

УДК 691.542

Камалова З.А. – кандидат технических наук, профессор

Смирнов Д.С. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: Denis27111974@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Исследования и разработка мероприятий по восстановлению железобетонных конструкций градирни

Аннотация

В данной работе анализируются причины разрушения железобетонных конструкций градирни № 5 Казанской ТЭЦ-2. Приводятся специально разработанные мероприятия, направленные на восстановление арматуры, а также гидрофизических и механических характеристик основного массива бетона с одновременным повышением адгезии к нему ремонтно-восстановительных составов. Показана эффективность применения интегрально-капиллярных систем (ИКС) при проведении ремонтно-восстановительных работ в конструкциях градирни. Методами рентгенофазового анализа изучено влияние ИКС на процессы структурообразования цементного камня.

Ключевые слова: градирни, железобетонные конструкции, реконструкция железобетонных конструкций, интегрально-капиллярные системы, ремонтно-восстановительные составы.

Строительство Казанской ТЭЦ-2 началось в 1932 году. В 1937 году закончена первая очередь станции. Работы по расширению ТЭЦ-2 продолжались в 1953, 1956, 1957 и 1961 годах. В 1963 году Казанский энергоузел вошел в Европейскую энергосистему.

Надо отметить, что обновление ТЭЦ-2 идет постоянно. В настоящее время её развитие продолжается, в первую очередь, за счет реконструкции оборудования и технического перевооружения. В рамках программы по обновлению и реконструкции сотрудниками КГАСУ и специалистами ООО ИЦ «Энергопрогресс» проведена совместная работа по исследованию и анализу состояния строительных материалов конструкций градирни № 5.

Градирня № 5 площадью орошения 1520 м² предназначена для охлаждения воды систем оборотного водоснабжения, выполнена по рабочим чертежам типового проекта Московского отделения института «Теплопроект» в 1962 году и находится в эксплуатации с 1966 года. Градирня состоит из железобетонной гиперболической башни с верхней отметкой 55,3 м, железобетонного каркаса оросительного устройства и водосборного бассейна.

Вытяжная башня имеет диаметры основания в нижней и верхней отметках 47,4 и 26 м соответственно. Толщина оболочки башни составляет от 350 мм в нижней части до 100 мм вверху. Оболочка армирована двойными арматурными сетками. Железобетонные опорные стойки с поперечным сечением 350х350 мм опираются на кольцевой фундамент и имеют с ним, как и с опорным кольцом оболочки, жесткую связь.

Строительные конструкции оросительного устройства включают себя каркас из радиально размещенных железобетонных колонн, связанных сверху системой балок с поперечными сечениями 200х600 и 150х400 мм.

Оценку фактического состояния обследуемых конструкций градирни проводили в два этапа. На первом этапе проводился визуально-измерительный контроль в соответствии с общепринятой методикой [1]. При этом выявлялись и фиксировались общий характер и степень повреждений строительных конструкций, производился замер фактических геометрических размеров сооружения и конструктивных элементов. По результатам визуального контроля составлялись дефектные карты конструкции градирни. На втором этапе неразрушающими методами оценивалась фактическая прочность бетона в элементах конструкции.

При визуально-измерительном контроле было обнаружено обрушение и разрыхление основного массива бетона на отдельных участках до 50 мм, поверхностная

коррозия оголенной арматуры. Сечение некоторых опор колоннады в результате разрушения бетона снизилось до 30 %, а продольная арматура имела коррозию на глубину до 1,5 мм. При обследовании внутренней и наружной оболочек (стенок) вытяжной башни были обнаружены следующие дефекты:

- сквозное разрушение стенки на высоте 21 м;
- обрушение и шелушение бетона на глубину до 20 мм;
- высолообразование и выщелачивание бетона на глубину до 25 мм;
- обнажение и коррозия арматуры.

На внутренней стороне оболочки практически не сохранился торкрет бетона. Сохранившийся торкрет бетона на нижних поясах отслаивался от основного массива бетона и имел прочность до 15 МПа. На отдельных поясах с внутренней стороны оболочки имелись значительные обрушения бетона, арматура оголена и сильно корродирована.

В 2005 году ремонтные работы железобетонных конструкций на градирне № 5 уже производились, но, как показали проводимые исследования, эффективность принятых мероприятий оказалась крайне низкой. Через год эксплуатации практически на всех ранее восстановленных участках железобетонных конструкций произошло отслоение и обрушение наносимых ремонтных составов. Для защиты внутренней стороны оболочки от агрессивного воздействия внешней среды на ее поверхность наносились только красящие составы, а торкретирование не проводилось, что также не гарантировало защиту бетона.

Оценку фактической прочности бетона в строительных конструкциях градирни № 5 Казанской ТЭЦ-2 производилась неразрушающим методом по ГОСТ 22690 [2] с помощью прибора ОНИКС 2.5. Результаты обследования приводятся в таблице 1.

Таблица 1

Тип конструкции	Прочность бетона		Заключение о состоянии бетона
	проектные	фактические	
Оболочка: внутренняя сторона	30 МПа	28,5 МПа	Удовлетворительное
внешняя сторона	30 МПа	31,2 МПа	
Опорные стойки	30 МПа	27-15 МПа	Неудовлетворительное
Колонны оросительного устройства	40 МПа	Не оценивались	
Балки оросительного устройства	40 МПа	Не оценивались	

Прочность бетона опорной колоннады определяли в трех зонах:

- Прочность ремонтного слоя, нанесенного в 2005 году, составила в среднем 30 МПа. Однако в большинстве случаев наблюдалось его отслоение от основного массива бетона;
- Прочность основного массива бетона, не подверженного разрушению, составила в среднем 27 МПа, что можно считать удовлетворительным результатом;
- Прочность бетона на поврежденных участках – 15 МПа, что не соответствует проектным требованиям. После удаления поверхностного слоя бетона, имеющего признаки коррозии, повторно определялась прочность, которая составила в среднем 25 МПа, что на 17 % ниже требований проекта.

Анализ результатов обследований железобетонных конструкций градирни позволил установить, что в целом они находятся в неудовлетворительном состоянии и требуют незамедлительного ремонта. Причинами появления указанных дефектов являются:

- истощение верхними слоями бетона ресурса по морозостойкости;
- несоблюдение или несоответствие технологии при проведении ремонтно-восстановительных работ [3];
- производственные ошибки, допущенные при строительстве градирни, связанные с неоднородностью бетона в оболочках конструкции, несоответствием качества используемых материалов требованиям нормативных документов, некачественным выполнением стыков и т.д.

При разработке рекомендаций по антикоррозионной защите арматуры, соединительных элементов и поверхности закладных деталей железобетонных конструкций был изучен опыт проведения работ [4, 5], на основании которого были разработаны составы,

направленные на устранение ржавчины с поверхности арматуры, приведенные в таблице 2. В качестве активного компонента, способствующего преобразованию оксидов и гидроксидов железа, использовались фосфорная и уксусная кислоты. Оработанные составы наносились в виде водных растворов и в концентрированном виде с последующей обработкой поверхности водой или щелочными растворами.

Таблица 2

№ п/п	Кислота	Конц.	Обработка поверхности после травления	pH
1	H ₃ PO ₄	100 %	Не обрабатывалась	1,5
2		100 %	Через 10 минут поверхность промывалась проточной водой	5-5,5
3		100 %	Через 60 минут поверхность обрабатывалась щелочным раствором	5-5,5
4		50 %	Не обрабатывалась	3-2,5
5		20 %	Не обрабатывалась	4,5
6		10 %	Не обрабатывалась	5,5
7		10 %	Производилось повторное нанесение раствора	5
8	CH ₃ COOH	9 %	Не обрабатывалась	5

Следует отметить, что использование в качестве преобразователя ржавчины кислых растворов снижает водородный показатель (pH) на поверхности арматурных стержней. Дальнейшее использование восстановленных стержней для армирования бетона может способствовать развитию кислотной коррозии цементного камня в зоне контакта бетона с арматурой. В соответствии с требованиями ГОСТ 23732 [6] минимально допустимое значение pH для воды, используемой в приготовлении бетона, равно 4. Анализ результатов, приведенных в таблице, показывает, что этому требованию не соответствуют составы под пунктами 1 и 4.

При восстановлении защитного слоя бетона в конструкциях градирни авторами были разработаны специальные мероприятия, направленные на восстановление гидрофизических и механических характеристик основного массива бетона с одновременным повышением адгезии к нему ремонтно-восстановительных составов. Перед нанесением слоя торкрет бетона на внутреннюю поверхность оболочки градирни впервые предложена ее поверхностная обработка минеральными интегрально-капиллярными системами (ИКС). К таким материалам отечественного производства относятся: Кальматрон, Кальмофлекс, Акватрон, Гидротекс и др. Аналогами данных материалов в зарубежной практике являются Пенетрон (США), Ксайпекс (США).

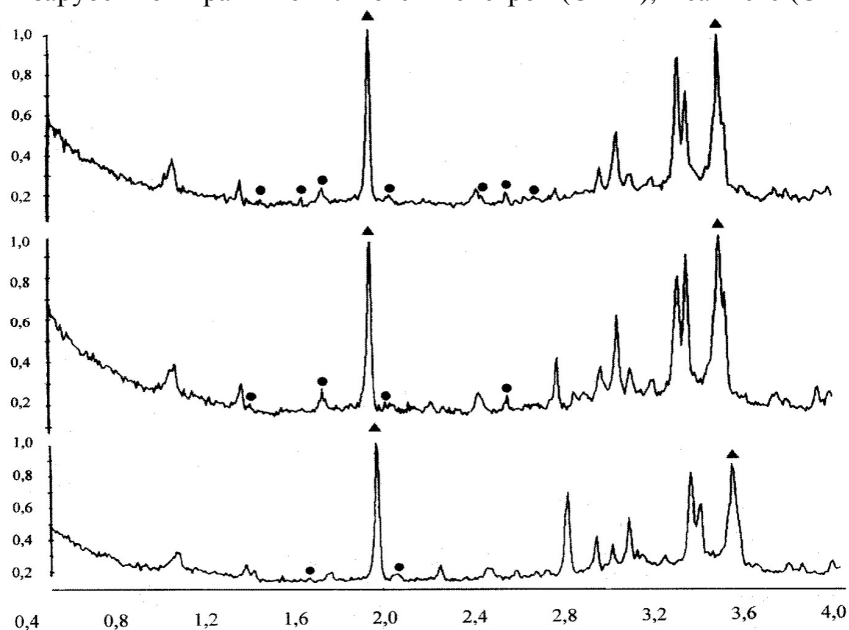


Рис. Кривые РФА образцов.

Сверху вниз: цементный камень, цементный камень 95 % – ИКС 5 %, цементный камень 90 % – ИКС 10 %. ● – CSH, ▲ – портландит

Композиции позволяют обеспечить миграцию составляющих в поры бетона с последующей их коагуляцией. При толщине таких покрытий 4-5 мм создается защита бетона конструкций в ряде агрессивных сред. Механизм их действия позволяет создать промежуточный буферный слой между подложкой и покрытием, регулировать температурно-влажностные и усадочные деформации слоев, что приводит к снижению концентрации напряжений в конкретной зоне изделий как в процессе их изготовления, так и в процессе эксплуатации [7].

С целью изучения эффективности применения ИКС при проведении ремонтно-восстановительных работ в конструкциях градирни была изучена структура цементного камня и состав образующихся гидратов в присутствии ИКС с помощью рентгенофазового анализа, результаты которого приведены на рисунке.

Как показал рентгенографический анализ в образцах цементного камня, в состав которого входит ИКС, можно выделить минеральные фазы, характерные для портландцемента и продуктов его гидратации, и минеральные фазы, входящие в состав ИКС. По мере увеличения содержания ИКС в составе портландцемента равномерно повышается содержание минеральных фаз, входящих в ее состав. Кроме того, интенсивность и характер пиков, образованных портландитом ($d = 0,4902; 0,2626$ нм), значительно снижается. Также снижается и содержание низкоосновных гидросиликатов кальция (CSH). Однако интенсивность снижения содержания CSH менее выражена по сравнению с портландитом. На образце цементного камня без ИКС отмечается высокая интенсивность и количество пиков, характерных для CSH ($d = 0,6757; 0,5924; 0,558; 0,4664; 0,3834; 0,3655; 0,3472$ нм), и чуть меньшая интенсивность и количество аналитических линий ($d = 0,7022; 0,558; 0,4717; 0,3644$ нм) на втором образце с 5 % ИКС. При введении в состав портландцемента ИКС до 10 % наблюдается наложение пиков CSH на минералы, входящие в состав ИКС ($d = 0,4664; 0,558$ нм). При этом интенсивность пиков уступает первому и второму образцу. Помимо кристаллических фаз в исследованных образцах присутствует значительное (около 35 %) количество аморфной составляющей, которая, по-видимому, представлена рентгеноаморфным двухкальциевым гидросиликатом. Анализ полученных результатов показывает, что ИКС приводит к увеличению содержания гидросиликатов кальция в составе продуктов гидратации портландцемента, что, в свою очередь, способствует увеличению прочности и коррозионной стойкости поверхности основного массива бетона.

Кроме того, ранее проведенными исследованиями [8] методом электронной микроскопии было установлено, что ИКС обуславливает меньший размер новообразований гидратированного портландцемента, более высокую скорость роста и плотность кристаллизационных контактов среди новообразований портландцемента, а также адгезионную прочность между зёрнами ИКС и новообразованиями портландцемента.

Таким образом, всестороннее изучение вопросов по восстановлению железобетонных конструкций, а также процессов, протекающих в материале при использовании принятых технологических решений, показало эффективность проводимых мероприятий по реконструкции градирен.

Список литературы

1. РД 34.22.301-88. Методические указания по проведению натурных обследований железобетонных оболочек градирен. – М.: Союзтехэнерго, 1989.
2. ГОСТ 22690-88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – М., 1991. – 19 с.
3. РД 34.22.402-94 «Типовая инструкция по приемке и эксплуатации башенных градирен».
4. Corrosion. Edited by. L.L. Shreir. Перевод с англ. – М.: Металлургия, 1981. – 632 с.
5. Фетисов Г.П., Карпман М.Г., Матюнин В.М. и др. Материаловедение и технология металлов. Учеб. для студентов машиностроит. спец. вузов / Под ред. Фетисова Г.П. 6-ое изд., доп. – М.: Высш. шк., 2008. – 877 с.
6. ГОСТ 23732-79. Вода для бетонов и растворов. Технические условия. – М., 1993. – 5 с.
7. URL: <http://www.eatu.ru/book-pub/byt/191/index.pl> (дата обращения 01.10.2011).
8. Смирнов Д.С. Разработка и расчет состава высококачественного бетона для производства блоков колец тоннеля Казанского метрополитена. Дисс. на соиск. уч. степени. канд. техн. наук. – Казань: КГАСУ, 2002. – 177 с.

Kamalova Z.A. – candidate of technical science, professor
Smirnov D.S. – candidate of technical science, associate professor
E-mail: Denis27111974@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Kazan, Zelenaiya st., 1

Research and development of measures for the restoration of concrete structures of cooling towers

Resume

The paper presents the results of surveys of Kazan CHP-2 tower. The reasons for failure of concrete structures are explored. Based on the survey the activities aimed at restoring the armatures and the main body of concrete are developed. Optimal compositions for converting rust are selected. The active component contributing to the transformation of the oxides and hydroxides of iron the phosphoric acid and acetic acid was used. Spent structures were applied as aqueous solutions and in concentrated form. In order to prevent acid corrosion of cement stone in the area of contact with armatures reconstructed surface was treated with alkaline solutions.

The experience of an integrated-capillary systems (ICS) to restore and improve the quality of concrete was studied. By X-ray diffraction method the effect of ICS on the structure formation of cement stone was studied. It is established that ICS increases content the of hydro-silicates calcium of in the hydration products of Portland cement, which, in turn, helps to increase strength and corrosion resistance of the surface of the main massif of concrete.

Electron microscopy revealed that ICS promotes the to decrease in the size of grains of new growths of hydrated Portland cement, a higher growth rate and density of crystallization contacts between grains hydrated of Portland cement, as well as the adhesion strength between new growths. A comprehensive study of the issues of reinstatement of reinforced concrete structures, and processes occurring in the material using accepted technological solutions have shown the effectiveness of interventions for reconstruction of cooling towers.

Keywords: cooling tower, reinforced concrete constructions, reconstruction of reinforced concrete structures, integrated capillary system, repair compositions.

References

1. RD 34.22.301-88. Guidelines for the conduct of field surveys of reinforced concrete shells of cooling towers. – M.: Soyuztshenergo, 1989.
2. GOST 22690-88 Concrete. Determination of the strength of mechanical methods of nondestructive testing. – M., 1991. – 19 p.
3. RD 34.22.402-94 «Instruction for use of tower cooling towers».
4. Corrosion. Edited by. L.L. Shreir. Translated from English. – Moscow: Metallurgiya, 1981. – 632 p.
5. Fetisov G.P., Karpman M.G., Matyunin V. and other, Materials Science and Technology of metals. Textbook. for students engineering. specials. universities / Ed. Fetisov, GP 2nd ed., Ext. – M.: Higher school, 2008. – 877 p.
6. GOST 23732-79. Water for concrete and mortar. Technical specifications. – M., 1993. – 5 p.
7. URL: <http://www.eatu.ru/book-pub/byt/191/index.pl> (date accessed 10.01.2011).
8. Smirnov D.S., Design and calculation of high-quality concrete blocks for the production of rings for tunnel Kazan underground. diss. on comp. science degree. cand. of tech. sci. – Kazan: KGASU, 2002. – 177 p.