

УДК 528.482

## СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

### STRATE OF STRUCTURE OF HEAT-AND-POWER OBJECTS MONITORING SYSTEM

---



#### Рубцов И.В./ Rubtsov I.V.

кандидат технических наук, доцент, член-корреспондент Российской Инженерной Академии, зав. кафедрой «Инженерная геодезия» МГСУ, почётный работник высшего профессионального образования РФ, член совета по инновациям НОСТРОЙ. Научный руководитель научно-исследовательской и проектно-производственной лаборатории «Проектирование и Конструирование» (НИиППЛ «ПиК») МГСУ / Candidate of Tech.Sci.e, associate professor, corresponding member of Russian Engineering Academy, Chair of the "Engineering Geodesy" MGSU, Honorary Worker of Higher Professional Education of Russia, member of the council on innovation "Nostroy". Is the supervisor of the research, design and production laboratory "Design and Construction" (NIiPPL "PIC") MGSU

Email: [geodesy@mgsu.ru](mailto:geodesy@mgsu.ru)

#### Верминская Т.А. /Verminskaya T.A.

Аспирант кафедры "Инженерная геодезия"/ Post-graduate student of chair "Engineering geodesy"

Email: [geodesy@mgsu.ru](mailto:geodesy@mgsu.ru)

**Аннотация.** В статье изложена структура системы мониторинга зданий и сооружений теплоэнергетических объектов. Приведены ссылки на нормативную документацию. Расшифрованы, уточнены и расширены некоторые положения этих документов. Изложена организация мониторинга с конкретными примерами и указаниями. Приведен обоснованный перечень наиболее часто встречающихся дефектов и причин их возникновения. Даны сведения по прогнозу зарождения чрезвычайной ситуации и декларируемой надежности сооружений.

**Ключевые слова:** мониторинг, диагностика, мониторинг, конструкция,

классификация, обследование, информация, отчет, программа, эксплуатация, заключение.

**Abstract.** In the article the structure of the monitoring system of heat-and-power engineering buildings and constructions is set forth. References to normative documents are cited. Some propositions of these documents are deciphered, specified and expanded. Organization of monitoring with concrete examples and instructions is stated. A well-grounded list of the most widespread defects and the reasons of their origin are given. Information on the forecast an emergency situation origin and guaranteed structure reliability are cited.

**Keywords:** monitoring, diagnosis, construction, classification, survey, information, report, program, maintenance, conclusion.



Мониторинг состояния строительного сооружения начинается с анализа проектных решений. Основным элементом экспертной системы является база данных, которая содержит информацию о «дереве» состояний объекта в виде иерархической последовательности возведения групп однотипных конструкций несущего каркаса. «Дерево» состояния является управляющим механизмом регламента для сбора информации [5].

Регламент экспертных работ определяется «деревом» состояний объекта и перечнем конструкций и их параметров, ответственных за безопасность объектов.

Для проведения экспертизы состояния строительных конструкций необходимо провести подготовительный этап работ, включающий:

- подбор и изучение проектной, исполнительной и эксплуатационной документации;
- определение возможности контроля несущих и ограждающих конструкций и способов обеспечения непосредственного доступа к ним;
- разработку технической программы мониторинга конструкций;
- подготовку рабочих мест, обеспечивающих непосредственный доступ к конструкциям;
- подготовку средств мониторинга конструкций;
- подготовку карты повреждений и дефектов.

Анализ проектной документации позволяет установить объемно-планировочные и конструктивные особенности объекта, расчетные схемы, нагрузки и воздействия, проектные марки бетона, кирпича и раствора, классы и марки стали арматурных стержней, стальных конструкций и деталей, виды использованных отделочных, гидро- и теплоизоляционных материалов, антикоррозионных покрытий и др.

Исполнительная документация включает в себя заводские сертификаты и паспорта на поставленные строительные материалы и конструкции, акты приемки

выполненных работ, документы о согласовании допущенных отступлений от проекта. Исполнительная документация позволяет получить информацию о соответствии (несоответствии) использованных конструкций при строительстве объекта проектным данным, о смещениях и отклонениях конструкций от разбивочных осей, о качестве строительных и монтажных работ.

Эксплуатационная документация позволяет получить информацию о выявленных в процессе эксплуатации дефектах, о перемещениях и осадке несущих конструкций, о проведенных ремонтах, усилениях и заменах.

На основании полученной информации при изучении проектной, исполнительной и эксплуатационной документации и при ознакомлении с объектом мониторинга разрабатывается техническая программа мониторинга. В программе устанавливаются номенклатура и количество зданий (сооружений) или их составных частей (очередей строительства, отделений, секций, конструкций, участков и т.д.), техническое состояние которых подлежит определению, устанавливаются количество и место расположения конструкций, изделий, участков и их сечений, намеченных для поиска дефектов, методы и объемы предстоящих проверок и контроля. В программе указываются средства мониторинга и технические средства обеспечения непосредственного доступа к конструкциям.

### Структура системы мониторинга

Организационная структура и методология контроля дирекцией тепловой станции качества строительно-монтажных работ во многом зависит от следующих факторов:

- изменения в России статуса нормативных документов в соответствии с "Законом о техническом регулировании", вступившим в силу с 1 июля 2003 г.;
- изменения современной номенклатуры методов и приборов для испытания



строительных материалов, изделий, конструкций и контроля строительно-монтажных работ;

- одобрения Концепции федеральной системы мониторинга критически важных объектов и (или) потенциально опасных объектов инфраструктуры Российской Федерации и опасных грузов (Распоряжение Правительства РФ № 1314-р от 27.08.2005г.).

В соответствии с "Законом о техническом регулировании" с 1 июля 2010 г. действовавшие ранее обязательные нормативные документы приобретают статус рекомендательных и единственным видом обязательных документов становятся "Технические регламенты". В настоящее время на государственном уровне Технические регламенты в строительстве в стадии разработки.

Период с 1 июля 2003 г. до 1 июля 2010 г. являлся переходным. В это время действовали различные нормативные технические документы: ГОСТ, СНиП, технические регламенты, национальные стандарты и т.д., но они подлежат обязательному исполнению только в определенной части, связанной с:

- защитой жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;
- охраной окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений;
- предупреждением действий, вводящих в заблуждение приобретателей.

Следует обратить внимание на то, что с 1 мая 2009г. вступил в силу федеральный закон от 22 июля 2008 №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и с 01 июля 2010г. вступил в силу федеральный закон от 30 декабря 2009г. №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

В то же время, в соответствии с действующим законодательством любой нормативный документ становится обязательным к применению в контрактных

условиях, то есть, когда он указан в контракте (договоре) или, например, в ведомственном нормативном документе, регламентирующем данный вид деятельности.

В связи с этим в контрактах и руководящих документах по контролю качества строительно-монтажных работ конкретных ТЭС должны быть ссылки на соответствующие действующие нормативные документы. Это обеспечит обязательность выполнения этих нормативных требований.

В соответствии со Статьей 4 "Закона о техническом регулировании" установлен приоритет международных документов перед национальными. В связи с этим при испытаниях строительных материалов, изделий, конструкций и контроле строительно-монтажных работ должны учитываться требования документов ИСО (ISO) или ИСО/МЭК (ISO/IEC) и Еврокодов (EN).

Система мониторинга должна, прежде всего, являться информационной поддержкой разработки мер по своевременному прогнозированию, выявлению и предупреждению аварийных ситуаций в отношении зданий, сооружений и систем ТЭС.

Система мониторинга предполагает различные уровни управления. Основными элементами системы должны стать центры системного и оперативного управления мониторинга. Одним из структурных звеньев системы, обеспечивающими решение возложенной на нее задачи технического надзора заказчика, должны стать службы мониторинга на ТЭС, созданные при управлениях (УКС) или отделах (ОКС) капитального строительства дирекций ТЭС.

При решении возложенной на систему мониторинга задачи должна быть предусмотрена регламентированная возможность информационного взаимодействия центров мониторинга различных уровней.

Основными направлениями работ в области создания, использования и развития системы мониторинга являются:



- а. организационное и финансово-экономическое обеспечение системы мониторинга;
- б. совершенствование нормативно-правовой базы;
- в. создание и внедрение перспективных научно-технических разработок;
- г. обеспечение безопасной эксплуатации зданий и сооружений.

### **Организация мониторинга строительных конструкций ТЭС в процессе эксплуатации**

Мониторинг представляет собой постоянное наблюдение за техническим состоянием зданий и сооружений, а также отдельных строительных конструкций тепловых электростанций, в течение всего срока их службы с целью своевременного выявления в них дефектов, их устранения и устранения вызвавших эти дефекты причин. В общем случае в процессе осуществления мониторинга проводятся: визуальные наблюдения, инструментальные измерения, испытания, поверочные расчеты и необходимые, в ряде случаев, экспериментальные исследования. Периодичность и конкретные методы проведения наблюдений зависят от технологического назначения зданий и сооружений, типа строительных конструкций, вида материала, из которого они изготовлены, характера оказываемых на них технологических и природных воздействий, их технического состояния на момент проведения наблюдения и т.п.

В зависимости от степени опасности, которая может возникнуть при разрушении или выходе из эксплуатационного режима тех или иных зданий и сооружений станции или их элементов, должна быть определена номенклатура объектов и элементов, подлежащих мониторингу.

При наблюдении за состоянием зданий и сооружений определяются общее состояние несущих и ограждающих конструкций в целом, осадки зданий и сооружений, появление значительных деформаций и крупных трещин, а также состояние отдельных элементов (степень их коррозии, наличие локальных повреждений

и трещин, протечек и т.п.). При этом используются как визуальные методы для обнаружения, например, трещин, так и инструментальные - для измерения осадок, перемещений, деформаций, роста и расположения трещин и т.п. Одновременно целесообразно проводить измерения параметров окружающей среды, таких как температура, влажность, содержание в воздухе углекислого газа и т.д.

При наблюдении за состоянием отдельных конструкций и их элементов обычно используются неразрушающие методы или локально-разрушающие методы (геодезические, склерометрические, ультразвуковые, исследование тепловых потоков, выбуривание кернов, химические пробы и т.п.).

На основании информации о техническом состоянии зданий и сооружений должны быть составлены или пересмотрены (если они имеются) технические паспорта на объекты в целом и входящие в них отдельные здания и сооружения, а при необходимости, и на отдельные конструктивы (например, фундаменты под турбогенераторы).

При обнаружении в процессе мониторинга тех или иных несоответствий в состоянии строительных конструкций и/или их элементов, в ряде случаев необходимо проводить лабораторные исследования на отобранных из них образцах.

Для проведения лабораторных исследований необходимо либо наличие специального оборудования на ТЭС, либо привлечение сторонних специализированных лабораторий. Специализированные лаборатории будут также необходимы и при проведении исследований, связанных с выяснением степени влияния того или иного фактора на состояние конструкции или целесообразности применения того или иного способа устранения возникшего дефекта. Перечень опасных дефектов конструкций несущего каркаса объектов приведен в табл.2.

Основной причиной, вызывающей необходимость проведения мониторинга, является «старение» зданий и сооружений,



происходящее в связи с воздействием на них в процессе эксплуатации ряда факторов:

- естественное старение материалов, приводящее к изменению во времени их структуры и, соответственно, их технических свойств;
- силовые воздействия от долговременно действующей статической или динамической нагрузки;
- техногенные воздействия от производственной среды, оборудования и систем электростанции в процессе ее

- эксплуатации;
- воздействие окружающей среды, включая атмосферные воздействия;
  - геологические и гидрогеологические воздействия на основания зданий и сооружений;
  - воздействия человеческого фактора, связанные с неправильной эксплуатацией зданий и сооружений, различного рода перестройками и реконструкции.

Таблица 2

Перечень опасных дефектов конструкций несущего каркаса объекта

<b>ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСНОВАНИЕ</b>	
1.	Полное замачивание грунта основания на глубину более 0,5м
2.	Замачивание просадочных, набухающих и элювиальных неводонасыщенных грунтов основания до степени влажности более 50%
3.	Промораживание водонасыщенных грунтов под подошвой фундамента на глубину более 3см
4.	Промораживание элювиальных пучинистых грунтов основания и переход основания в зиму без утепления
<b>СВАЙНОЕ ОСНОВАНИЕ</b>	
1.	Отсутствие зазора под подошвой ростверка при пучинистых грунтах
2.	Сквозные вертикальные трещины в ростверке
<b>ФУНДАМЕНТЫ И СТЕНЫ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ИЗ БЛОКОВ</b>	
1.	Сквозные вертикальные трещины в цоколе
2.	Повреждения и разрушения блоков
<b>СБОРНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ</b>	
1.	Диагональные трещины по углам ж/б стеновых панелей
2.	Вертикальные трещины в стыках, местах установки балконных плит, перемычек
3.	Ненормативные смещения колонн от вертикали
4.	Смещения ж/б панелей, трещины в них, разрушения узлов крепления
5.	Глубокие поперечные трещины в плитах перекрытия с оголением арматуры, заметный прогиб плит
6.	Трещины на опорных участках плит перекрытия
<b>КОНСТРУКЦИИ ИЗ КАМНЯ, КИРПИЧА И БЛОКОВ</b>	
1.	Вертикальные трещины в колоннах, простенках
2.	Разрушение и расслоение кладки, нарушение связи отдельных участков кладки, следы увлажнения стен
<b>КОНСТРУКЦИИ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА</b>	
1.	Трещины в различных направлениях в растянутой зоне конструкции
2.	Следы постоянного увлажнения бетона атмосферными и агрессивными водами
3.	Оголение и сильная коррозия арматуры, разрывы арматуры
4.	Крупные выбоины и сколы бетона в сжатой зоне конструкции
5.	Низкая прочность бетона в сжатой зоне конструкции
<b>КОНСТРУКЦИИ ИЗ МЕТАЛЛА</b>	
1.	Наличие пятен язвенной коррозии металла
2.	Заметные деформации конструкции
3.	Разрушения стыков, отсутствие креплений
4.	Выбоины и отбитые места со сквозными трещинами
5.	Наличие трещин усталостного характера
6.	Несоответствие класса стали проекту, зыбкость конструкции

Старение характерно для всех искусственных материалов,

структурообразование которых не закончилось с окончанием технологического



процесса их производства. Образно говоря, их жизнь только началась и до зрелого возраста им еще далеко. В то же время при проектировании строительных конструкций, как правило, для такого рода материалов принимаются во внимание технические и эксплуатационные свойства, которые соответствуют их молодому возрасту. С течением времени свойства материала постепенно меняются и перестают отвечать принятым при проектировании задолго до прекращения эксплуатации сооружения.

Стареющие материалы — это, в первую очередь, гидроизоляционные и другие полимерные материалы, включая резину. Их старение связано с продолжающимися во времени процессом полимеризации, в результате которого материалы охрупчиваются, т.е. теряют свою эластичность и прочность при растяжении. В связи с этим они перестают выполнять свои функции и требуют замены задолго до конца эксплуатации всего здания или сооружения. Примером может служить выход из строя внешней гидроизоляции фундаментов БНС (блочная насосная станция), а также уплотнителей между блоками стеклопрофилита в конструкции естественного освещения главного корпуса.

Цементные бетоны при благоприятных условиях эксплуатации не стареют и даже несколько увеличивают прочность. Однако при агрессивных воздействиях старение бетона может быть значительным.

Длительные силовые воздействия — это, в первую очередь, собственный вес строительных конструкций, вес и вибрационное воздействие установленного оборудования.

Под воздействием длительно действующей статической или, в особенности, динамической нагрузки в бетоне и каменных материалах происходит рост и развитие начальных дефектов структуры, таких как микротрещины, а также миграция влаги, содержащейся в порах и трещинах. Внешне этот процесс проявляется в виде так называемой ползучести, т. е. постоянно увеличивающейся деформации материала

при некотором снижении его прочности. Оба эти явления, вообще говоря, учитываются при расчете бетонных и железобетонных конструкций строительными нормами и правилами (СНиП). Однако при различного рода неблагоприятных условиях ползучесть и снижение длительной прочности могут достигнуть таких значений, которые, в свою очередь, могут привести либо к выходу из строя сооружения, либо даже к аварии.

Примером неблагоприятного проявления воздействия длительно действующих статических и динамических нагрузок является раскрытие и развитие температурно-усадочных трещин в бетоне фундаментов под турбогенераторами, что приводит к снижению жесткости фундамента.

Из техногенных воздействий помимо механических следует учитывать температурные, циклическое увлажнение и высушивание, воздействие химически агрессивной среды, постоянно контактирующей с поверхностью строительных конструкций и проникающей внутрь материала.

Отрицательные результаты такого рода воздействий на материал строительных конструкций не всегда в должной мере учитываются при проектировании производственных зданий и сооружений. В то же время они могут приводить к деструкции материала конструкций, снижению его расчетных характеристик. Это, в свою очередь, приводит к внеплановым капитальным ремонтам или даже к преждевременному (нерасчетному) выходу строительных конструкций из строя. Так, например, удаление влаги из пор и микротрещин бетона под воздействием высоких температур приводит к снижению его прочности и способствует развитию микротрещин, а различного рода присадки, имеющиеся в нефтепродуктах, разрушают цементный камень и значительно снижают длительную и усталостную прочность бетонных и железобетонных конструкций.

Воздействие окружающей среды — это, в первую очередь, климатические факторы, а также передающиеся через



атмосферу продукты жизнедеятельности ТЭС, такие, например, как продукты горения топлива в виде углекислоты и серной кислоты. Основным последствием атмосферного воздействия является коррозия стальных конструкций и морозные повреждения бетонных, железобетонных и каменных конструкций. Последствием повышенного содержания в атмосфере углекислоты и серной кислоты является коррозия поверхностных слоев бетона, снижение рН (водородный показатель) в бетоне и потеря им одной из своих функций — защиты арматуры от коррозии.

Несвоевременное принятие мер по защите строительных конструкций от неблагоприятного воздействия окружающей среды впоследствии приводит к значительным затратам на капитальный ремонт и даже к полному выходу из строя отдельных конструкций и их элементов. Это характерно для случая коррозии стальных конструкций и их сварных соединений, особо подверженных воздействию атмосферной влаги.

Геологические и гидрогеологические факторы воздействуют на здания и сооружения через их основания. К геологическим факторам следует отнести подвижки и просадку грунтов под зданиями и сооружениями. Они обычно приводят к появлению в фундаментах и стенах зданий значительных по длине и раскрытию *магистральных трещин*, а также к *смещениям и поворотам как сооружений* в целом, так и отдельных их элементов. Гидрогеологические факторы — это, как правило, изменение *уровня грунтовых вод*, как в сторону его повышения, так и понижения. Повышение, обычно, приводит к подтоплению фундаментов, подвальных помещений и даже первых этажей зданий. Понижение же может привести к просадкам грунтов с соответствующими последствиями для стоящих на них зданий и сооружений.

Причиной проявления геологических и гидрогеологических факторов в большинстве случаев является недостаточно продуманная деятельность человека, например, рытье котлованов, вблизи

существующих зданий и сооружений или прорезание фундаментными частями зданий и сооружений естественных горизонтов подземных вод и русел подземных рек и ручьев. Устранение последствий такой деятельности, как правило, бывает довольно дорогостоящим и не всегда приводит к нужным результатам. Воздействие человеческого фактора связано с неправильной эксплуатацией зданий и сооружений, а также с различного рода перестройками и реконструкциями, проводимыми, часто, без учета расчетной схемы строительных конструкций, условий их работы и особенностей материала, из которого они изготовлены. Человеческий фактор также связан с непреднамеренными ошибками при проектировании строительных конструкций и недостаточно высоким качеством их изготовления и монтажа.

Нередки случаи, когда человеческий фактор приводил к тяжелым авариям, связанным с обрушением конструкций. Например, известны случаи, когда для удобства прокладки коммуникаций (трубопроводов) по незнанию разрушались несущие элементы конструкций, или к элементам конструкций, на это не рассчитанным, подвешивались грузоподъемные механизмы (тали, лебедки и т. п.). Особая опасность здесь состоит в том, что из-за наличия достаточно больших коэффициентов запаса при проектировании, авария, как правило, происходит не сразу, а через некоторое время, когда к данному фактору добавляется еще какой-то. Таким образом, проявляется как бы фактор внезапности и кажущейся непредсказуемости.

Все перечисленные выше группы факторов воздействуют на строительные конструкции зданий и сооружений, как правило, в определенной совокупности, усиливая при этом друг друга. Так, например, развитию начальных микротрещин в бетоне способствуют как силовые, так и техногенные факторы. Развитие же микротрещин не только ведет к снижению длительной и усталостной прочности бетонных и железобетонных



конструкций, но также снижает морозостойкость и водонепроницаемость бетона и способствует проникновению в него углекислоты и серной кислоты, снижающих его антикоррозионные свойства в отношении арматуры. Человеческий фактор, проявляющийся как в виде неправильной эксплуатации, так и отсутствии надлежащего мониторинга за состоянием строительных конструкций зачастую не только не противостоит неблагоприятным природным и техногенным воздействиям, но и в ряде случаев способствует им.

### **Прогнозирование остаточного ресурса строительных конструкций**

Ключевым в области долговечности строительных конструкций является вопрос о прогнозировании долговечности и расчете их службы.

Статистика показывает, что в ~80% случаев строительных аварий с обрушением несущих конструкций объекта происходит в результате человеческих ошибок, допущенных при проектировании, возведении и эксплуатации зданий и сооружений. Эти ошибки формируют внутренний (объектный) риск аварии, от величины которого зависит не только срок службы (ресурс) объекта, но и размер ущерба в случае его аварии.

Для строительной продукции (зданий и сооружений) основным видом безопасности является конструкционная, характеризующая способность несущего каркаса объекта сопротивляться проектным нагрузкам и перегрузкам в чрезвычайных ситуациях и, трактуемая как отсутствие в нем недопустимого риска аварии. Уровень конструкционной безопасности считается достаточным, если фактический риск аварии объекта находится в области приемлемых значений. Границами такой области служат два стандартных значения риска: нормальное, являющееся допустимым значением риска аварии для новых (строящихся) зданий (сооружений), и предельно-допустимое значение, при достижении которого на объекте, находящемся в эксплуатации, следует

произвести ремонтные работы с целью снижения риска аварии и продления его безопасного ресурса. Существует и третье стандартное значение риска авария — предельное, при достижении которого физический (конструкционный) износ объекта становится предельным, а способность несущего каркаса сопротивляться действующим нагрузкам практически исчерпывается.

В настоящее время не существует единой методики прогнозирования долговечности и расчета срока службы конструкций из бетона, железобетона и металлических конструкций, несмотря на значительное количество работ, проведенных в этом направлении. Это связано и с тем, что эти методики не учитывают огромное количество силовых и не силовых воздействий, воздействий коррозионных сред и их сочетаний.

Развитие и применение инженерных методик расчета риска аварии и безопасного остаточного ресурса зданий и сооружений тесно связаны с процедурами оценки и регулирования уровня конструкционной безопасности строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений. Эти методики должны позволять:

- отнести техническое состояние исследуемого объекта к одному из трех возможных;
- определять вклад каждой группы конструкций несущего каркаса в величину риска аварии исследуемого объекта;
- рассчитать безопасный остаточный ресурс объекта и сделать прогноз промежутка времени эксплуатации, по истечению которого на этом объекте необходимо произвести мероприятия по снижению риска аварии.

Как было сказано ранее, расчетный срок эксплуатации многих ответственных железобетонных сооружений составляет 35-50 лет. При определении расчетного срока, как правило, учитывают условия эксплуатации сооружения, включая воздействия окружающей среды и техногенные воздействия. Наиболее



достоверные данные по состоянию строительных конструкций могут быть получены при обследовании существующих сооружений.

Рассмотрим некоторые результаты обследования железобетонных сооружений АЭС, выполненные институтом "Оргэнергострой". Возраст сооружения на момент обследования превышал 17 лет, т.е., примерно, половину расчетного срока службы. Сооружение находится в климатической зоне с высокой температурой воздуха (до +46 °С), небольшим количеством осадков (до 274 мм/год), но с высокой относительной влажностью (до 93 %). В воздухе содержатся аэрозоли, обеспечивающие выпадение на поверхность бетона до 300 мг/м<sup>2</sup> в день хлоридов и 20 мг/м<sup>2</sup> в день сульфатов. Подземные воды сульфатно-хлоридные.

При отборе из этого сооружения кернов было обнаружено, что прилегающая к поверхности конструкции часть керна на глубину от 10 до 130 мм имеет белый цвет, а остальная - почти черный. При извлечении керна ощущался достаточно сильный запах сероводорода. По мере высыхания темная часть керна меняла цвет, который переходил сначала в светлый сине-голубой, а затем становился почти белым.

Глубина белой зоны бетона была различна для элементов конструкций, имевших защитное покрытие и не имевших его. Так, для конструкций, имевших эпоксидное покрытие, она составляла 10-40 мм, а не имевших - 40 -130 мм. Фенолфталеиновая проба показала, что бетон во многом ряде случаев был нейтрализован на глубину до 30 – 60 мм от поверхности.

Исследование темной части кернов показало, что в ней имеются серосодержащие продукты жизнедеятельности микроорганизмов, попавших в бетон с заполнителями.

Однако, механические испытания выбуренных кернов показали, что биологическое воздействие не привело к заметному снижению прочности бетона. Наоборот, снижение прочности имело место

в белой зоне, где происходила глубокая карбонизация бетона. При этом статическая прочность не снизилась, а усталостная упала в 33-1000 раз. Поскольку происходившие процессы приводили к разрыхлению структуры цементного камня в поверхностных слоях бетона, то это было эквивалентно снижению содержания цементного камня, а в литературе описан эффект резкого падения прочности бетона при динамическом и многоцикловом нагружении при недостатке цементного камня.

Механизм разрушения карбонизированного бетона при многоцикловом разрушении можно представить следующим образом. При циклическом нагружении бетона, в результате плохой связи поверхности крупного заполнителя с матрицей, некоторые его зерна начинают вращаться. Это подтверждается выявленными с помощью сканирующего электронного микроскопа на поверхности кристаллов кальцита элементами трансляционного скольжения и двойникования, возникшими, по-видимому, под воздействием внешних усилий при нагружении образцов. Вращение зерен крупного заполнителя создает в контактном слое раскалывающие напряжения, приводящие к возникновению в нем трещин, переходящих затем в матрицу. Такого рода механизм разрушения бетона достаточно хорошо описан в известных работах по механике разрушения бетона и естественных каменных материалов.

Таким образом, причиной практически нулевой усталостной прочности сильно карбонизированного бетона явилось нарушение сцепления цементного камня с зернами крупного заполнителя. Оно стало возможным в результате воздействия внешней среды с высоким содержанием сульфатов в воздухе на бетон, изготовленный на шлакопортландцементе с низким содержанием клинкерной составляющей, что привело к сульфатной коррозии III типа. Здесь следует отметить, что Российскими стандартами применение



шлакопортландцемента для такого рода сооружений запрещено.

Внутренней коррозии бетона способствует и минералогический состав его крупного заполнителя, включающий халцедон, слюдистые минералы, а также содержащие сульфатный ион алунит и араканит. Подобный минералогический состав заполнителей не рекомендован Российскими стандартами для применения в бетоне.

Предотвращение дальнейшего развития коррозии бетона может быть достигнуто путем нанесения эффективного

защитного изолирующего покрытия на всю бетонную поверхность сооружения.

### Повышение долговечности строительных конструкций ТЭС

Учитывая, что строительному фонду страны в настоящее время 50...70 лет и около 70...80% зданий и сооружений требует капитального ремонта, рассматриваются предложения по делению зданий и сооружений на 5 классов капитальности (табл.3) [4]:

Таблица 3

Классы зданий и сооружений по их значимости

Классы	Надежность зданий и сооружений	Виды сооружений
I	0,997	Уникальные здания и сооружения, гидростанции, телебашни и др.
II	0,98	Жилые здания этажностью более 5-ти этажей и крупные производственные здания
III	0,95	Многоэтажные жилые здания и производственные здания, не связанные с химическими, нефтехимическими и другими производствами
IV	0,95	Временные здания сроком до 20 лет
V	0,90	То же, на период до 2...3 лет

Если класс определяется надежностью здания и сооружения, то в зависимости от класса должна устанавливаться периодичность обследований и ремонтов с учетом агрессивности воздействий.

Это требует создания и применения долговечных материалов, с использованием которых можно не только восстановить здания и сооружения до начального уровня, но и значительно повысить качество отдельных конструкций, зданий и сооружений. Несмотря на значительные

достижения в теории надежности, вероятностные методы расчета строительных конструкций все еще медленно внедряются в практику из-за отсутствия в справочной и нормативной литературе данных по распределению физико-механических характеристик строительных материалов и элементов, ограниченности данных о нагрузках и выходе из строя зданий и сооружений, а также недостаточностью разработанности в методическом отношении техники расчета на надежность.



В целом, повышение долговечности строительных конструкций представляет многоплановую задачу, для решения которой привлекаются многие разделы строительной науки, а, учитывая большое количество факторов, влияющих на достоверность получаемых результатов, прогноз срока службы зданий и сооружений представляет сложную задачу.

Основная цель мониторинга состоит в предупреждении возможных последствий от воздействия на здания и сооружения ТЭС и составляющих их строительных конструкций различного рода неблагоприятных факторов и, таким образом, в продлении срока надежной эксплуатации и предотвращении возможных аварий связанных с преждевременным выходом из строя.

При обнаружении дефектов, серьезность которых ставит вопрос о возможности дальнейшего использования данной строительной конструкции или ее элемента, возникает необходимость в проведении проверочных расчетов с использованием современных компьютерных программ.

Мониторинг строительных конструкций тепловых электростанций должны осуществлять специализированные подразделения, входящие в отдельную Службу мониторинга. Подразделения службы мониторинга должны быть укомплектованы высококвалифицированными специалистами, понимающими работу строительных конструкций и, в частности, знающими специфику тепловых электростанций. Эти специалисты должны уметь проводить визуальное и инструментальное обследование строительных конструкций, обрабатывать и анализировать результаты обследования и принимать грамотные и ответственные решения.

Учитывая дефицит специалистов такого профиля целесообразно создать систему мониторинга, в которой постановка задач, научно-методическое руководство мониторингом, разработка и ведение базы данных по состоянию строительных

конструкций ТЭС и решение наиболее сложных задач обследования и ремонта можно возложить на специализированную организацию, например, Инженерный центр ЕЭС, а текущее наблюдение - на штатный персонал ТЭС.

Поскольку в настоящее время не существует учебных заведений (и даже кафедр), готовящих специалистов, необходимых для ведения мониторинга строительных конструкций станций, то необходимо организовать их специальную подготовку путем обучения соответствующего эксплуатационного персонала ТЭС по специально разработанным программам.

Для осуществления инструментальной части мониторинга должна быть разработана номенклатура специализированных нормокомплектов средств контроля и измерения, отвечающая специфическим требованиям отдельных объектов контроля и включающая, как стандартные, так и специально разработанные для этой цели приборы и приспособления.

Учитывая значительные размеры зданий и сооружения станций, для обеспечения подхода к отдельным строительным конструкциям и их элементам при проведении, как инструментальной, так и визуальной части мониторинга необходим монтаж специальных устройств (подмостей, люлек и т.п.).

Подразделения, осуществляющие мониторинг, должны быть укомплектованы необходимой нормативной документацией по всем вопросам их деятельности. Учитывая специфику круга задач, решаемых в процессе проведения мониторинга, возникает необходимость в разработке целого ряда отраслевых нормативных документов, как технического, так и организационного плана, регламентирующие эту деятельность. В первую очередь следует разработать Положение о Службе мониторинга и технические регламенты осуществления мониторинга, включая перечень контролируемых конструкций и элементов, номенклатуру контролируемых



характеристик, периодичность контроля, используемые методики и средства контроля.

Перечень отраслевых нормативных документов по мониторингу строительных конструкций стареющих ТЭС, подлежащие

первоочередной разработке приведен в табл.4 (СТО – стандарт организации (руководящий документ), И – инструкция; ОТП – обязательные технологические правила).

Таблица 4

Наименование документа	Тип документа
Положение о Службе мониторинга строительных конструкций стареющих ТЭС	СТО
Руководство по мониторингу строительных конструкций стареющих ТЭС	СТО
Инструкция по дефектоскопии и другим специальным методам контроля строительных конструкций стареющих ТЭС	И
Правила ремонта и восстановления несущих конструкций стареющих ТЭС	ОТП
Правила ремонта и восстановления ограждающих конструкций стареющих ТЭС	ОТП
Правила ремонта и восстановления теплоизоляции, гидроизоляции и антикоррозионных покрытий стареющих ТЭС	ОТП

В связи с необходимостью принятия экстренных мер по предотвращению разрушений строительных конструкций зданий и сооружений ТЭС решению вышеперечисленных задач должен быть присвоен статус важнейших. Поскольку Инженерный Центр ЕЭС и входящие в него филиалы, обладают огромным опытом по проектированию и разработке руководящих документов, а также являются обладателями архивов проектно-сметной документации, которые на многих станциях утеряны, либо разукрупнены, предлагается на базе структур Инженерного Центра ЕЭС, с привлечением профильных организаций, организовать региональный специализированный Центр мониторинга состояния зданий и сооружений тепловых электростанций.

Основным направлением деятельности специализированного центра мониторинга является создание и внедрение научно-технических разработок с целью повышения надежности эксплуатации зданий и сооружений:

- подготовка и внедрение технических регламентов ;

- обработка технических и организационных решений создания и использования системы мониторинга;
- разработка единой системы критериев и комплексных методик анализа обобщенных параметров безопасного состояния зданий и сооружений;
- обеспечение информационного обмена между центрами мониторинга различных уровней;
- создание в рамках системы мониторинга специализированных средств сбора и передачи информации;
- развитие систем дистанционного мониторинга;
- создание мобильных (перебазируемых) центров мониторинга, обеспечивающих информационную поддержку деятельности, осуществляемой при возникновении аварийных ситуаций;
- формирование отечественной научно-технической кооперации в области создания и использования системы мониторинга, в том числе определение головных организаций, объединяющих разработчиков и производителей технических систем, комплексов и средств мониторинга, а также самой системы мониторинга;



- организация подготовки кадров в области создания, использования и обеспечения безопасной эксплуатации зданий и сооружений при осуществлении мониторинга.

Центр мониторинга должен иметь систему каналов связи с ТЭС, включая каналы измерительных систем, позволяющих собирать и обрабатывать информацию в независимости от удаленности объекта, с возможностью привлечения еще сохранившихся в России высококлассных специалистов, возраст которых не позволяет им непрерывно находиться в командировках.

### Литература

1. А.Ф. Дьяков и Ю.Л. Израилев Живучесть стареющих тепловых электростанций – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000.
2. РВСН (ТСН) 20-303-2006 Защита строительных конструкций, зданий и сооружений от агрессивных химических и биологических воздействий окружающей среды. Санкт-Петербург
3. РД 153-34.0-20.605-2002 Отраслевая система индивидуального мониторинга повреждения ответственных элементов оборудования, зданий и сооружений региональных центров «Живучесть стареющих ТЭС»
4. А.В. Ферронская Долговечность конструкций из бетона и железобетона. Учебное пособие- М.:Изд-во АСВ, 2006.
5. А.П. Мельчаков Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов (Теория, методики и инженерные приложения): Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006.
6. В.Е. Гордиенко Ресурс и надежность строительных металлических конструкций в условиях воздействия коррозионных сред. – СПб.: СПбГАСУ, 2006.
7. Valery A. Dorf, Nicolay M. Vasiliev, Rostislav O. Krasnovsky and Oleg V. Smirnov Influence of aggressive environmental factors on concrete short-term and long-term strength under static and cyclic loading. "International RILEM-JCI Seminar on Concrete Durability and Service Life Planning Concrete Life'06, 14-16 March 2006, Ein-Bokek, Dead Sea, Israel".

© Рубцов И.В., Верминская Т.А., 2011