

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Градирни с естественной тягой с выпуском дымовых газов

Е. Айзенкрайн¹, К. Котц-Полльклэзенер², Б. Миддендорф³

ZERNA Baumanagement GmbH, 162 Lennerhofstraße, Bochum Deutschland 44801.

Информация о статье

УДК 69.058.2

История

Подана в редакцию 21 июля 2015

Ключевые слова

концепция технологии защиты сооружений,
подробная разработка рабочего процесса,
контроль качества,
внутренний контроль,
квалифицированный внешний контроль,
квалификация персонала

АННОТАЦИЯ

По истечении почти 20 лет, в течение которых в градирни подавались дымовые газы, покрытия на основе эпоксидного клея, широко распространенные в прошлом, уже не в состоянии обеспечить надлежащую защиту внутренних бетонных поверхностей. Даже на поверхностях, где за последние 10 лет покрытие было обновлено, стали видны следы разрушений, что привело к необходимости нанесения дополнительных покрытий. С этой целью были проведены соответствующие исследования и поставлены задачи по поиску новых решений для армирования защитного покрытия градирен, которые смогли бы обеспечить их безупречную эксплуатацию в течение не менее 25 лет. В ходе работы над данным проектом возникла необходимость в применении новых улучшенных методов, которые бы позволили разработать и реализовать на практике предложенные решения.

Содержание

1.	Общие указания	57
2.	Реализация процесса планирования мероприятий	57
2.1.	Экспертное исследование состояния	57
2.2.	Модернизация градирни	58
3.	План проведения работ(ППР)	60
3.1.	План работ (ПР)	61
3.2.	Инструкция по выполнению (ИВ)	62
3.3.	Временная диаграмма (ВД)	62
4.	Реализация мероприятий(РМ)	62
5.	Реализация мероприятий по модернизации	64
6.	Мониторинг	68

Контактный автор:

1 +4 (917) 978 45660, hei@zerna-bm.eu (Айзенкрайн Елена, д-р техн. наук, управляющий)

2 +4 (917) 145 60312, ckp@zema-bm.eu (Котц-Полльклэзенер Кристиан, д-р техн. наук, управляющий)

3 +4 (917) 978 45660, miedendorf@uni-kassel.de (Миддендорф Бернанд, д-р техн. наук, проф., управляющий)

1. Общие указания

Несмотря на то, что (старые) методы, которые используются по настоящее время для укрепления внутренних поверхностей градирен и/или для нанесения на бетон системы защитных покрытий, хоть и обеспечивают ограниченную защиту, они все-таки не сохраняют свою эффективность на протяжении длительного времени.

По этой причине была начата работа над данной проблемой и проведены определенные изыскания в направлении изучения возможностей восстановления (в период простоя градирни, зачастую ограниченного по времени) существующих систем защитных покрытий с целью продления срока службы объекта на 20 лет и более после проведения ремонтных работ.

В данном контексте совершенно новой была идея полной санации градирен уже не только в зонах выше и/или ниже талии градирни, а создание концепции ремонта в зависимости от нагрузки и с привязкой к определенному объекту, включающую в себя выделение отдельных участков, характеризующихся тяжелыми, умеренными и легкими повреждениями.

С одной стороны, отнесение участков к тому или иному классу зависит от степени повреждения существующего защитного покрытия и/или находящегося под ним бетона. В то же время, следует принимать во внимание интенсивные нагрузки, обусловленные атмосферным воздействием и влиянием дымовых газов на определенные участки оболочки градирни.

За последние десять лет произошли изменения в подходе к организации контроля качества (КК) при осуществлении защитных мероприятий на внутренних участках оболочки градирен с естественной тягой, оснащенных выводом дымовых газов. Долгое время в качестве составной части контроля качества [1] считалось нормой рассматривать только мониторинг осуществления мероприятий. Однако часто выяснялось, что время уже упущено, и гарантировать качество полученного результата невозможно. Поэтому была предложена идея применения КК на более раннем этапе. Тем временем, стратегическое значение КК сместилось в сторону продления периода эксплуатационной эффективности. На рисунке 1 показана стратегия планирования, применения мер, а также множество других элементов, вовлеченных в анализ. Она отличается от более ранних реализаций присутствием целевого и более детального планирования мероприятий с привлечением профессиональных специалистов, подробной разработки рабочего процесса при участии конструкторов, а также важных элементов подобных этапов планирования. Инструмент контроля качества проведенных мероприятий оптимизируется одновременно с профессиональным внедрением мероприятий подрядчиком, куда должно входить формулирование целевых мер по внутреннему контролю, а также квалифицированный внешний контроль за исполнением.

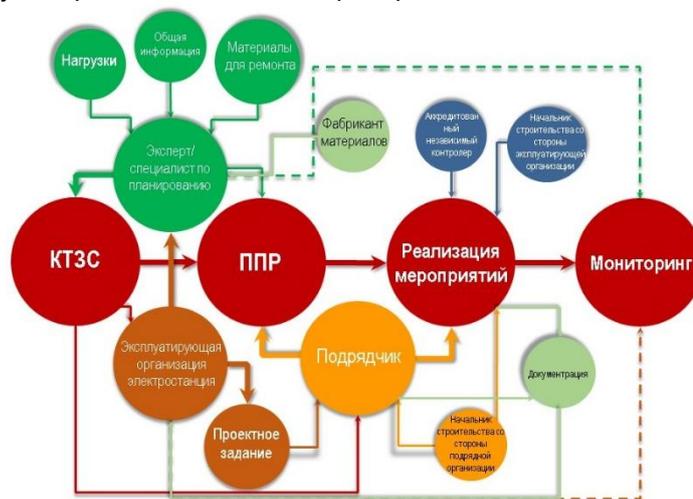


Рисунок 1. Схема стратегии планирования реализации мероприятий по защите и восстановлению

2. Реализация процесса планирования мероприятий

2.1. Экспертное исследование состояния

Следующим шагом после уточнения и соблюдения общих предварительных условий для проведения планирования [2] является создание базы для отдельных элементов. Сюда входят отчет о состоянии или

исследование состояния касательно воздействия и результирующей нагрузки со стороны рабочей и окружающей среды.

Важным предварительным условием процесса планирования является разграничение понятий «воздействие» и «нагрузка». При модернизации и дооснащении градирен установками по десульфуризации дымовых газов, а также при строительстве градирен, изначально предполагающих вывод дымовых газов, внутренние поверхности оболочек в прошлом покрывались от самого карниза и до основания равномерным слоем защитного покрытия на базе эпоксидных смол. В то же время известно, что данная процедура осуществлялась некорректно и в некоторых случаях необходимые характеристики покрытия не обеспечивались или же были наоборот излишними с точки зрения проектирования и ошибочными с экономической точки зрения.

Интенсивные исследования влияния рабочей и окружающей среды на состояние внутренних поверхностей оболочек выявили износ и повреждения в зависимости от степени нагрузки, противодействовать которым можно только путем тщательного подбора мероприятий по восстановлению [3-4].

Результат анализа состояния должен отвечать на вопрос, какие условия рабочей и окружающей среды стали причиной износа и повреждения и какие восстановительные мероприятия позволят добиться безотказной эксплуатации объекта в течение длительного срока.

2.2. Модернизация градирни

Дооснащение установками вывода дымовых газов проводилось в 1980-е гг. на 14 градирнях с естественной тягой. Установки вывода дымовых газов монтировались на нижнем уровне в горизонтальном положении. См. рис. 2. Поверхности всех внутренних секций оболочки были покрыты многослойным эпоксидным покрытием, обеспечивающим защиту от кислотного конденсата, образующегося при отведении дымовых газов. По истечении 7–10 лет назрел вопрос обновления покрытия внутренней поверхности оболочки. По результатам эксплуатации в течение 10 лет и более появились явные следы износа и повреждения.

Регулярно производилось инспектирование внутренней поверхности оболочки с использованием подвесных рабочих платформ, а также визуальный и технологический контроль. При этом неоднократно выявлялись две особенности.

Первая особенность была связана с относительно сильным мелением верхнего слоя эпоксидного покрытия вследствие постоянного уменьшения толщины покрытия на участке от середины оболочки градирни и до ее основания. На рис. 3 показан участок ослабленного покрытия



Рисунок 2. Защитная сетка и настил



Рисунок 3. Меление поверхности эпоксидного покрытия вследствие процесса фотокаталитической деградации материала.

Помимо этого, на участках с ослабленным покрытием повреждения получил бетон. Пример подобного повреждения показан на рис. 4.

Меление и износ эпоксидного покрытия вызван эффектом фотокаталитической деградации под влиянием кислородсодержащих радикалов, являющихся результатом взаимодействия УФ-излучения и оксидов азота (NOx), входящих в состав дымовых газов. Повышенный износ покрытия в верхней части градирни связан с постепенным ослаблением УФ-излучения в дымовом газе по мере проникновения вглубь градирни.

Структурные повреждения бетона всегда связывались с механическими характеристиками потока дымового газа в зоне отверстия нагнетательной трубы (направление потока, расстояние до оболочки градирни и т. д.) [3].

Схема участков повреждения, а также сведения о качественных и количественных параметрах восстановительных мероприятий были подготовлены на основании анализа как этих, так и остальных условий нагрузки. На рис. 4 в виде проекции на внутреннюю оболочку, развернутую на координатной плоскости, показаны зоны повреждения.



Рис. 3. После деградации защитного покрытия бетон подвергнулся воздействию подкисленного конденсата дымовых газов.

Зона 1, с градиентами 1.1. и 1.2., в основном включает участки внутренней поверхности, на которых защитное покрытие подвергалось фотокаталитической деградации. В зоне 2, подразделенной на участки Z 2-1, Z 2-2-1 и Z 2-2-2, а также в зонах Z3 и 4, повреждение бетона произошло вследствие неравномерного химического воздействия, в зависимости от вышеупомянутых характеристик потока дымовых газов, выводимых через две горизонтальные трубы, расположенные в левой нижней части. Эти данные включены в концепцию технологии защиты сооружений (КТЗС) для планирования мероприятий по восстановлению.

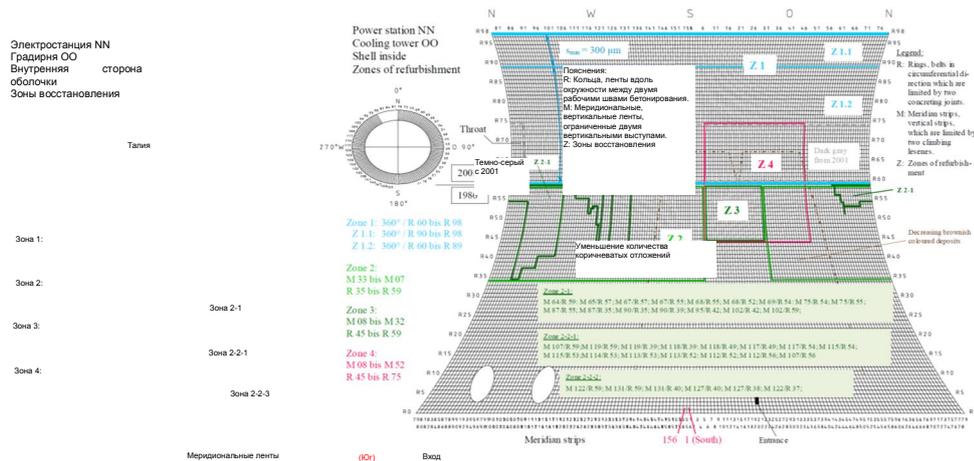


Рисунок 4. Развертка внутренней оболочки модернизируемой градирни. Зоны, зависящие от нагрузки, вследствие горизонтального подвода дымовых газов и атмосферного воздействия, в особенности комплексного влияния УФ-излучения и NOX.

3. План проведения работ (ППР)

В прошлом процессы проверки, осуществляемые в рамках контроля качества, базирующиеся на спецификациях стандартных процессов, таких, как, например, пескоструйная обработка базовой поверхности бетона, пескоструйная обработка обнажившейся арматуры, восстановление профиля разрушенного бетона, нанесение покрытий, рассматривались и оценивались по завершении соответствующего процесса в соответствии с иногда расплывчато описанным набором стандартов.

ППР был разработан с учетом практических выводов и полным осознанием того, что процесс реализации мероприятий следует планировать лучше, если существует потребность в более эффективном контроле качества.

ППР дополняет работы по планированию мероприятий с участием экспертов или специалистов по планированию и образует второй блок директивы 612e VGB. Поэтому данный ППР должен составляться подрядчиком сразу после размещения заказа в промежуток времени до начала реализации мероприятий. ППР должен включать план и перечень всех мероприятий, необходимых для скоординированной реализации всего комплекса работ, описанного в спецификациях.

Данный ППР подготовлен применительно к концепции технологии защиты сооружений (КТЗС) и спецификации (спец-я) и состоит из трех частей (см. рис. 5): плана работ (ПР), отражающего в основном организационные моменты, инструкции по выполнению (ИВ), затрагивающей преимущественно вопросы контроля качества и временной диаграммы (ВД), на которой указывается длительность каждого процесса. ППР подается на утверждение заказчику до начала реализации мероприятий.

1. План работ (ПР)	
Номер зоны (из КТЗС)	
специализация	
персонал	квалификация, количество
инструмент	техника, машинное оборудование, приборы и пр.
подъемное оборудование	леса, подвесные платформы и пр.
материал	строительные растворы и покрытия
2. Инструкция по выполнению (ИВ)	
Номер зоны (из КТЗС)	
специализация	
материалы	
рабочий инструмент	
для выполнения поставленных задач (адгезия, толщина сухой пленки и пр.)	
сравнение фактических показателей с намеченными	
3. Временная диаграмма (ВД)	
Номер зоны (из КТЗС)	
фактические результаты на диаграмме	

Рисунок 5. План проведения работ (ППР), предоставляемый заказчиком

3.1. План работ (ПР)

Подрядчик должен произвести расчеты, затрагивающие персонал, технологии обеспечения доступа, растворы, покрытия, рабочие ресурсы, а также инструмент, оборудование и системы, необходимые для выполнения на этапе конкурса.

После размещения заказа он сообщает требуемые качественные и количественные характеристики в соответствии с пунктами спецификаций. Применительно к персоналу сюда относятся:

Квалифицированный руководитель (КР) (менеджер проекта)

КР должен обладать обширными знаниями и опытом, уметь оценивать параметры нагрузок, подбирать материал, системы покрытий, быть в курсе их свойств, а также требований органов сертификации в отношении методов нанесения, применяемого оборудования, инструмента и систем. КР также отвечает за внутренний контроль качества производимых работ, а также проверку результатов испытаний в рамках мероприятий по КК. КР подрядчика должен подготовить подробный план проведения работ. КР несет полную ответственность за все процессы в рамках реализуемого проекта.

Начальник строительства (НС)

Он должен обладать опытом организации процесса, направленного на реализацию требований концепции технологии защиты сооружений (КТЗС), а также спецификаций ППР.

Рабочий персонал (РП)

Отдельные виды работ, частично распределяемые между различными группами специалистов, должны выполняться персоналом, обладающим должным уровнем квалификации и прошедшим, соответствующий инструктаж. Квалификация считается подтвержденной только после прохождения учебного курса и сдачи экзамена.

Персонал, нанимаемый для осуществления строительных работ, следует указывать вместе с их уровнем квалификации в ПР.

Тип, количество или объем технологий доступа, тип и количество материала, рабочих ресурсов, а также инструмента, оборудования и систем, необходимых для нанесения покрытия, должны быть перечислены, желательно в форме таблицы с указанием соответствующего типа и количества, а также соотнесены с соответствующими пунктами спецификации, краткими выдержками из нее и, наконец, различными зонами проведения работ. Помимо этого необходимо описать методы измерения, используемые при расчетах количества материала, необходимого для получения предельных значений толщины сухой пленки указанного покрытия вместе с применяемыми параметрами [5].

ПР должен также включать подробные сведения по технике безопасности при проведении работ, а также все необходимые средства доступа.

3.2. Инструкция по выполнению (ИВ)

ИВ представляет собой указания по выполнению работ, подготовленные квалифицированным руководителем для персонала строительного участка применительно к отдельным рабочим процессам. Их выполнение должно координироваться и контролироваться начальником строительства.

Каждый пункт работ спецификации содержит краткое описание работы в соответствии с принципом дублирования: при использовании какого материала (наименование производителя) или рабочего ресурса можно добиться какого рабочего результата (шероховатая поверхность S_{min} со скругленными фракциями, β_{nz} и пр.) Данные описания должны быть краткими и понятными. Они не должны содержать выдержки из правил, стандартов или технических спецификаций. Тем не менее, разрешается приводить ссылки на соответствующие правила, стандарты и технические спецификации.

ИВ является, главным образом, источником информации для рабочего персонала строительного участка. Рабочий персонал должен иметь возможность сверяться с ИВ в любой момент в ходе производства работ.

3.3. Временная диаграмма (ВД)

Все пункты спецификации указаны на ВД с кратким описанием в соответствующей последовательности; они нанесены в виде прямоугольников соответствующего размера над осью времени. ВД должна иметь структуру, позволяющую легко вносить изменения в последовательности.

4. Реализация мероприятий (PM)

Договор на реализацию мероприятий по защите и восстановлению специальных объектов, таких как градирни, может заключаться только с небольшой группой сервисных компаний, имеющих опыт подобных работ. Такие компании должны обладать опытом высотных работ, иметь квалифицированный персонал в соответствующей области, а также быть знакомыми со специальными методиками реализации необходимых мероприятий. Сюда относится также качество выполнения работ.

Второе важное условие затрагивает объем выполняемой работы и период, в который доступ к сооружению запрещен. Для нового сооружения – градирни с системой десульфуризации – площадь внутренней поверхности оболочки, на которую наносится защитное покрытие, может достигать 45 000 м². Колоссальны также объем логистических задач и издержек, связанных с доступом на участок работ и реализацией защитных мероприятий. Несмотря на то, что работы, осуществляемые в период между капитальными ремонтами, характеризуются меньшим объемом, однако вследствие их специфики, ориентированной на нагрузку, в большинстве случаев являются более сложными и проводятся в режиме дефицита времени. При работе на большинстве электростанций важным внешним фактором являются изменчивые погодные условия, что требует определенной гибкости в подходе к рабочему процессу.

Несмотря на различные мероприятия, описываемые в концепции технологии защиты сооружений (КТЗС) в зависимости от нагрузок, восстановительные работы обычно включают три этапа:

- Поверхность существующего компонента не готова для нанесения системы защитного покрытия, либо вследствие ее состояния, воздействующих нагрузок или же по иным причинам. Создание подходящих условий подразумевает **подготовку основания**. Сюда может входить широкий спектр мероприятий и используемого оборудования. От чистки базовой поверхности щеткой, обработки струей сжатого воздуха с добавлением твердых частиц до абразивной чистки струей воды под давлением. Методы контроля тоже могут отличаться – от визуального контроля опытным специалистом до тестов на сцепление и растяжение.
- Поэтому следующая стадия зависит от качества основания и подразумевает **предварительную обработку основания**. Мероприятия этого этапа могут включать репассивацию и восстановление профиля арматуры, подвергнувшейся коррозии на участках трещин в бетоне, формирование основания, пригодного для нанесения покрытия. Геометрические характеристики поверхности должны обеспечивать после нанесения жидкого материала покрытия возможность образования ровной и плотной сухой пленки с учетом задаваемой переменной минимальной толщины покрытия $s_{min}=5\%$. По классификации VGB R 612 e [5] это соответствует слегка шероховатой поверхности со скругленными фракциями.
- Наконец, начинается этап **нанесения покрытия**. Как правило, в основе покрытия лежит связующий агент, состоящий из органических высокомолекулярных полимеров. Оно может наноситься в несколько слоев или же представлять собой систему отдельных слоев, отличающихся между собой функциональным назначением. Если требуется обеспечить надежное связывание с основанием, то сперва наносится **грунтовочный слой**. **Промежуточный слой** наносится при необходимости выравнивания поверхности, закрытия трещин, обеспечения определенного уровня стойкости к

диффузии и пр. **Верхний слой покрытия** представляет собой функциональный барьер, обеспечивающий защиту от нагрузок вследствие воздействия факторов рабочей и окружающей среды. В процессе реализации отдельных мероприятий силами персонала, обладающего должным уровнем квалификации, главная роль отводится инструкции по выполнению (ИВ), описанной в разделе планирования. Соблюдение данной инструкции по выполнению конкретной рабочей задачи регулируется и контролируется рабочим, наносящим материал покрытия. Она может исполняться только после получения соответствующего указания от КР. Это является первым этапом внутреннего контроля реализации мероприятия в соответствии с принципом получения качественного результата еще до наступления этапа проведения контрольных испытаний.

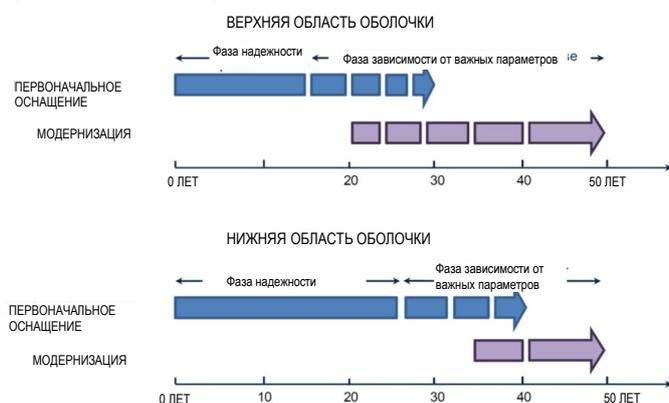


Рисунок 6. Долгосрочный прогноз пригодности к эксплуатации областей внутренних поверхностей оболочки, подвергаемых нагрузкам.

В ходе внутреннего контроля выполняются дополнительные испытания, подтверждается текущее состояние после отвердевания материала, после чего результаты документируются соответствующим образом. Постоянный контроль и документирование климатических условий и некоторых иных процессов также входят в обязанности исполнителя работ.

Если внутренний контроль является постоянным процессом для реализации мероприятий, то профессиональный контроль со стороны организации, эксплуатирующей электростанцию, также поручаемый внешней надзорной организации, осуществляется нерегулярно в зависимости от соответствующего типа выборочного обследования. Как правило, заказчик привлекает для проведения подобного рода работ экспертов и инженеров-испытателей, обладающих необходимой квалификацией.

В зависимости от сложности объема проводимых мероприятий может возникнуть необходимость в подготовке экспертного мнения. Это также может потребоваться в случае возникновения непредвиденных проблем или нарушений в ходе решения рабочих задач. Данные пояснения со стороны привлеченных третьих лиц являются также частью внешнего надзора.

На рисунке 6 показана прогнозируемая в долгосрочной перспективе эксплуатационная эффективность системы защитного покрытия, нанесенного на внутреннюю поверхность оболочки новой градирни с вертикальной системой вывода дымовых газов, установленной на значительной высоте, при условии соблюдения общепринятых правил, отвечающих современному уровню развития техники, и чьи параметры оказывают влияние на результат.

Среди наиболее значимых параметров, от которых зависит срок, в течение которого сохраняется эффективность защитных мероприятий, проведенных на оболочке градирни, выделяются конструктивные особенности и условия эксплуатации градирни, базовое планирование мероприятий с соответствующей концепцией технологии защиты сооружений, планирование выполнения мероприятий подрядчиком с использованием ППР, качество исполнения работы (привлечение высококлассных специалистов) – при сопутствующем внутреннем и внешнем контроле – и правильный выбор материалов, а также определение параметров нагрузки со стороны рабочей и окружающей среды. При соблюдении и мониторинге всех параметров возможно достижение оптимального срока службы с минимальными издержками на восстановительные работы.

В случае выбора оптимального материала (проверенного сверхстойкого полиуретанового покрытия) и соблюдения значения типичной концентрации коррозионных газов при сжигании бурого/каменного угля в зоне после абсорбера, ожидаемый срок службы для верхней части оболочки может достигать 30 лет после первой обработки. Последующее восстановление может продлить защитный эффект до завершения запланированного срока эксплуатации – еще на 20 лет.

При сравнимых условиях прогнозируемый максимальный срок службы для нижней половины оболочки составляет почти 40 лет, что подразумевает возможность продления срока путем осуществления соответствующих мероприятий по восстановлению.

Вполне возможно, что в последние годы периода эксплуатации на внутренней поверхности обеих половин оболочки появятся следы износа материала.

5. Реализация мероприятий по модернизации

Для осуществления ремонтных работ, перечисленных ниже, требуется выполнение множества различных рабочих процедур, обеспечивающих запланированный результат. Чтобы проиллюстрировать масштаб ремонтных работ, необходимо ознакомиться с некоторыми численными данными.

- Общая площадь обрабатываемой поверхности прибл. 13 000 м²
- Верхняя треть, приоритеты 1 и 2 (+66,00 м до +94,00 м) прибл. 4 800 м²
- Средняя треть, приоритеты 1 и 2 (+30,00 м до +66,00 м) прибл. 6000 м²
- От этой площади, удаление бетона на глубину до прибл. 50 мм прибл. 2400 м²
- покрытие торкретируемым полимерцементным бетоном (SPCC), включая неглубокий слой заполнителя прибл. 2400 м²
- Нижняя треть, приоритеты 2 и 3 прибл. 4000 м²
- Глубокие зияющие трещины, приоритет 1 прибл. 600 м
- Отдельные поврежденные участки, приоритеты 1–3 прибл. 6 000 участков
- Максимальная продолжительность обработки 45 рабочих дней

После того, как требуемый блок электростанции прекратил работу весной 2007, появилась возможность выполнения таких работ, как, например, укладка настила из проволочной сетки на уровне бассейна (рис. 4), установка защитных листов и возведение лесов.

После укладки кольца деревянного настила по внешнему краю и установки двух рабочих и защитных платформ, началась работа по установке круговой направляющей. Она состоит из профильной балки типа НЕВ, огибающей окружность бетонной оболочки на высоте прибл. 1,50 м от верхнего края водосборного бассейна. Стальные балки, каждая длиной около 2,50 м были прикручены к соответствующим кронштейнам (рис. 8).



Рисунок 8. Круговая направляющая и опорная тележка с механизмом предварительного натяжения.

Во время проведения работ по направляющим должны были передвигаться тележки. Они отвечали за перемещение клеток в горизонтальной плоскости. Механизмы предварительного натяжения позволяли притянуть клетки к поверхности оболочки, обеспечивая доступ к любому участку градирни. Подобная конструкция была также смонтирована на самом верху градирни (Рис. 7). Однако данная система не использует механизмы предварительного натяжения. Вместо этого часто применялись специальные конструкции, которые позволяли без проблем добраться до последних 1–2 метров в области талии градирни. Всего использовалось 5 отдельных транспортных тележек.



Рисунок 9. Верхняя тележка транспортной системы

Как только первые системы были готовы к использованию, были начаты работы по маркировке участков восстановительных работ. Участки были определены заказчиком совместно со специалистами по планированию работ и представлены в виде координатной сетки, описывающей оболочку градирни. Оси системы координат были нанесены на оболочку градирни и названы меридианами (по вертикали) и кольцами (по горизонтали) (рис. 4).

Чтобы приступить к сухой абразивоструйной обработке, работы сначала производились в верхней трети градирни. Сюда входили работы по распылению (втиранию) мелкого гранулята на поверхность существующего эпоксидного покрытия под давлением 4 бара с целью аккуратного снятия верхнего слоя, растрескавшегося под влиянием ультрафиолетового излучения и атмосферного воздействия. Целью этого мероприятия было сохранение как можно большей части старого покрытия, которое местами все еще оставалось неповрежденным, и подготовка его для нанесения дополнительных слоев. В то же время с других клеток также была начата работа по вскрытию поврежденных участков и интенсивная абразивоструйная обработка с целью полного удаления старого покрытия с поверхности бетона, там, где это было необходимо.

Таким образом, одновременно с работами в верхней трети градирни, начались мероприятия по удалению бетона с участков, где концентрированная кислота проникала в бетон через поврежденное покрытие, тем самым разрушая в течение длительного периода отвердевший цемент (рис. 3). Уже в первый день работа производилась в две смены по 11 часов с участием 40 работников.

Помимо подготовки поверхности, работы также выполнялись на глубоких трещинах длиной до 40 м, они включали в себя вскрытие и интенсивную сухую абразивоструйную зачистку. Ширина меридиональных трещин составляла прибл. 0,5 мм. Химическое воздействие дымовых газов стало причиной появления подобных кавернообразных трещин.

По завершении разделки трещин и абразивоструйной обработки были предприняты мероприятия по закрытию трещин с использованием торкретируемого полимерцементного бетона, после чего на них было нанесено специальное покрытие (рис. 10). Остальные мероприятия включали подготовку трещин, распространенных на всю толщину бетона, их заполнение, а в некоторых случаях армирование в целях поддержания структурной целостности всей конструкции.



Рисунок 10. Глубокие трещины, на которые наносится специальное покрытие

После подготовки достаточной площади поверхности в средней трети сооружения посредством обработки струей воды под давлением, а также обработки арматуры, были начаты работы по нанесению слоя торкретируемого полимерцементного бетона. Целью данной работы было восстановление изначального профиля бетонной поверхности оболочки градирни и создания слоя бетона не менее 20 мм над арматурой. Также необходимо было выровнять торкретируемую полимерцементным бетоном поверхность без использования (слишком большого количества) воды для последующей обработки и разглаживания в целях предупреждения возникновения микроструктурных повреждений нанесенного раствора. Решением этой проблемы было использование мелкозернистой шпатлевки, модифицированной полимером, которая наносилась в момент схватывания полимерцементного бетона в целях коррекции и выравнивания поверхности для использования ее в качестве основы для верхнего покрытия. Необходимо отметить, что данная полимерцементная шпатлевка (РСС) не требовала предварительной грунтовки поверхности перед последующим нанесением защитного покрытия.

В целях восстановления изначального профиля оболочки с максимально возможной точностью после удаления бетона перед началом обработки струей воды под давлением было установлено большое количество распорных штифтов. Это позволило персоналу при выполнении работ оценивать минимальную толщину полимерцементного покрытия. На рисунке 11 показано нанесение слоя торкретируемого полимерцементного бетона с рабочей платформы на высоте от 45 до 50 м.



Рисунок 11. Нанесение торкретируемого полимерцементного бетона (SPCC)

После удаления поврежденных участков бетона, калибровочной абразивоструйной зачистки старого покрытия и обработки глубоких трещин объектом работы стали множество отдельных поврежденных участков (рис. 12), в том числе те, где обнажилась арматура. В ходе проведения данных мероприятий арматурные штыри глубокого залегания были обработаны (> 20 мм) минеральным средством защиты от коррозии ($s_{\min} = 1000$ мкм), а затем герметизированы с использованием полимерцементного раствора, в состав которого входил адгезионный мост. Там, где на арматуру был нанесен слишком тонкий слой бетона или бетон отсутствовал вообще, после абразивоструйной чистки было нанесено эпоксидное антикоррозионное покрытие толщиной $s_{\min} = 500$ мкм. Данная защита от коррозии наносилась в один или два слоя, при этом было важно избежать попадания кварцевого песка или иного материала, поскольку покрытие должно создаваться только с использованием системы подготовки поверхности, а попадание мелкого песка могло повлечь за собой нарушение целостности системы защитного покрытия.

После подготовки и предварительной обработки всех участков оболочки, отдельных повреждений и обнаженных конструкций начались отдельные работы по нанесению покрытия. Сюда входило варьирование толщины покрытия на различных участках в соответствии со степенью воздействия УФ-излучения и дымовых газов.



Рисунок 12. Отдельные участки повреждения и восстановление профиля с использованием полимерцементного бетона.

При этом на неповрежденные участки покрытия в верхней трети градирни наносилось дополнительное эпоксидное покрытие ($s_{\min} = 150$ мкм). На некоторые участки данной категории, где старое покрытие удалялось полностью в процессе абразивоструйной зачистки, наносился дополнительный слой эпоксидного покрытия. После этого на всю площадь верхней трети градирни наносилось финишное полиуретановое покрытие (рис. 13), обладающей высокой стойкостью к фотокаталитической деградации. На участках в средней трети, где торкретируемый полимерцементный бетон наносился на значительную площадь поверхности, применялось как эпоксидное ($s_{\min} = 150$ мкм), так и полиуретановое покрытие ($s_{\min} = 150$ мкм). Между участками, на которых снимался слой бетона, выполнялась та же процедура, что и в верхней трети градирни.

На участке между отметками 30 и 20 м старое покрытие почти полностью сохранилось. Здесь после подготовки основания наносилось только эпоксидное покрытие ($s_{\min} = 150$ мкм).

По завершении работ было демонтировано все подвесное оборудование (рабочие платформы и средства защиты), а после тщательной итоговой чистки охлаждающей арматуры и водосборного бассейна состоялась передача отремонтированной градирни электростанции. Работы заняли всего лишь 44 дня (рис. 14).

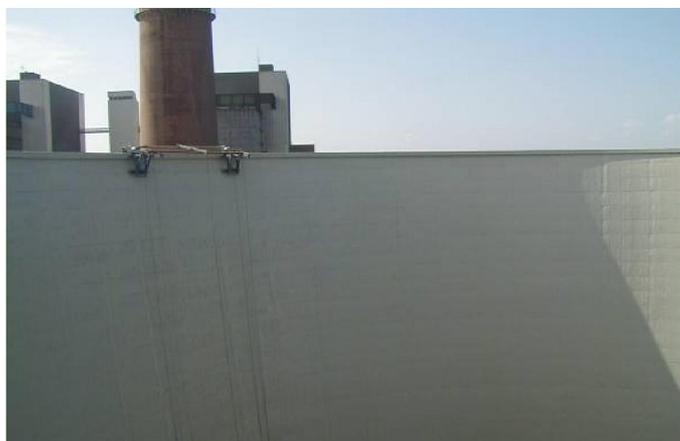


Рисунок 13. Финишное покрытие верхней трети в правой части изображения

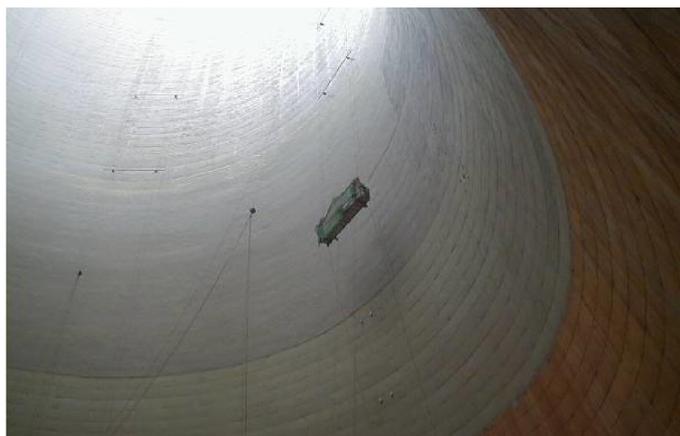


Рисунок 14. Все участки с нанесенным финишным покрытием

6. Мониторинг

В целях обеспечения сохранности сооружений, к эксплуатационной готовности которых предъявляются высокие требования, необходимо осуществлять систематический мониторинг их состояния с применением соответствующих испытаний и экспертных методов оценки. Это гарантирует, что соответствующее действие может быть предпринято, если в ходе эксплуатации проявляется недопустимое снижение характеристик системы защиты. Этот этап также относится к цепочке

Наблюдение – оценка – реакция

Подобные разработки в области систем защиты поверхности почти всегда затрагивают процесс старения. Поэтому «мониторинг» можно рассматривать как программу наблюдений за процессом старения.

Литература

- [1]. Энгельфрид Р.: *Указания по проведению мероприятий по защите и восстановлению стандартных бетонных градирен, эксплуатируемых совместно с установками для десульфуризации в соответствии с указаниями VGB 612*, Материалы Международной ассоциации по оболочкам и другим пространственным конструкциям (IASS), симпозиум 2013 «ЗА ПРЕДЕЛАМИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА» 23–27 сентября, Технологический университет г. Вроцлав, Польша
- [2]. Айзенкрайн Х.: *Модель прогнозирования разрушений и повреждений внутренней поверхности оболочки под влиянием дымовых газов, а также мероприятия по защите применительно к локальным нагрузкам*. 6-й Международный симпозиум по градирням, Кельн, 20-23 июня 2012
- [3]. Энгельфрид Р., Шарф Х., Айзенкрайн Х.: *Концепция санации внутренней поверхности оболочки железобетонных мокрых градирен с естественной тягой, оснащенных системой отвода дымовых газов*, протокол «1-й коллоквиум – Сохранение строений», Техническая Академия г. Эслинген, январь 2009.
- [4]. Энгельфрид Р.: *Лицевой бетон, контроль качества путем мониторинга рабочего процесса*, db Deutsche Bauzeitung, 122. год выпуска, 4/88 (Exposed Concrete: Quality Assurance via Execution Monitoring)
- [5]. VGB PowerTech: Директива VGB-R612 e: *Мероприятия по защите железобетонных градирен и дымовых труб от воздействия рабочей и окружающей среды*, Эссен/Германия, третье издание 2010.
- [6]. Barabanshikov, Y.G., Belyaeva, S., Antonova, M., Zapev, M. *Air gap between protective screen and surface of reinforced concrete cooling tower*(2014) Advanced Materials Research, 1044-1045, pp. 457-461.
- [7]. Петроченко М.В., Голубев Д.И. *Железобетонная башенная градирня с тепловлагозащитным экраном* Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2009. № 89-1. С. 65-68.
- [8]. Kaminski, M., Maszczak, M. *Durability of cooling tower constructions and methods of their repair and reinforcement*(2012) *Life-Cycle and Sustain-ability of Civil Infrastructure Systems* - Proceedings of the 3rd International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, IALCCE 2012, pp. 540-546.
- [9]. Engelfried, R., Eisenkrein, H., Scharf, H., Sonntag, M. *State of the art of protection- and strengthening measures on reinforced concrete cooling towers* [Technologischer Stand von Schutz und Ertüchtigung an Stahlbetonkühltürmen] (2011) VGB PowerTech, 91 (9), pp. 104-110.
- [10]. Niemann, H.-J., Harte, R., Meyer, J., Wörmann, R. *Recent amendments to the VGB guideline on the design and construction of cooling towers in power plants* [Aktuelle Änderungen der VGB-Richtlinie über Auslegung und Bau von Kühltürmen in Kraftwerken](2011) VGB PowerTech, 91 (9), pp. 94-103.
- [11]. Lewiński, P.M., Więch, P.P. *Diagnostic analysis of damages of cooling tower* [Analiza diagnostyczna uszkodzeń chłodni komi-nowej](2008) Prace Naukowe Instytutu Budow-nictwa Politechniki Wrocławskiej, (90), pp. 141-148.
- [12]. Kamiński, M., Maszczak, M. *Damage to a shell of a cooling tower caused by defective repairs* (2014) *Shell Structures: Theory and Applications* - Proceedings of the 10th SSTA 2013 Conference, 3, pp. 519-522.
- [13]. Гурьев В.В., Дорофеев В.М. *О новом национальном стандарте «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»* // Промышленное и гражданское строительство, 2009. № 12. С. 33-34.
- [14]. Патрикеев А.В., Салатов Е.К. *Основы методики динамического мониторинга деформационных характеристик зданий и сооружений* // Вестник МГСУ, 2013. № 1. С. 133-138.
- [15]. Штенгель В.Г. *Общие проблемы технического обследования неметаллических строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений* // Инженерно-строительный журнал, 2010. №7(17). С. 4-9.
- [16]. Гроздов В.Т. *Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений*. - СПб: Издат. дом KN+, 2001. 140 с.
- [17]. Копаница Д.Г., Капарулин С.Л., Васильева Е.В. *Экспериментальные исследования железобетонной колонны, усиленной наращиванием сечения*. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2006. № 1. С. 170-172.
- [18]. Якупов Н.М., Галявиев Ш.Ш., Нурғалиев А.Р., Якупов С.Н. *Состояние конструкций градирен и предотвращение из разрушения*. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2006. № 7-8. С.36-42.

Natural draft cooling towers with flue gas inlet

H. Eisenkrein¹, C. Kotz-Pollklasener², B. Middendorf³

ZERNA Baumanagement GmbH, 162 Lennerhofstraße, Bochum Deutschland 44801.

ARTICLE INFO

scientific article

doi:

Articlehistory

Received 21 July 2015

Keywords

the concept of security technology facilities,
detailed engineering workflow,
quality control,
internal control,
qualified external control,
staff qualifications

ABSTRACT

After nearly twenty years of flue gas inlet in cooling towers the formerly used epoxy-based coatings did not protect the interior concrete surfaces of cooling towers for as long as had been expected. Even on surfaces coated again in the last 10 years degradation took place and supplementary coatings were needed. Therefore certain analyses and considerations were undertaken to find new solutions to reinforce the surface protecting coatings of the cooling towers so they could be operated for another period of 25 years. The execution of this project needed new and optimized methods to plan and carry out the implementation.

Corresponding author:

- 1 +4 (917) 978 45660, hei@zerna-bm.eu (Eisenkrein Helena, D.eng.)
- 2 +4 (917) 145 60312, ckp@zerna-bm.eu (Kotz-Pollklasener Christian, D.eng.)
- 3 +4 (917) 978 45660, miedendorf@uni-kassel.de (Middendorf Bernhard, D.eng., professor)

References

- [1]. Engelfrid R.: *Ukazaniya po provedeniyu meropriyatiy po zashchite i vosstanovleniyu standartnykh betonnykh gradiren, ekspluatiruyemykh sovместно s ustanovkami dlya desulfurizatsii v sootvetstvii s ukazaniyami VGB 612*, Materialy Mezhdunarodnoy assotsiatsii po obolochkam i drugim prostranstvennym konstruktsiyam (IASS), simpozium 2013 «ZA PREDELAMI VOZMOZHNOSTEY CHELOVEKA» 23–27 sentyabrya, Tekhnologicheskiy universitet g. Vrot-slav, Polsha
- [2]. Ayzenkrayn Kh.: *Model prognozirovaniya razrusheniy i povrezhdeniy vnutrenney poverkhnosti obolochki pod vliyaniem dymovykh gazov, a takzhe meropriyatiya po zashchite primenitelno k lokalnym nagruzkam*. 6-y Mezhdunarodnyy simpozium po gradirnyam, Keln, 20-23 iyunya 2012
- [3]. Engelfrid R., Sharf Kh., Ayzenkrayn Kh. *Kontseptsiya sanatsii vnutrenney poverkhnosti obolochki zhelezobetonnykh mokrykh gradiren s yestestvennoy tyagoy, osnashchennykh sistemoy otvoda dymovykh gazov*, protokol «1-y kollokvium – Sokhraneniye stroyeniya», Tekhnicheskaya Akademiya g. Eslingen, yanvar 2009.
- [4]. Engelfrid R.: *Litvoy beton, kontrol kachestva putem monitoringa rabocheho protsessa*, db Deutsche Bauzeitung, 122. god vypuska, 4/88 (Exposed Concrete: Quality Assurance via Execution Monitoring)
- [5]. VGB PowerTech: Direktiva VGB-R612 e: *Meropriyatiya po zashchite zhelezobetonnykh gradiren i dymovykh trub ot vozdeystviya rabochey i okruzhayushchey sredy*, Essen/Germaniya, tretye izdaniye 2010.
- [6]. Barabanshikov, Y.G., Belyaeva, S., Antonova, M., Zapev, M. *Air gap between protective screen and surface of rein-forced concrete cooling tower(2014)* Advanced Materials Research, 1044-1045, pp. 457-461.
- [7]. Petrochenko M.V., Golubev D.I. *Zhelezobetonnyaya bashennaya gradirnya s teplovlagozashchitnym ekranom* Nauchno-tekhnicheskkiye vedomosti SPbGPU. 2009. № 89-1. S. 65-68.
- [8]. Kaminski, M., Maszczak, M. *Durability of cooling tower constructions and methods of their repair and reinforcement(2012) Life-Cycle and Sustainability of Civil Infrastructure Systems* - Proceedings of the 3rd International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, IALCCE 2012, pp. 540-546.
- [9]. Engelfried, R., Eisenkrein, H., Scharf, H., Sonntag, M. *State of the art of protection- and strengthening measures on re-inforced concrete cooling towers* [Technologischer Stand von Schutz und Ertüchtigung an Stahlbetonkühltürmen] (2011) VGB PowerTech, 91 (9), pp. 104-110.
- [10]. Niemann, H.-J., Harte, R., Meyer, J., Wörmann, R. *Recent amendments to the VGB guideline on the design and construction of cooling towers in power plants* [Aktuelle Änderungen der VGB-Richtlinie über Auslegung und Bau von Kühltürmen in Kraftwerken](2011) VGB PowerTech, 91 (9), pp. 94-103.
- [11]. Lewiński, P.M., Więch, P.P. *Diagnostic analysis of damages of cooling tower* [Analiza diagnostyczna uszkodzeń chłodni komi-nowej](2008) Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, (90), pp. 141-148.
- [12]. Kamiński, M., Maszczak, M. *Damage to a shell of a cooling tower caused by defective repairs (2014)* Shell Structures: Theory and Applications - Proceedings of the 10th SSTA 2013 Conference, 3, pp. 519-522.
- [13]. Guryev V.V., Dorofeyev V.M. *O novom natsionalnom standarte «Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya»* // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo, 2009. № 12. S. 33-34.
- [14]. Patrikeyev A.V., Salatov Ye.K. *Osnovy metodiki dinamicheskogo monitoringa deformatsionnykh kharakteristik zdaniy i sooruzheniy* // Vestnik MGSU, 2013. № 1. S. 133-138.
- [15]. Shtengel V.G. *Obshchiye problemy tekhnicheskogo obsledovaniya nemetallicheskiykh stroitelnykh konstruktsiy ekspluatiruyemykh zdaniy i sooruzheniy* // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal, 2010. №7(17). S. 4-9.
- [16]. Grozdov V.T. *Tekhnicheskoye obsledovaniye stroitelnykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy*.- SPb: Izdat. dom KN+, 2001. S. 140.
- [17]. Kopanitsa D.G., Kaparulin S.L., Vasilyeva Ye.V. *Ekspperimentalnyye issledovaniya zhelezobetonnoy kolonny, usilen-noy narashchivaniyem secheniya*. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2006. № 1. S. 170-172.
- [18]. Yakupov N.M., Galyaviyev Sh.Sh., Nurgaliyev A.R., Yakupov S.N. *Sostoyaniye konstruktsiy gradiren i predotvrashcheniye iz razrusheniya. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy*. Problemy energetiki. 2006. № 7-8. S. 36-42.

Айзенкрайн Е., Котц-Полльклэзенер К., Миддендорф Б. Градирни с естественной тягой с впуском дымовых газов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №9(36). С.56-71.

Eisenkrein H., C. Kotz-Pollklasener C., Middendorf B. Natural draft cooling towers with flue gas inlet. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 9(36), Pp. 56-71. (rus)