

Техническое диагностирование и оценка риска аварии в нефтегазовой отрасли

В.И. ИВАНОВ, д-р техн. наук, ст. науч. сотрудник (ЗАО НТЦ ПБ), **В.Н. ПАНЧИКОВ**, директор (Самарский филиал ОАО «Оргэнергонефть»)

Рассмотрены вопросы получения количественных показателей промышленной безопасности на основе данных технического диагностирования. Сделан вывод о необходимости внесения в методические документы по оценке риска аварий положений по учету результатов технического диагностирования и неразрушающего контроля.

The issues are reviewed pertaining to obtaining quantitative indices of industrial safety on the bases of technical diagnostics data. The conclusion was made on the need of implementing provisions on the record of technical diagnostics and non-destructive testing results to the methodical documents on accidents risk assessments.

Ключевые слова: промышленная безопасность, риск аварии, техническое диагностирование, неразрушающий контроль, достоверность.

Устойчивое развитие нефтегазовой и нефтеперерабатывающей отрасли невозможно без использования новых подходов, обеспечивающих повышение промышленной безопасности технических устройств. Наиболее опасны объекты, работающие при повышенных давлениях, температуре и содержащие опасные вещества. К ним относятся сосуды, магистральные и технологические трубопроводы, строительные конструкции и др. Для анализа их безопасности широко применяют методы неразрушающего контроля (НК) и технического диагностирования (ТД).

В настоящее время развитие НК, ТД, механики разрушения дает возможность использовать новые подходы к оценке промышленной безопасности, основной из которых — риск-ориентированная экспертиза промышленной безопасности (диагностирование) технических устройств. Наиболее полно в практике анализ риска используется при составлении декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов [1, 2].

Риск-ориентированный надзор связан с новыми подходами в надзорной деятельности, обеспечивающими выполнение контрольно-надзорных функций, основанными на оценке безопасности с использованием методологии анализа риска аварии [3].

Промышленную безопасность можно оценивать качественными либо количественными показателями. Показателями безопасности считаются, например, число аварий, инцидентов, стоимость потерпевшего аварии технического объекта, потери от простоя, утраченного продукта и др. Весьма важные показатели для страхования ответственности — мак-

симальное количество пострадавших при аварии и стоимость человеческой жизни. Оценивать безопасность через подсчет стоимости человеческой жизни казалось наиболее спорным, однако анализ показывает, что и этот показатель при необходимости может использоваться при оценке безопасности [4].

Свести указанные разнородные показатели к единственному показателю, которому потенциально можно придать количественную оценку, позволяет подход, основанный на оценке риска аварии. В настоящее время наиболее широко используют следующее выражение для оценки риска аварии R :

$$R = PV, \quad (1)$$

где P — вероятность нежелательного события; V — потери в результате этого события.

Следует отметить, что величины, входящие в формулу (1), — функционалы, отображающие сложные многоэтапные процессы, которые требуют соответствующего многоаспектного анализа. Например, в качестве первого сомножителя может выступать как вероятность, так и частота неблагоприятных событий, получаемая в результате статистического анализа аварий. Вероятность аварии может и должна вычисляться, статистические данные получают в результате обработки апостериорной информации.

Принимая во внимание значительное число аварий по причине нарушения герметичности (целостности) оборудования, при количественной оценке промышленной безопасности необходимо учитывать методы, которые используют при техническом диагностировании: НК и механику разрушения.

Следует подчеркнуть, что оценка промышленной безопасности должна базироваться на системном подходе, в котором все элементы взаимосвязаны между собой и ориентированы на достижение одной цели — обеспечение промышленной безопасности.

Далее рассмотрим это более подробно с точки зрения требований, которые формулируются для НК при включении его в систему расчета риска аварии.

В процессе выполнения НК нужно получить количественную информацию, которую затем применяют в моделях механики разрушения для расчета статической, циклической и долговременной прочности объекта, его живучести и ресурса.

Новые подходы требуют расширения содержания понятий и формулировок. В частности, предлагается следующая формулировка общепринятого термина «техническое диагностирование»: «техническое диагностирование — определение технического состояния объекта в целях оценки безопасности эксплуатируемых объектов и прогнозирования остаточного ресурса». Следует подчеркнуть, что основная проблема при ТД — это установление реальной связи между отдельными составляющими ТД с получением конечного результата, т.е. количественной оценки промышленной безопасности.

Основное требование к неразрушающему контролю, возникающее в результате его использования в системе расчета риска, — трансформация дефектоскопии в дефектometriю [5]. Цель — извлечение максимально возможной информации при выполнении НК, повышение достоверности результатов НК и принятие адекватных решений по обеспечению промышленной безопасности. Отсюда основные задачи, стоящие перед НК и ТД на современном этапе:

повышение чувствительности, учитывая новые требования к НК и ТД;

увеличение количества извлекаемой информации (получение более точных размеров дефектов, оценка формы дефекта, его вида, ориентации и т.д.);

автоматизация процесса контроля (автоматизация сканирования);

автоматизация обработки информации (распознавание образов);

разработка новых методов НК и ТД (голография, томография и др.);

разработка новых методов мониторинга и обновление его применения;

создание новых подходов и нового поколения нормативных и методических документов, отражающих тот факт, что НК и ТД в системе расчета риска — измерительные процессы. Это требует пополнения методических документов калибровочными характеристиками. Кроме того, НК по своей природе случайный процесс, что требует введения специфических параметров и определения показателей достоверности НК и ТД;

разработка новых систем оценки результатов НК и ТД, например, создание систем классификации дефектов по степени их реальной опасности по критериям риска и разработка новых критериев браковки объектов по результатам НК и ТД;

поиск связей НК, ТД и смежных областей, участвующих в оценке надежности и безопасности производственного объекта, в оценке ресурса, в определении его предельного состояния.

Решение задач, стоящих перед НК и ТД, возможно только путем перехода от дефектоскопии к дефектometriи [5]. Дефектметрия представляет собой комплексный многоэтапный процесс. Его основные составляющие: обнаружение (поиск) дефектов, разрешение (различение), идентификация (типизация), измерение параметров, а также введение показателей достоверности, погрешности измерения.

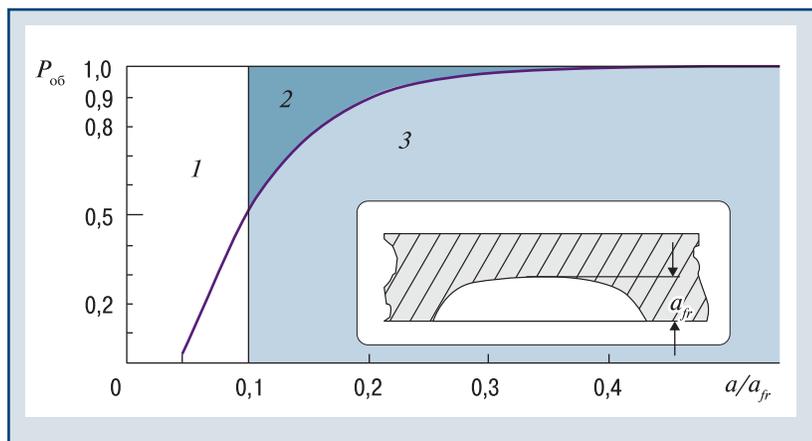
Надо заметить, что сформулированные выше задачи требуют создания новой классификации методов и средств НК. Можно выделить следующие системы НК:

информационно-диагностические, в которые входят средства автоматизации, контроля, мониторинга, а также индикаторы;

измерительные.

Информационно-диагностические системы (ИДС) извлекают информацию при выполнении диагностических работ, их используют для получения и оценки количества информации о техническом состоянии объекта. Эти системы представляют собой совокупность функционально объединенных воспринимающих, обрабатывающих, вычислительных, контрольных, диагностических, измерительных и других вспомогательных технических средств и каналов для получения и преобразования информации о конкретном объекте диагностирования, обработки ее в целях представления эксперту в требуемом виде или автоматического осуществления функций контроля, диагностики, идентификации, распознавания образов.

При применении методов НК для выявления дефектов (несплошностей) с помощью средств измерения определяют параметры дефектов: размеры, координаты, форму, ориентацию. Эти параметры необходимо использовать на практике при решении сформулированных выше задач. Один из важнейших параметров — вероятность обнаружения дефекта (ВОД) $P_{об}$ (рис. 1). В зарубежной практике этот параметр получил обозначение POD (probability of detection). На рис. 1 по оси абсцисс отложен размер дефекта в относительных единицах, где в качестве критериального принят размер $a_{кр}$, при котором происходит разрушение объекта либо сквозная протечка; выделены: 1 — область размеров дефектов, которые не влияют на прочность объектов (т.е. такие дефекты безопасны); 2 — область невыявленных дефектов (необнаруженных, т.е. пропущенных с ве-



▲ Рис. 1. Зависимость ВОД от относительного размера дефекта $a/a_{гр}$

роятностью $1 - P_{об}$), определяемая качеством системы НК; 3 — область, в которой дефекты выявляются с определенной вероятностью $P_{об}$, должна стать одной из основных характеристик системы НК. В систему НК входят методики, средства и персонал. Качество этих составляющих определяет качество и количество информации, получаемой в результате выполнения НК. Дефекты, с размерами, входящими в область 3, могут повлиять на прочность объекта, поэтому эти дефекты должны быть обнаружены, а их размеры определены.

Дефекты размером $0,1a_{гр}$ и менее (область 1) при любых реальных условиях для данного объекта не могут привести к его разрушению. Область 3, содержащая выявляемые дефекты, позволяет непосредственно рассчитывать прочность и ресурс, используя соответствующие алгоритмы. При этом применяют известные формулы расчета прочности объекта при постоянной нагрузке или формулы, основанные на уравнениях Пэриса (для циклического нагружения) [6, 7]. Вероятности, применяемые для расчета риска, возникают из-за неопределенностей, связанных с погрешностями измерения параметров дефектов и неполной адекватностью моделей механики разрушения.

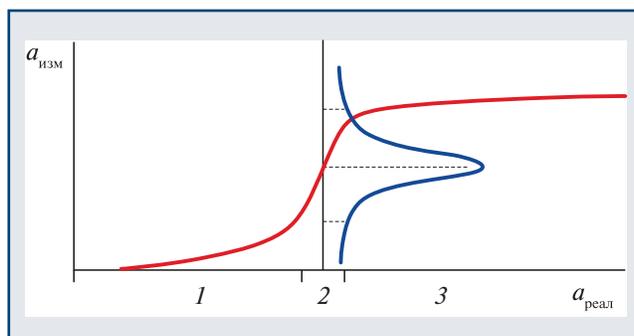
Для области 2 следует использовать «консервативную» оценку вероятности аварии, которую необходимо проводить с применением вероятностного распределения размеров дефектов в объекте [6, 8]. При консервативном подходе произведение вероятности пропуска дефекта при выполнении НК на распределение дефектов по размерам в объекте представляет информацию о возможности присутствия в объекте необнаруженных дефектов. Этот показатель следует учитывать при оценке вероятности разрушения объекта по причине развития необнаруженного при НК дефекта.

Для обеспечения требования об измерении размеров дефектов, которые используются при оценке прочности объекта, необходимо вводить в методические документы по НК калибровочные характери-

стики, связывающие измеренные размеры дефекта с реальными (рис. 2) [9].

На рис. 2 представлена кривая разброса измеренного размера дефекта, которая обуславливает неопределенность при оценке риска: 1 — область «малых» размеров дефектов, что в терминах НК представляется как область поиска дефекта, близкая к предельной чувствительности; 2 — область измерения размеров дефектов; 3 — область насыщения, в которой изменения размеров дефектов слабо влияют на показания прибора. Область измерения дефектов должна быть как можно шире. Поскольку получение этих дан-

ных — измерительный процесс, необходимо иметь показатели погрешностей измерения. Кроме того, и это уже современные требования, надо иметь показатели достоверности для методик НК [10].



▲ Рис. 2. Обобщенная калибровочная характеристика, обеспечивающая установление связи реального размера дефекта $a_{реал}$ с показаниями прибора $a_{изм}$

При выполнении НК нужно использовать диаграммы, которые можно назвать «Рабочие характеристики системы НК» (рис. 3), связывающие вероятность обнаружения дефектов $P_{об}$ и вероятность «перебраковки» $P_{пб}$ (т.е. вероятность ложной тревоги). Подобные диаграммы надо применять при выборе показателей НК. Рекомендуется использовать рабочую область, определяемую неравенствами: $P_{об} \geq 0,8$, $P_{пб} \leq 0,2$ (зеленая область). В том случае, если система НК не обеспечивает требований приведенных неравенств, необходимо проведение повторного контроля. Увеличение вероятностей при выполнении повторного контроля можно оценить с помощью выражения [11]

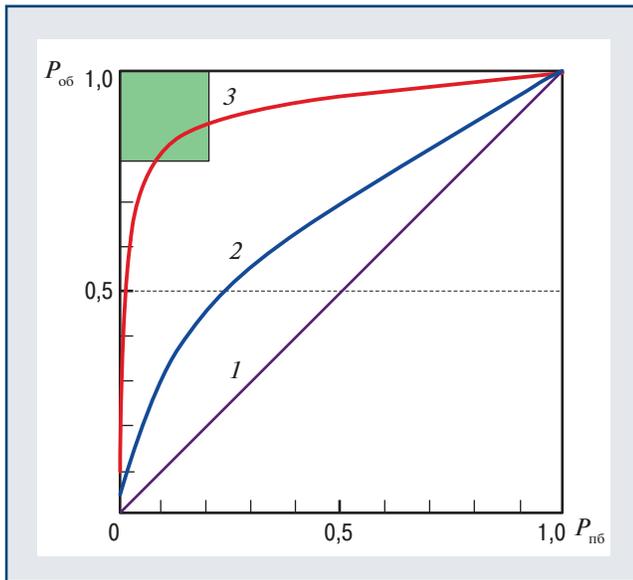
$$P_{об} = 1 - (1 - P_1)^m \quad (2)$$

или

$$P_{об} = 1 - (1 - P_1) \cdots (1 - P_m), \quad (3)$$

где P_1, \dots, P_m — исходные вероятности однократного контроля; m — число независимых контролей.

Из формул (2) и (3) можно получить выражения для необходимого числа контролей m и вероятности



▲ Рис. 3. Диаграмма, связывающая вероятности обнаружения дефекта $P_{об}$ и дефекта «перебраковки» (ложной тревоги) $P_{нб}$:
1 – 3 – увеличение отношения «сигнал/шум»

сти P_1 , которая соответствует квалификации оператора НК:

$$m = \frac{\lg(1 - P_{об})}{\lg(1 - P_1)}, \quad (4)$$

$$P_1 = 1 - \sqrt[m]{1 - P_{об}}. \quad (5)$$

Учитывая сказанное ранее, можно заключить, что для адекватного использования методов НК при оценке риска желательно, чтобы в современной методике НК содержался ряд показателей:

1. Показатели достоверности НК, характеризующие данную методику. Достоверность НК — показатель, связанный с вероятностью принятия безошибочных решений о наличии или отсутствии дефектов [10].

2. Калибровочные характеристики, связывающие измеренные величины с реальными [12].

3. Показатели качества измерений, например погрешности [12].

4. Рабочая характеристика (энтропийная характеристика) системы, в соответствии с которой разработчик технологии НК должен выбирать параметры контроля. Рабочие характеристики процесса обнаружения дефектов позволяют выбрать рабочие области контроля [13].

5. Критерии «опасности» (критичности) дефектов, связанные с возможностью и последствиями разрушения исследуемого объекта.

В методические документы по анализу риска аварии, проводимого для действующих объектов, необходимо ввести положения, связанные с использованием информации, получаемой при ТД (нераз-

рушающем контроле, металловедении и механике разрушения) с применением современных параметров и подходов, изложенных в настоящей статье. С учетом данных по всем остальным причинам аварий (внешние воздействия, человеческий фактор) это позволит выйти на получение всесторонней оценки вероятности аварии.

В той или иной мере рассмотренные подходы описаны и проанализированы в работах [10–14].

Список литературы

1. ПБ 03-314–99. Правила экспертизы декларации промышленной безопасности с изм. № 1 [ПБИ 03-393(314)–00]// Экспертиза промышленной безопасности: Сборник. — Сер. 26. — Вып. 2. — М.: ФГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2004. — С. 30–36.
2. РД 03-418–01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. — Сер. 3. — Вып. 10. — М.: ГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2001. — 60 с.
3. Ферантов А.В. Оптимизация надзорной деятельности по критериям риска возникновения аварий на опасных производственных объектах топливно-энергетического комплекса// Безопасность труда в промышленности. — 2010. — № 7. — С. 3–4.
4. К вопросу об оценке стоимости человеческой жизни/ И.А. Кручинина, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров// Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2003. — № 4. — С. 72–75.
5. Власов И.Э., Иванов В.И. О дефектометрических подходах в ультразвуковом контроле// Дефектоскопия. — 1998. — № 2. — С. 41–46.
6. Вероятностный риск-анализ конструкций технических систем/ А.М. Лепихин, Н.А. Махутов, В.В. Москвичев, А.П. Черняев. — Новосибирск: Наука, 2003. — 174 с.
7. Махутов Н.А., Пермяков В.Н. Ресурс безопасной эксплуатации сосудов и трубопроводов. — Новосибирск: Наука, 2005. — 516 с.
8. Щербинский В.Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений. — М.: Тиссо, 2003. — 326 с.
9. Иванов В.И., Власов И.Э. Некоторые проблемы неразрушающего контроля// Дефектоскопия. — 2002. — № 7. — С. 82–93.
10. Коновалов Н.Н. Нормирование дефектов и достоверность неразрушающего контроля сварных соединений. — М.: ГУП НТЦ ПБ, 2004. — 132 с.
11. Власов И.Э., Иванов В.И. Полезность многократного контроля// Безопасность труда в промышленности. — 2005. — № 11. — С. 50–53.
12. Бадалян В.Г. Погрешность измерения дефектов с использованием систем с когерентной обработкой данных// Дефектоскопия. — 2003. — № 3. — С. 12–23.
13. Ivanov V.I., Vlasov I.E., Priyatkin G.V. Some Probability Aspects of Technical Diagnostic Performance// Report on 8th European Conference on NDT, 17–21 June 2002. — Barcelona, 2002.
14. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах. — Сер. 27. — Вып. 1. — М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2005. — С. 118.