

Секция:
Методы НК и ТД при оценке техногенной безопасности.
Руководители секции:

Н.А. Махутов, член-корреспондент РАН, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

В.И. Иванов, д-р техн. наук, НТЦ Промышленная безопасность

В.А. Барат ГК Интерюнис

Лозунгом НИИИН МНПО «Спектр» является содержательное выражение: «Диагностика – основа безопасности». В соответствии с современным представлением о техническом диагностировании (ТД) – это комплексная технология по определению технического состояния объекта с целью оценки техногенной безопасности и прогнозирования ресурса. При этом количественной мерой техногенной безопасности является риск аварии, а ресурс определяется достижением объектом диагностирования вероятности отказа, не превышающего заданного предельного значения. Техническое диагностирование – дисциплина, включающая комплекс научно-технических направлений: неразрушающий контроль, механику разрушения, металловедение, оценку коррозии и другие.

В секции «Методы неразрушающего контроля и технической диагностики при оценке техногенной безопасности» XXI ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ было запланировано 9 докладов, состоялось 6.

Доклад В.И. Иванова, В.В. Мусатова, А.А. Сазонова «О требованиях к НК при оценке риска аварии» посвящен детальному рассмотрению вопросов использования информации, получаемой при выполнении неразрушающего контроля (НК) при анализе риска аварии. Показано, что в оценке риска аварии традиционно применяют показатели статистики аварий. Принципиальным недостатком данных подходов является отсутствие информации о техническом состоянии конкретного объекта, который контролируется с применением методов НК, что позволяет при определении вероятности аварии конкретного объекта выполнить количественную оценку риска. Это придает гигантский импульс ускорения развития новейших подходов и методик НК. Показано, что адекватные оценки техногенной безопасности с использованием риск-ориентированных подходов невозможны без выполнения НК в режиме дефектометрии.

С развитием подходов вероятностной механики разрушения, разработанных после Чернобыльской катастрофы, получена возможность рассчитывать зависимости вероятности разрушения объекта от величины дефекта. Применение этих зависимостей позволяет использовать информацию о параметрах дефектов, извлекаемую при выполнении НК, для расчета вероятности разрушения объекта.

Требования механики разрушения при оценке прочности объекта с дефектом определяет объем необходимой информации, которую следует извлекать при выполнении НК. Показано, что ранее параметрами дефектов являлись координаты и, в какой-то степени, их эквивалентные размеры и количество. В настоящее время акценты смещаются на задачи измерения реальных размеров дефектов. Для расчетов прочности объекта с дефектами, выявленными с использованием НК, необходимы данные не только о координатах дефекта и его размерах, но также о его форме и ориентации. Получение всех этих параметров (за исключением координат и эквивалентных размеров) в настоящее время не предусмотрена в существующей НТД в требуемом объеме, что является существенным препятствием для оценки реальной работоспособности объекта по данным НК.

Показано, что одной из важнейших характеристик системы НК является калибровочная характеристика, устанавливающая функциональную связь истинного размера дефекта с показаниями прибора $a(\hat{a})$. Для рутинных методик измерения возникают существенные неопределенности в оценке вероятности разрушения, достигающие по

экспертным оценкам ошибок 500÷1000%. Однако применение современных средств и методик позволяет существенно уменьшить величины погрешностей измерения. В результате чего ряд современных средств НК можно отнести к средствам измерения (дефектотрии), погрешность которых при контроле в производственных условиях не превышает нескольких десятков процентов. Возрастает значение и необходимость получения точностных характеристик результатов контроля. Реально появляется необходимость трансформации Неразрушающего Контроля из Дефектоскопии в Дефектотрию.

Показано, что, оценивая вероятность разрушения с использованием измеренного размера дефекта, необходимо учитывать ошибки измерения. Приведена схема и алгоритм учета этих ошибок. Измерив глубину трещины - \hat{a} и учитывая погрешности измерения размеров дефекта, возможно оценить вероятность разрушения объекта, применяя выражение $P_f = P(\hat{a}) \times P(a_c)$, где $P(a_c)$ – вероятность обнаружения дефекта критического размера.

Наличие заранее полученных характеристик вероятности обнаружения дефектов (PoD-диаграмм) позволяет оценить вероятность влияния $P_{\Sigma 2}$ двух "больших" дефектов в объекте, один из которых уже обнаружен с вероятностью $P(\hat{a}_m)$ (вероятность обнаружения уже обнаруженного дефекта максимального размера), и другого дефекта, который имеет больший размер, хотя и не обнаружен, но мы можем предположить, что он присутствует. Для этого случая предложено использовать выражение: $P_{\Sigma 2} = 1 - [1 - P(\hat{a}_m)] \times [1 - P(a_c)]$.

Реализация высказанных предложений возможна при организации структур и программ доработки и освоения описанных подходов в НК. Необходимо также целевое финансирование работ по использованию результатов НК для оценки вероятности разрушения. Конкретные предложения - создание банка образцов с дефектами (для выполнения сравнительных испытаний, оценки квалификации систем НК).

В докладе Бушина С.А. «Неразрушающий контроль герметичности малогабаритных газонаполненных приборов» приведена конструкция опытного образца автоматизированной установки финишного контроля герметичности (УФКГ) газонаполненных разрядников по истечению рабочего газа и элементы разработанной методики, позволяющие контролировать объект в течение не более 30 мин с погрешностью не более 15%. Выпущена конструкторская, эксплуатационная, программная документация и специализированное ПО автоматизированного управления, сбора и обработки информации на УФКГ.

Коннов Вл.Вл., Новиков В.А. в докладе «К вопросу о комплексной оценке НДС и прогнозировании остаточного ресурса газопроводов» показали, что безопасность эксплуатации магистральных газопроводов во многом определяется напряженно-деформированным (НДС) состоянием металла, с которым связано возникновение и развитие опасных дефектов, приводящих к катастрофическим авариям. Действующие методики оценки НДС в настоящее время не позволяют однозначно определить значения компонент напряжений в трубопроводах. В докладе рассмотрены факторы, влияющие на НДС металла магистральных газопроводов, способы определения НДС, которые разделены на расчетные и физические методы.

В свою очередь физические методы разделены на классы: прямые методы, магнитные методы, акустические методы. Проведен анализ методов, согласно которому тензометрический метод характеризуется высокой точностью измерения. Однако при его использовании необходимо устанавливать средства измерения НДС до начала эксплуатации объекта. Характеристикой рентгенографического метода является высокая точность и возможность проведения "безнулевой тензометрии". Но этот метод весьма чувствителен к чистоте поверхности объекта и недостаточно мобилен.

Магнитно-шумовой и коэрцитиметрический методы характеризуются высокой мобильностью оборудования и нетребовательностью к качеству поверхности объекта. Но они чувствительны к изменению химического и фазового состава металла, в результате чего

необходима калибровка оборудования на образцах металла, идентичного металлу исследуемого объекта. Применяется также метод «магнитной памяти металла», который является индикаторным методом. Акустические методы имеют высокую точность определения напряжений (по всему объему металла). Но для их использования требуется знать акустические характеристики материала объекта.

В докладе Л.Ю. Могильнера, А.Ю. Владовой, А.Н. Панкратова «Совершенствование методик контроля систем молниезащиты и заземления для обеспечения промышленной безопасности объектов перекачки нефти» проведен детальный анализ влияния молниезащит на безопасность объектов нефтегазового комплекса. Рассмотрены защита резервуарных парков, зданий, сооружений, резервуарных парков, трубопроводов заводов по переработке углеводородов от поражения молнией.

Важность анализируемой проблемы доказывается многочисленными примерами аварий. Указано, что ежегодно в мире возникают пожары на 15 – 20 резервуарах, из них 5 и более – в результате удара молнии. Среди аварий на резервуарах, происходящих под воздействием окружающей среды, более 60% происходят от ударов молнии. На территории Северной Америки 16 из 20 аварий на резервуарах для хранения нефтепродуктов произошли в результате удара молнии.

Рассмотрены методы борьбы с молниевой опасностью. Сформулированы общие требования к обеспечению молниезащиты и факторы воздействия молнии на объекты, включающие: прямой удар, косвенное воздействие, влияние на электронные приборы и оборудование. Предложены типовые решения для парка из 2 резервуаров РВС-20000 и реализация с привязкой к местным условиям.

В ПАО «Транснефть» системы молниезащиты подразделяются три составные части: 1. Проектирование. 2. Эксплуатация. 3. Диагностирование. При диагностировании молниезащиты и заземления объекта выполняются измерения и расчеты. Рассмотрены измерительное и испытательное оборудование для обследования состояния молниезащиты и заземления объекта. Парк измерительного и испытательного оборудования предназначен для выполнения полного набора необходимых измерений «под ключ»: мультиметры, трассопоисковые приборы, измерители уровня электромагнитных полей. При этом комплекты измерительного и испытательного оборудования должны соответствовать российским стандартам. Средства измерения должны быть внесены в соответствующий государственный реестр.

Приведен объем работ по рассматриваемому вопросу. За период 2012 – 2016 годы обследованы системы молниезащиты и заземления более 550 объектов. Технология разработана для применения на объектах: нефте-продуктоперекачивающие станции нефтебазы компрессорные станции оборудование линейной части магистральных трубопроводов. В состав и объем работ по измерению параметров системы молниезащиты и заземления входят: визуальная и инструментальная оценка состояния системы защиты от прямого удара молнии, визуальная и инструментальная оценка состояния заземляющих устройств, определение влияния электромагнитных полей от молнии на электронную аппаратуру автоматики и сигнализации. Критерием качества работ является электробезопасность при эксплуатации объекта. Целью – определение срока устранения несоответствий установленным требованиям. По результатам обследования оборудования молниезащиты и заземления разрабатываются компенсирующие мероприятия

Сясько В.А., Уманский А.С., Кондратьев А.В. в докладе «Измерение механических свойств методом инструментального индентирования. Методические и метрологические аспекты. Оценка функции формы индентора» перечислили методы измерения твердости. Авторы разделили методы на статические, динамические и ультразвуковые. Отмечены основные особенности и отличия методов измерения твердости по: форме индентора, значению нагрузки, способу нагружения, глубине внедрения, методу измерения размеров отпечатка, алгоритму расчета чисел твердости. Рассмотрены особенности геометрии индентора, алгоритм косвенной оценки функции формы индентора, графики зависимости

твёрдости (H) и модуля упругости (E) от глубины индентирования (h). Представлена государственная поверочная схема средств измерений твёрдости по шкалам Мартенса и шкалам индентирования.

Авторы указывают, что для того, чтобы уменьшить влияние множества независимых источников неопределённости можно осуществляя поверку твердомеров на стандартных образцах свойств, для которых будет обеспечено постоянство механических свойств в диапазоне глубин индентирования. Аттестация механических свойств должна проводиться по следующим параметрам: химический состав; кристаллическая структура; модуль упругости; микротвёрдость по Виккерсу.

Делается вывод, что стандартные образцы свойств являются не просто мерами величин, значения которых приписаны им в результате калибровки в рамках принятой поверочной схемы, но являются, стандартными образцами этих свойств в силу своего химического состава и структуры.

Выполненные авторами доклада эксперименты показали, что процедуры коррекции формы индентора по предложенному ими алгоритму позволяют учесть отклонение геометрии индентора и его закругление при вершине, а также уменьшить влияние функции формы при вычислении физико-механических свойств материалов методом инструментального индентирования.

Переход от использования мер твёрдости при калибровке и поверке приборов, реализующих метод инструментального индентирования к стандартным образцам свойств является эффективным средством устранения влияния методической составляющей неопределённости результатов измерения, позволяет повысить повторяемость и уменьшить неопределённость результатов измерений твёрдости и модуля упругости при малых глубинах индентирования, что особо важно при контроле механических свойств тонких покрытий, плёнок и модифицированных слоёв.

Введение стандартных образцов свойств в поверочную схему для средств измерений твёрдости по шкалам Мартенса и шкалам индентирования будет эффективным решением в целях обеспечения единства измерений механических свойств методом инструментального индентирования.

Н.А. Махутов
В.И. Иванов
В.А. Барат