближающихся по свойствам к металлокерамике, работающих в условиях высоких температур.

Такая необходимость созрела при ремонте печей инертного газа, где температура внутреннего горения часто достигала 1500 °С. Сама конструкция печи имела несколько камер превращения обычного газа в газ инертного порядка с большим содержанием азотной составляющей, с целью применения его в дальнейшем при продувке отдельных объектов нефтепереработки и подготовки их под сварочные и ремонтные работы.

Для этой цели был специально разработан и запатентован состав на основе галлиевого порошка.

Образовавшиеся трещины были тампонированы, в отдельных местах произведена засверловка и обеспечены мероприятия для диффузионного твердения композиций.

Таким образом, выполнение мероприятий по поиску образования, обнаружения дефектных

зон, характеру расчетных значений трещинообразования, подбору специальных тампонирующих дисперсных композиций, специальных связей и методов их нанесения позволяет сделать выводы, что грамотный подбор клеящих – тампонируемых связей продляет срок службы жаростойкого бетона и конструкций из него без дорогостоящей их замены, требующей многомиллионных затрат, и обеспечивает экологическую безопасность промышленных объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Краюхин, В.И. Тепловизоры в строительстве и промышленных условиях воздействия высоких температур [Текст] / В.И. Краюхин // Разработка современных технологий и материалов для обеспечения энергосбережения: сборник научных трудов / СГТУ-САДИ. – Саратов, 2010. – С. 340-341.

2. Краюхин, В.И. Общие принципы управляемых пропиточных технологий [Текст] / В.И. Краюхин

// Сборник научных трудов. Ч. I. – Волгоград, 2009. – С. 151-157.

3. Краюхин, В.И. Ремонтные пасты для заделки различных дефектов в зданиях сооружениях и механизм их твердения [Текст] / В.И. Краюхин // Десятые Академические чтения РААСН. – Казань: Издательство Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2006. – С. 246-249.

4. Тимофеев, С.М. Основы работы в 3ds Max. Просто как дважды два [Текст] / С.М. Тимофеев. – М.: ЭКС-МО, 2008. – 96 с.

5. Хомякова, О.П. Программно-вычислительный комплекс для расчета оптимальной теплозащиты трубопроводов тепловых сетей и подбора стандартных элементов конструкции в условиях подземной канальной прокладки [Текст] / О.П. Хомякова // Материалы Пятой Российской научно-технической конференции: сборник докладов. Т.2. – Ульяновск: УлГТУ, 2006. – С. 76-79.

© Краюхин В.И., Хомякова О.П.,
Хаяк Н.В., 2012