

УДК 620.179.1

ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ МАЧТ И МАЧТОВЫХ ОПОР

© 2015 Д.М. Гуреев, Р.Г. Салахов, Э.С. Клентак, Ю.В. Пилуй, Г.Г. Афримович, С.А. Репухов

ООО «ИЦ «АЭ-системы», г. Самара

Статья поступила в редакцию 25.10.2015

Разработана структура технического диагностирования металлоконструкций мачт и мачтовых опор для прогнозирования возможности их дальнейшей эксплуатации. Показана перспективность использования метода акустико-эмиссионного контроля в структуре технического диагностирования такого рода объектов.

Ключевые слова: мачты и мачтовые опоры, техническое диагностирование, акустико-эмиссионный контроль.

ВВЕДЕНИЕ

Мачты и мачтовые опоры являются не только объектами радиосвязи и телерадиовещания, металлоконструкционной основой линий электропередачи, но и сопутствующими производственными объектами нефтяной и газовой промышленности, безопасная эксплуатация которых наряду с безопасной эксплуатацией основных ее производственных объектов играет важную роль в структуре промышленной безопасности нефтегазовой отрасли. По этой причине вопрос разработки структуры технического диагностирования металлоконструкций мачт и мачтовых опор является весьма актуальным. Актуальность данного вопроса подтверждается также отсутствием всеобъемлющей нормативно-технической базы и практических наработок в области технического диагностирования их состояния, основанных на применении прогрессивных методов неразрушающего контроля. В последние десятилетия проблема безопасной эксплуатации мачт и мачтовых опор усугубляется резким увеличением на них нагрузок вследствие установки дополнительных устройств современных средств мобильной связи. Повышение надежности и безопасной эксплуатации мачт и мачтовых опор, основанное на реальной картине состояния их металлоконструкций и фундамен-

тов, предполагает создание системы экспертизы их технической безопасности с разработкой методик обследований, расчетов, оценок металлофизических и прочностных характеристик элементов конструкций, базирующихся на широком внедрении методов неразрушающего контроля.

В настоящей работе представлены обобщенные результаты по формированию структуры технического диагностирования мачт и мачтовых опор, апробированные при обследовании одной из башен Самарского телецентра с широким практическим использованием метода акустической эмиссии, являющегося одним из наиболее высокоэффективных современных методов неразрушающего контроля [1, 2].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При разработке структуры технического диагностирования мачт и мачтовых опор мы руководствовались нашим многолетним опытом проведения экспертиз промышленной безопасности опасных производственных объектов, в том числе в нефтегазовой отрасли. Техническое диагностирование мачт и мачтовых опор должно в себя включать поэтапное проведение следующих шагов: ознакомление с эксплуатационной документацией объекта (паспортом, журналом ремонтов и осмотров, инструкциями по монтажу и эксплуатации, документацией по модернизации, расчетами); внешний осмотр металлоконструкций, включая несущие и вспомогательные элементы; проверка состояния сварных и болтовых (фланцевых) соединений; измерение толщины основных элементов; проведение дефектоскопии; определение химического состава и механических характеристик металла основных элементов и узлов; выполнение прочностного расчета; составление заключения о результатах обследования с выработкой рекомендаций и

Гуреев Дмитрий Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, заместитель генерального директора. E-mail.ru: aes@ae-system.ru

Салахов Равиль Гакильевич, начальник ЛНК.

E-mail.ru: pto101@ae-system.ru

Клентак Эдвард Стефанович, начальник ПТО.

E-mail.ru: pto102@ae-system.ru

Пилуй Юрий Владимирович, ведущий инженер.

E-mail.ru: pto101@ae-system.ru

Афримович Геннадий Григорьевич, ведущий инженер.

E-mail.ru: pto102@ae-system.ru

Репухов Сергей Александрович, ведущий инженер.

E-mail.ru: pto101@ae-system.ru

определением сроков возможной дальнейшей эксплуатации.

Внешний осмотр металлоконструкций выполняется либо с площадок, расположенных на объекте и имеющих ограждения, либо с помощью специальной тележки (люльки), платформы, подвешиваемой на обследуемый объект. При проведении внешнего осмотра обязателен контроль всех участков несущих элементов, вспомогательных элементов и сварных соединений, включая места, недоступные контролю с площадок и лестниц объекта. При внешнем осмотре следует обращать особое внимание на наличие следующих дефектов, представляющих возможную опасность последующего усталостного или хрупкого разрушения (а также на места, в которых могут формироваться трещины): трещины в основном металле; трещины в сварных швах и околовшовных зонах; местные механические повреждения (разрывы, вырубки, изломы); расслоение основного металла; местные коррозионные повреждения; дефекты сварных швов; разрушения или уменьшения сечений элементов вследствие коррозии; разрушения (вздутия) элементов замкнутого сечения вследствие замерзания в них воды; погнутость узлов, отклонения их положений от проектных размеров.

При визуальном контроле рекомендуется проведение нивелирования с применением теодолитов и нивелиров.

При обследовании металлоконструкций следует учитывать, что усталостные трещины возникают у концентраторов местных напряжений. К типичным концентраторам местных напряжений относятся: элементы с резкими перепадами поперечных сечений; узлы крепления раскосов, распорок, связей косынок с поясами; места окончания накладок, ребер (проушин); отверстия с необработанными кромками, прожженные, заваренные; места пересечения сварных швов и их окончания, прерывистые швы; технологические дефекты сварных швов: подрезы, прожоги, незаваренные кратеры, перерывы в швах, резкие переходы от наплавленного металла к основному, чрезмерные усиления валика шва, неполномерность шва.

В металлоконструкциях мачт и мачтовых опор более всего подвержены коррозии те элементы, в которых задерживается влага, скапливается грязь, в слабо вентилируемых местах. Возможными областями появления коррозии являются: замкнутые пространства трубчатых элементов поясов; зазоры и щели, образующиеся вследствие неплотного прилегания сопрягающихся элементов; соединения, выполненные прерывистыми швами.

В случае поражения коррозией участков металлоконструкций объекта следует произвести замеры толщин элементов с помощью ультразвукового толщиномера.

Обследование болтовых соединений включает в себя их визуальный осмотр, остукивание бол-

тов, проверку затяжки. При визуальном осмотре устанавливается наличие всех болтов, стопорных планок (контровок). В случае обнаружения обрыва болтов необходимо заменить оборванные болты и произвести контроль их затяжки. Наличие трещин в болте устанавливается визуально или при отсутствии внешних признаков трещин с помощью дефектоскопии.

Дефектоскопия металлоконструкций мачт и мачтовых опор может осуществляться методами ультразвуковой дефектоскопии (УЗД), акустической эмиссии (АЭ), цветной дефектоскопии (ЦД) и др. Одним из наиболее широко используемых объективных методов контроля является метод УЗД. При обнаружении трещин в элементе или узле следует проверить все аналогичные элементы и узлы металлоконструкций обследуемого объекта.

В качестве приборов для определения остаточной толщины металла следует использовать ультразвуковые толщинометры. Ультразвуковые дефектоскопия и толщинометрия проводятся в соответствии с требованиями проведения данных видов работ и требованиями эксплуатации ультразвуковых дефектоскопов и толщинометров.

АЭ-контроль может осуществляться как в режиме разовой диагностики, так и в режиме эпизодического мониторинга. АЭ-контроль проводится преимущественно в такое время года, которое характеризуется наиболее интенсивными ветровыми нагрузками. В процессе проведения мониторинга или разовой диагностики установка датчиков (АЭ-преобразователей) и выбор схемы регистрации АЭ-сигналов осуществляются с учетом результатов визуального контроля и дефектоскопии. На основании результатов анализа данных АЭ-контроля определяются наличие и местоположение критически активных АЭ-источников. В случае выявления участков с потенциально опасными АЭ-активными источниками они подвергаются дополнительному более тщательному контролю базовыми методами неразрушающего контроля (УЗД, ЦД и др.).

Определение механических характеристик металлоконструкций мачт и мачтовых опор может осуществляться с помощью переносных твердомеров, а также путем вырезки образцов для выполнения всех необходимых исследований, в том числе определения химического состава металла контролируемых элементов, в лабораторных условиях. Следует отметить, что в качестве пробы для определения химического состава металла контролируемых элементов может служить стружка. Определение механических характеристик и химического состава металла контролируемых элементов металлоконструкций позволяет оценить изменения, произошедшие с металлом в процессе его эксплуатации при воздействии циклических (ветровых) нагрузок, температурных перепадов и изменений влажности, удостовериться в качестве металла и со-

ответствии его проектной документации.

При выявлении дефектов, в том числе недопустимых, составляется дефектная ведомость с указанием мероприятий по их устранению или замене забракованных элементов (узлов) металлоконструкций.

Результаты внешнего осмотра, дефектоскопии, определения механических характеристик и химического состава металла контролируемых элементов являются основой для выполнения прочностного расчета металлоконструкций мачт и мачтовых опор. На основании прочностного расчета принимается решение о возможности дальнейшей эксплуатации действующих элементов и узлов, а также металлоконструкций объекта в целом. По результатам комплексной технической диагностики и прочностного расчета определяются сроки последующего диагностирования, а также рекомендации и требования к выполнению текущего технического обслуживания объекта диагностики.

Для определения перспектив использования АЭ-контроля при техническом диагностировании мачт и мачтовых опор проведены натурные эксперименты на телебашне для РРЛ Самарского телецентра с использованием ранее разработанной АЭ-системы «Раскат» [3]. Результаты экспериментальных исследований показали, что в реальных условиях эксплуатации на элементах металлоконструкций телебашни надежно регистрируются АЭ-сигналы. На начальной стадии выполнения работ определялась величина порога для отсека фоновой акустической эмиссии от полезных АЭ-сигналов. Было установлено, что для всех элементов конструкции величина порога по амплитуде находится в пределах 20-30 дБ.

При проведении измерений с иницированием АЭ-сигналов с помощью имитатора Хсу-Нильсена выявлено, что в целом закономерности их поведения на трубных элементах телебашни соответствуют общим закономерностям появления и распространения акустической эмиссии в металлических конструкциях [1]. В частности, надежно фиксировались АЭ-сигналы с локализацией источника (имитатора) с точностью до 10 мм при удалении датчиков друг от друга на расстоянии до 16 м. При иницировании АЭ-сигналов ударами бойка твердомера выявлены аналогичные зависимости, однако при этом регистрирующая система фиксировала появление многочисленных отраженных волн, что отражалось в увеличении числа АЭ-событий.

Интересным представляется факт выявления АЭ-сигналов при их имитации на соседних элементах конструкции телебашни. Например, при имитации АЭ-источника на косынке для крепления раскосов или самих раскосах АЭ-сигналы регистрировались датчиками, расположенными на поясе, а при имитации АЭ-источника на ба-

шенном стволе – на болтах фланцевого соединения и т.п. Таким образом, установлено, что при проведении экспериментов с применением имитаторов Хсу-Нильсона и ударного надежно регистрируются сигналы акустической эмиссии и местоположения их источников.

При проведении диагностических работ, заключающихся в сборе информации об акустической эмиссии за определенный интервал времени под воздействием на телебашню ветровой нагрузки при скорости ветра 5-10 м/с выявлено, что во всех случаях датчиками регистрируются АЭ-сигналы с амплитудой, превышающей пороговую. Наблюдение за скоростью ветра показало, что появление АЭ-сигналов обусловлено порывами ветра, рост же их числа соответствовал возрастанию интенсивности ветровой нагрузки. Проведенная АЭ-диагностика позволяет сделать вывод, что при наличии или появлении на контролируемых и близлежащих элементах конструкции телебашни источников АЭ-сигналов, характеризующихся высокой активностью, большими амплитудами и энергиями, аппаратура типа АЭ-системы «Раскат» позволяет надежно и эффективно регистрировать эти сигналы и определять местоположения их источников.

Таким образом, выполнение диагностических работ на натурном объекте подтвердило принципиальную возможность выявления АЭ-сигналов от активных АЭ-источников (потенциальных дефектов) на мачтах и мачтовых опорах. Вместе с тем следует отметить, что для получения наиболее точного представления о характере АЭ-сигналов, АЭ-источнике и наличии возможного потенциального дефекта требуется либо увеличить временной интервал для сбора информации, либо осуществлять диагностику при более интенсивном ветровом нагружении. Проведенные экспериментальные диагностические работы показали, что наиболее эффективным здесь является метод эпизодического АЭ-мониторинга, совмещающий достаточную длительность временного интервала для сбора информации и возможность наблюдения за поведением АЭ-источников при различных по силе и направлению ветровых нагрузках. Последние являются весьма важным фактором формирования на объекте зон с растягивающими напряжениями. Последовательность появления зон со сжимающими и растягивающими напряжениями характерна для циклического нагружения объекта. Известно, что при циклическом нагружении наиболее опасными являются растягивающие напряжения, ведущие к возникновению и росту трещин. В свою очередь, периодическое увеличение скорости ветра также ведет к росту как зон, так и уровня растягивающих напряжений в них. Из этого следует, что АЭ-контроль за элементами конструкции при воздействии на них ветровой на-

грузки в условиях изменения направления и силы ветра позволит эффективно и быстро оценить состояние всех потенциально опасных участков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результатом проведенной работы является разработка структуры технического диагностирования мачт и мачтовых опор для определения их технического состояния и прогнозирования сроков дальнейшей эксплуатации. Показана перспективность использования активного акустико-эмиссионного метода контроля при техническом диагностировании таких объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Грешников, В.А.* Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий / *В.А. Грешников, Ю.Б. Дробот.* – М.: Издательство стандартов, 1976. – 272 с.
2. *Иванов, В.И.* Акустикоэмиссионный контроль сварки и сварных соединений / *В.И. Иванов, В.М. Белов.* – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
3. *Ямщиков, С.В.* АЭ-система «Раскат» и ее применение для контроля процесса сварки / *С.В. Ямщиков, Д.М. Гуреев, Д.Н. Земляной* // Материалы III Международной научно-технической конференции «Лазерные технологии и средства их реализации». – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГТУ, 2000. – С.112-118.

TECHNICAL DIAGNOSTICS OF MASTS AND MASTED SUPPORTS

© 2015 D.M. Gureev, R.G. Salachov, E.S. Klentak, Y.V. Piluy, G.G. Afrimovich, S.A. Repuchov

«IC «AE- system», Samara

A technical diagnostics structure of metal constructions of masts and masted supports was devised for a prognosis of possibility of its subsequent exploitation. A perspective of utilization of an acoustic-emissive control method in a technical diagnostics structure of such units was demonstrated.

Keywords: masts and masted supports, technical diagnostics, acoustic-emissive control

Dmitriy Gureev, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Deputy General Director. E-mail: aes@ae-system.ru
Ravil Salachov, Head LNK. E-mail: pto101@ae-system.ru
Edvard Klentak, Head PTO. E-mail: pto102@ae-system.ru
Yriy Piluy, Leading Engineer. E-mail: pto101@ae-system.ru
Gennadiy Afrimovich, Leading Engineer. E-mail: pto102@ae-system.ru
Sergey Repuchov, Leading Engineer. E-mail: pto101@ae-system.ru