

## **Круглый стол: «Риск-ориентированное техническое диагностирование»**

**Модераторы:**

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

**А.А. Благодирова**

**В.И. Иванов, д-р. техн. наук, НИИИМ МНПО «Спектр»**

Повышение требований в области техногенной безопасности, развитие научно-технических представлений и разработок, обеспечивающих безопасность технических систем неизбежно привело к необходимости использования количественных показателей техногенной безопасности (ТгБ). Комплексной и универсальной мерой ТгБ является величина риска аварии. В пользу этого вывода говорит повышенное внимание вопросам оценки риска и созданию документов разного уровня, обеспечивающих внедрение риск-ориентированных подходов в практику обеспечения техногенной безопасности. Количественной оценкой ТгБ является величина риска аварии. Начиная с 2013 г., после принятия новой редакции закона о промышленной безопасности от 02.07.2013, в Ростехнадзоре была создана система НТД, которая обеспечивает легитимацию риск-ориентированных подходов при оценке промышленной безопасности.

В существующих методах оценки риска аварии в подавляющем большинстве случаев отсутствует учет технического состояния объекта, риск аварии которого требуется определить. Таким образом, исключается возможность и необходимость использования результатов технического диагностирования (ТД) при оценке риска аварии, что существенно усложняет получение количественных показателей риска. В этой связи было принято решение о проведении в рамках Форума «Территория NDT 2017» круглого стола на тему «Риск-ориентированное техническое диагностирование». В его программу включено 5 докладов, в которых были проанализированы основные проблемы, связанные с рассмотрением возможностей, проблем и задач, обеспечивающих реальное использование методов и средств НК-ТД для оценки риска аварии.

В докладе чл.-корр. РАН Н.А. Махутова, РГ РАН "Риск и безопасность", ИМАШ РАН - НИИ "ТРАНСНЕФТЬ" рассмотрены вопросы, связанные с оценкой рисков при создании и функционировании объектов. Приведены национальные приоритеты и стратегические цели развития страны. Показано, что одной из базовых стратегических задач является обеспечение Промышленной Безопасности. Для решения данной задачи сформулированы критерии безопасности и развития, которые включают качественные и процедурные требования, критерии индивидуальных рисков и критерии экономических рисков. Показано, что удовлетворение указанных критериев обеспечивается корпусом законов РФ, включающим ФЗ «О безопасности» от 28.12.2010 № 390-ФЗ, ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ (в ред. от 02.07.2013), ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ (в редакции от 12.03.2014 г.) и ряд других законов.

Рассмотрены классы ОПО (критически и стратегически важные объекты) с позиции влияющих факторов на безопасность предприятий, включая природные, техногенные и человеческие факторы. Перечислены методы оценки показателей безопасности в их историческом развитии: прочности, ресурса, надежности, живучести, безопасности, риска, защищенности. Аварии и катастрофы классифицированы на локальные, объектовые, местные, региональные, национальные, глобальные, планетарные. Для этих классов определены величины ущерба и вероятности этих событий. В зависимости от данной классификации предложено строить стратегию, тактику и методики защиты от катастроф. Сформулированы определяющие соотношения для рисков, включающие условие безопасности, вероятности опасных процессов, ущерба от опасных процессов, риски опасных процессов. При оценке рисков принимается во внимание  $R(t)$  – фактический расчетный риск,  $R_c(t)$  – критический (неприемлемый) риск,  $[R(t)]$  – приемлемый риск,  $Z(t)$  – затраты на снижение риска,  $n_R$  - запасы по рискам ( $n_R = 2-5$ ),  $m_Z$  – коэффициент эффективности затрат.

Предложена общая структура обеспечения технических устройств в соответствии с этапами и годами, базовые требования и критерии, обеспечивающие безопасность. Последовательно перечислены базовые требования→критерии и годы начала использования этих критериев: Прочность→Неразрушимость (1920), Жесткость, Устойчивость→Сохранение размеров и формы (1940), Ресурс→Долговечность (1960), Надежность→Отказоустойчивость (1970), Живучесть→Трещиностойкость (1980), Безопасность→Управление безопасностью (1990), Риск→Приемлемые риски (2010), Защищенность→Обеспечение защищенности (2020).

В докладе д.т.н., проф. Гетмана А.Ф «Оценка вероятности разрушения технических устройств с использованием методов механики разрушения» рассмотрены количественные связи показателей надежности по критериям разрушения, течи или выявления дефекта в эксплуатации с результатами неразрушающего контроля.

В первую очередь докладчик рассмотрел влияние качества изготовления на надежность объекта. В частности, исследованы наиболее опасные дефекты - трещины (продольные и поперечные) в сварном шве и околошовной зоне. Для исследования этих трещин в лаборатории ВНИИАЭС в период 1986 – 1996 гг был изготовлен уникальный комплект полномасштабных тест-образцов имитирующих дефекты в различных элементах первого контура АЭС, включая: коллектор парогенератора реактора ВВЭР-1000, тройник из стали типа 0X18H10T Ду500, Ду200 ГЦТ РУ ВВЭР440; трубопровод Ду500 ГЦТ РУ ВВЭР440; трубопровод Ду800 КМЩ РУ РБМК-1000; элемент корпуса реактора ВВЭР440 и других элементах.

С использованием этих образцов был проведен большой объем работ, в которых получены основные показатели неразрушающего контроля. В частности, получены зависимости выявляемости дефектов от их площади  $S$ . Получены кривые сравнивающие результаты четырех операторов НК.

Исследованы зависимости выявляемости дефектов, обнаруженных при контроле с помощью различных методик, от размеров (протяженности) дефекта. Было использовано две методики. В контроле принимали участие операторы различной квалификации. Контроль проводили как в лабораторных условиях, так и на АЭС. Результаты имели большой разброс выявляемости 15% - 95%. Исследованы зависимости выявляемости дефектов для различных методов НК, включая; радиографию, УЗК,

Важным показателем качества объекта является остаточная дефектность, которую можно определить, имея информацию об исходной дефектности и функции распределения выявляемых в результате контроля дефектов. Для уменьшения величины остаточной дефектности полезно проведение повторных контролей. Достоверная и вероятностная части остаточной дефектности.

Показано, что вероятность разрушения  $P_p$  равна вероятности существования в элементе конструкции дефекта с размерами, которые обеспечивают выполнения условия  $P_p = P_a(a \geq a_{crit})$ , где  $a_{crit}$  – либо равно толщине стенки объекта (критерий течь перед разрушением), либо критическому размеру трещины, приводящей к разрушению. Приведены вероятности возникновения течей или разрушений ГЦТ энергоблока №3 АЭС «Моховце» в рамках концепции ТПР: 1) Вероятность возникновения течи через сквозной дефект не превышает величины  $1E-5$ ; 2) Вероятность разрушения трубопровода после возникновения течи в связи с высокой циклической вязкостью разрушения конструкционной стали менее  $1E-7$ ; 3) Вероятность разрушения трубопровода по механизму «разрушение без течи» для большинства рассмотренных критических зон трубопровода равна 0, а для нескольких зон  $P_p \ll 1E-7$ . Вероятность разрушения зависит от качества изготовления, разброса характеристик трещиностойкости, разброса нагрузки и качества контроля.

В настоящее время созданы программные продукты, обеспечивающие расчеты вероятностей разрушения с использованием информации о конструкции, свойствам материала, данных по напряжениям и дефектности материала. Применение методов МР и НК позволяет определить показатели безотказности изделия по критериям дефектности, течи или разрушения до начала эксплуатации без предварительных испытаний или без предварительной эксплуатации изделия, только по результатам неразрушающего контроля изделия, характеристикам достоверности использованного метода НК и скорости роста вероятных дефектов за время эксплуатации  $t$ .

В докладе д.т.н., проф. В.И. Иванова «Проблемы ТД и НК при оценке риска аварии» формулируется вопрос – как измерить промышленную безопасность? Старые подходы основаны на подсчете человеческих жертв, материальных и финансовых потерь. Однако постулируется, что универсальной системной мерой является величина риска аварии. Оценку риска аварии  $R$  предложено выполнять с использованием выражения  $R = A \cap P_f(t) \cap E \cap L$ , где  $A$  – априорная информация (идентификация опасностей),

$P_f(t)$  - вероятность разрушения,  $E$  – развитие процесса аварии (Escalation)  $L$  - величина потерь, символ  $\cap$  означает логическое умножение разнородных классов событий.

В настоящее время разработано и применяется более 40 методик оценки риска, включая построение деревьев событий, деревьев отказов и т.д. Отмечено, что в действующих методических документах по оценке риска, как в системе Росстандарта и Ростехнадзора, а также в зарубежных документах, как правило, при оценке риска используют не вероятность аварии, а статистические показатели или экспертные оценки. Это приводит к большому разбросу оценок достигающих нескольких порядков величины.

Показано, что значение вероятности аварии можно получить только при выполнении технического диагностирования и неразрушающего контроля. При этом необходимо иметь информацию о техническом состоянии объекта, риск аварии которого находится. Поэтому техническое диагностирование формулируем как определение технического состояния объекта с целью оценки промышленной безопасности посредством оценки вероятности аварии. Основная проблема ТД заключается в обеспечении реальной связи между составляющими ТД + использование результатов ТД при оценке риска аварии

Развитие подходов в оценке опасности дефектов связано с переходом от нормирования дефектов к расчету влияния дефектов на безопасность объекта, что предопределяет переход от дефектоскопии к дефектометрии. Для этого требуются значительные объединенные усилия многих организаций и специалистов, а также специальное финансирование работ и организация программ исследований наподобие программы PISC (I - II- III, 1975-1995 гг.). Потребуется разработка комплекса НТД и стандартов по оценке риска с использованием методов технического диагностирования, создание методик оценки вероятности аварии. Целесообразно создание системы подготовки и аттестации специалистов в области ТД.

Доклад Генерального директора ГИАП-ДИСТцентр В.В. Мусатова «Риск-ориентированная оценка состояния технических устройств» посвящен рассмотрению конкретных вопросов использования методов ТД для оценки вероятности аварий производственных объектов. При этом основными целями внедрения риск-ориентированного (РО) ТД должны являться: систематизация подходов по контролю технических устройств (ТУ), обеспечение повышения уровня промышленной безопасности, минимизация числа отказов, выработка единых требований к процессу ТД и анализа фактического состояния ТУ, оптимизация процесса ТД, определение объема ремонтных работ ТУ, перечня заменяемых узлов и деталей и, наконец, определение возможности дальнейшей эксплуатации ТУ и прогноз остаточного ресурса ТУ.

В докладе отмечено, что существенными проблемами анализа риска является излишнее число необоснованных подходов и методик анализа, что приводит к неопределенности результатов и большому разбросу оценок риска, достигающим 2-4 порядков величины. В этом отношении зарубежные стандарты ISO, API и других организаций не решают отмеченных проблем,

поскольку в них отсутствуют оценки вероятности отказа. В докладе указано, что при выполнении вероятностного анализа отказа должны учитываться следующие характеристики: распределение механических свойств металла, начальная дефектность, режимы нагружения зон контроля (НП-084-2015 от 07.12.2015), погрешности измерения параметров дефектов, вероятность обнаружения дефектов методами НК.

Приведен алгоритм риск-ориентированного ТД, включающий: составление технического задания, постановку задачи, анализ документации и натурное диагностирование с применением дефектометрических средств и методик, оформление результатов с обоснованными предложениями по дальнейшей эксплуатации объекта, указанием сроков и вероятностей отказов.

В докладе также приведены предложения по этапам внедрения риск-ориентированного ТД на ОПО; принципиальная схема выполнения риск-ориентированного ТД; алгоритм ТД в рамках риск-ориентированного подхода; схема основных дефектов и их зависимость от механизмов деградации и влияющих факторов; пример эффективности программ технического диагностирования; дерево склонности к механизму повреждения (питтинговая коррозия); выявляемость дефектов ТУ в зависимости от методов контроля.

Приведены предложения ЗАО «ГИАП-ДИСТцентр по этапам эволюции риск-ориентированного ТД, включающие: Этап 1. Переход от ППР к созданию систем, основывающихся на качественной, экспертной оценке состояния ТУ (по оценкам ЗАО «ГИАП-ДИСТцентр» время перехода - от 2-х лет). Этап 2. Переход к созданию систем, основывающихся на количественных методах анализа риска (по оценкам ЗАО «ГИАП-ДИСТцентр» время перехода может составить до 5-ти лет после окончания Этапа 1.).

Сформулированы ближайшие задачи риск-ориентированного ТД, включающие: разработку НТД в области технического диагностирования, организацию подготовки и подготовку специалистов в области коррозии и технического диагностирования.

В докладе Генерального директора ООО «НУЦ «Качество» Копытова С.Г. «Подготовка и аттестация специалистов по техническому диагностированию и оценке риска аварий» сообщается, что ООО «НУЦ «Качество» проводило сертификацию специалистов по ТД в рамках СДСПНК РОНКТД в соответствии с аккредитацией, дающей право на проведение данных работ. Решением Наблюдательного совета Единой Системы Оценки Соответствия (ЕС ОС) № 78-БНС от 06.09.2015 г. внесены изменения в систему документов по аккредитации (СДА), касающиеся аттестации экспертов, и дополнения в Перечень областей аккредитации НОА, регламентирующие проведение аттестации специалистов по техническому диагностированию, обследованию и освидетельствованию в ЕС ОС.

Программа подготовки специалистов рассчитана на 80 часов и включает следующие основные разделы:

1. Промышленная безопасность. Техническое диагностирование и освидетельствование. Общие положения

2. Требования по техническому диагностированию и техническому освидетельствованию объектов, поднадзорных Ростехнадзору
3. Промышленная безопасность и охрана труда при эксплуатации и техническом диагностировании
4. Актуальные вопросы развития нормативно – технической базы по техническому диагностированию

В докладе приведен перечень экзаменов, которые проводятся при аттестации специалистов в области ТД, требования к содержанию реферата, подготавливаемого претендентом на аттестацию в области ТД.

**Отчет предоставил:**

**В.И. Иванов, д-р. техн. наук, НИИИН МНПО «Спектр»**