

# В Ростехнадзоре

УДК 340.132.6:331.45:621.798.3

© А.В. Ферапонтов, А.Ф. Гонтаренко, 2010

## РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ



**А.В. Ферапонтов,**  
зам. руководителя  
(Ростехнадзор)



**А.Ф. Гонтаренко,**  
канд. техн. наук,  
зав. отделом  
(АНО «Агентство исследований промышленных рисков»)

*The Article describes the principles of risk-oriented methodology for pressure vessels technical certification (inspection) ensuring their operational reliability; main measures on implementation of the above methodology are provided, and the conditions of its implementation at hazardous production facilities are noted.*

*Ключевые слова: промышленная безопасность, сосуды, работающие под давлением, эксплуатационная надежность, техническое освидетельствование, фактор риска.*

В соответствии с Федеральным законом от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» один из признаков отнесения объекта к опасным производственным объектам — использование на этом объекте оборудования, работающего под избыточным давлением свыше 0,07 МПа или при температуре нагрева воды свыше 115 °С. В 2009 г. Ростехнадзор осуществлял надзор за эксплуатацией около 230 тыс. сосудов, работающих под давлением [1], представляющих собой герметически закрытые емкости, предназначенные для ведения тепловых, химических, технологических процессов с газообразными и жидкими рабочими средами, а также для хранения, использования и перевозки указанных рабочих сред. Причина аварий на сосудах, работающих под давлением, — их разгерметизация. Разрушение стенок сосуда сопровождается мгновенным расширением рабочей среды, взрывами, возникновением сильных ударных волн и образованием большого числа осколков, что приводит к серьезным разрушениям и травмам [2].

С точки зрения безопасности работы оборудования, находящегося под избыточным давлением, важнейшее значение приобретает обеспечение эксплуатационной надежности этого оборудования. В данном случае эксплуатационная надежность — это безотказное в течение назначенного срока эксплуатации выполнение функций герметич-

ности оборудования, нарушение которых приводит к возникновению аварийных ситуаций. Одно из требований обеспечения эксплуатационной надежности сосудов — проведение их технического освидетельствования в порядке, установленном Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 03-576—03) [3].

В ряде стран (США, Канада, Великобритания, Норвегия, Австралия) применяется альтернативная методология технического освидетельствования (инспектирования) сосудов, основанная на контроле с учетом факторов риска. В данном случае под «риском» понимается произведение вероятности возможного нарушения эксплуатационной надежности сосуда, работающего под давлением, на последствия этого нарушения.

Методология инспектирования сосудов, используемых в нефтегазовой и химической промышленности, с учетом факторов риска установлена Стандартом американского нефтяного института API 510 [4] и включает следующие принципы.

1. Выявление и оценка механизмов потенциального ухудшения состояния сосуда — важные моменты для определения вероятности его выхода из строя. При выработке стратегии и тактики инспектирования необходимо учитывать также последствия выхода из строя сосуда. Сочетание оценок вероятности отказа оборудования и его последствий — существенный элемент инспектирования с учетом факторов риска.

2. При внедрении инспектирования с учетом факторов риска выполняется системная оценка как вероятности выхода оборудования из строя,

так и возможных последствий. Оценка вероятности должна учитывать все формы ухудшения эксплуатационно-прочностных характеристик сосуда, которые можно с разумной долей вероятности предполагать для конкретных условий эксплуатации этого сосуда. Примеры ухудшения эксплуатационно-прочностных характеристик сосуда: уменьшение толщины стенок сосуда в результате внутренней и наружной коррозии (местной или локальной); все формы образования трещин, включая водородное и коррозионное растрескивание (на внутренних и наружных поверхностях сосуда); снижение со временем эксплуатации прочностных характеристик металла (усталость, хрупкость, текучесть).

3. Необходима оценка эффективности инструментального обеспечения и методов инспектирования, используемых для обнаружения механизмов предполагаемого ухудшения эксплуатационно-прочностных свойств сосуда.

4. Оценку вероятности выхода оборудования из строя необходимо повторять каждый раз при изменениях в оборудовании или технологическом процессе, которые могут существенно повлиять на темп ухудшения эксплуатационно-прочностных характеристик сосуда.

5. При оценке инспектирования с учетом факторов риска необходимо учитывать также следующие факторы: использованы ли в конструкции сосуда надлежащие материалы; соответствие проектирования сосуда применительно к условиям его эксплуатации; соответствие использованных норм и правил проектирования; эффективность программ мониторинга коррозии; качество программ технического обслуживания и инспектирования.

Важной информацией для оценки будут также сведения об отказах аналогичного оборудования.

6. При оценке последствий выхода оборудования из строя следует рассмотреть возможные аварии в результате утечки жидкости, включая взрыв, пожар, выброс токсичных веществ, воздействие на окружающую среду и другие последствия для здоровья человека.

7. Все оценки инспектирования с учетом факторов риска должны тщательно документироваться с четким описанием всех факторов, влияющих как на вероятность, так и на последствия возможного выхода сосуда из строя.

8. После проведения эффективной оценки инспектирования с учетом факторов риска ее результаты могут использоваться для определения стратегии инспектирования сосудов и, в частности, для лучшего понимания таких моментов, как: наиболее приемлемые методы, объем, инструменты и процедуры инспектирования с учетом предполагаемых

форм ухудшения эксплуатационно-прочностных характеристик сосуда; надлежащая периодичность инспектирования (наружного, внутреннего и без вывода из эксплуатации); необходимость гидравлического испытания после повреждения сосуда или после завершения его ремонта или реконструкции; необходимость мероприятий по предотвращению и минимизации вероятности и последствий выхода сосуда из строя.

В основе технического освидетельствования (инспектирования) сосудов с учетом факторов риска лежит обстоятельство, что уровень риска, связанный с различными сосудами, входящими в состав технологического процесса, не одинаков. Контроль с учетом факторов риска концентрирует усилия по инспектированию и обслуживанию в тех секторах, где риск и возможные последствия наиболее велики.

Главные задачи инспектирования с учетом факторов риска: концентрация усилий на определение и снижение реальных рисков и угроз безопасности; повышение коэффициента готовности за счет остановки оборудования на проведение только самых необходимых инспекций; снижение затрат на обслуживание за счет исключения излишних подготовительных операций; повышение безопасности за счет исключения угроз, связанных с подготовкой к инспекции.

Переход к инспектированию с учетом факторов риска [5] позволил повысить коэффициент готовности с 80 до 85 %. За счет сокращения времени простоя инспектируемого оборудования с 35 до 21 дня получен экономический эффект, оцениваемый в 10 млн. долл. США.

Естественно, что экономический эффект от внедрения риск-ориентированных подходов к методологии технического освидетельствования (инспектирования) сосудов, работающих под давлением, не возможен без привлечения дополнительных людских ресурсов.

Реализация этих мероприятий осуществляется группой высококвалифицированных специалистов, обладающих опытом и знаниями: эксплуатационно-технологических характеристик оцениваемых объектов и систем; проведения инспектирования и технического обслуживания оцениваемых объектов и оборудования; анализа факторов риска и выбора процесса производства работ; реализации процесса разработки стратегии технического освидетельствования оборудования.

Группа по разработке риск-ориентированной стратегии технического освидетельствования (инспектирования) сосудов выполняет следующие мероприятия: оценку вероятности ухудшения эксплуатационно-прочностных характе-

ристик оборудования; разработку вероятных сценариев последствий ухудшения эксплуатационно-прочностных характеристик оборудования; категорирование оборудования в соответствии с уровнем риска его эксплуатации; установление периодичности инспектирования оборудования; подготовку регламентных документов проведения технического освидетельствования (инспектирования); переоценку стратегий.

Оценка вероятности ухудшения эксплуатационно-прочностных характеристик оборудования должна учитывать все возможные факторы этого ухудшения, как зависящие, так и не зависящие от времени эксплуатации.

Факторы, зависящие от времени: кислотная коррозия; атмосферная коррозия; кавитация; уголекислотная коррозия; коррозия под изоляцией; щелевая коррозия; сернистая коррозия; эрозионно-коррозионный износ; электрохимическая коррозия; коррозия под воздействием бактерий; кислородная коррозия; коррозия в зоне сварного шва; загрязнение технологической среды; сульфидирование.

Факторы, не зависящие от времени: коррозионное растрескивание под напряжением в щелочной среде; коррозионное растрескивание под напряжением под воздействием хлоридов; коррозионная усталость; хрупкое разрушение при низких температурах; механическая усталость; коррозионное растрескивание под напряжением под воздействием полиотионовой кислоты; термическая усталость; повреждения под воздействием влажного сероводородного газа.

Для каждого установленного механизма ухудшения эксплуатационно-прочностных характеристик группа разработки стратегии технического освидетельствования (инспектирования) оборудования выбирает значения вероятности, которые разбиваются по категориям, например, от А до Е следующим образом: категория вероятности А (очень высокая) — возможны неоднократные отказы оборудования в течение всего периода эксплуатации; категория вероятности В (достаточно высокая) — возможны отдельные отказы оборудования в течение всего периода эксплуатации; категория вероятности С (невысокая) — возможны в принципе отказы оборудования в течение всего периода эксплуатации; категория вероятности D (очень невысокая) — отказы оборудования вряд ли возможны; категория Е (практически отсутствует) — отказы оборудования практически невозможны.

Механизмы ухудшения эксплуатационно-прочностных характеристик могут привести к определенным сценариям последствий. Разработка ве-

роятных сценариев последствий на основе механизмов ухудшения эксплуатационно-прочностных характеристик — часть процесса подготовки программы инспектирования с учетом факторов риска. Важно рассматривать только правдоподобные сценарии, которые научно обоснованы и опираются на накопленный опыт.

Последствия, относящиеся к рискам нарушения эксплуатационно-прочностных характеристик, подразделяются по относительным категориям, начиная от I (наиболее серьезные, например, пожар, взрыв) до IV (самые незначительные, например, небольшая утечка без экологических последствий или без воздействия на безопасность).

На рисунке представлена матрица уровней риска.

Вероятность	A	Желтый	Красный	Красный	Красный
	B	Желтый	Желтый	Желтый	Красный
	C	Желтый	Желтый	Желтый	Красный
	D	Зеленый	Желтый	Желтый	Желтый
	E	Зеленый	Зеленый	Зеленый	Желтый
			VI	III	II
		Последствия			

Матрица уровней риска

Зона в верхнем правом углу рисунка (красный цвет) — зона высокого риска, по диагонали (желтый цвет) размещены зоны умеренного (среднего) риска, а в левом нижнем углу (зеленый цвет) находится зона низкого риска. В соответствии с уровнем риска проводится категорирование сосудов, работающих под давлением, на три категории.

На следующей стадии оценивается периодичность проведения инспекций сосудов, работающих под давлением, которая зависит от категории риска. При этом вводится понятие «фактор периодичности», применяемый к значению остаточного ресурса оборудования, определенному из количественной оценки коррозии [6].

Максимальная периодичность  $P$  технического освидетельствования (инспектирования) определяется следующим образом:

$$P = FR,$$

где  $F$  — фактор периодичности, значения которого принимаются от 0,1 до 0,4;  $R$  — остаточный ресурс оборудования, годы.

В таблице представлены результаты оценки периодичности проведения технических освидетельствований сосудов, работающих под давлением, с остаточным ресурсом 20 лет для областей высокого, умеренного и низкого риска.

Риск	Фактор периодичности	Периодичность инспекций (мес)
Высокий	0,1	24
Умеренный	0,2	48
Низкий	0,4	96

По сравнению с сосудами с высокой степенью риска периодичность инспектирования других сосудов увеличивается, тем самым снижается уровень риска, связанный с увеличением продолжительности простоя оборудования и риском ухудшения эксплуатационно-прочностных характеристик при неоправданно частом выполнении подготовительных и технологических операций инспектирования.

Для механизмов ухудшения эксплуатационно-прочностных характеристик, не зависящих от времени, невозможно определить периодичность технического освидетельствования. В связи с этим мониторинг технологического процесса становится очень важным элементом в контроле механизма разрушения. Для данного случая может быть рекомендован следующий режим мониторинга: для области высокого риска — комплексный мониторинг и текущие инспекции; для области умеренного риска — совершенствование мониторинга; для области низкого риска — дополнительные инспекции либо мониторинг технологического процесса не требуются.

Конечный продукт разработки стратегии технического освидетельствования оборудования — перечень требуемых работ для каждого сосуда, включаемый в регламент проведения технического обслуживания.

Для обеспечения неизменной безопасной эксплуатации требуется постоянное выявление факторов риска по мере их возникновения, а также их надлежащее устранение. Поэтому выявление и снижение факторов риска в изменяющихся условиях представляют собой непрерывный процесс. Переоценка стратегий технического обслуживания оборудования (для каждой единицы оборудования) должна выполняться каждый раз при получении новой информации. К факторам, вызывающим необходимость переоценки стратегии технического обслуживания оборудования, относятся: анализ, запланированный на каждые пять лет; новые данные по результатам инспектирования; наличие отказов; изменение проектных или технических решений.

Риск-ориентированный подход к обеспечению эксплуатационной надежности сосудов, работающих под давлением, имеет ряд преимуществ. Процедура технического освидетельствования сосудов по методике, разработанной эксплуатирующей организацией и прошедшей экспертизу промышленной безопасности, предусмотрена в законопроекте Технического регламента о безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением, подготовленном ко второму чтению в Государственной Думе Федерального Собрания Российской Федерации.

Однако при внедрении этого подхода в Российской Федерации необходимо учитывать следующие обстоятельства.

1. Методология инспектирования с учетом факторов риска применима для сосудов, не подлежащих регистрации в территориальных органах Ростехнадзора.

2. Эксплуатирующие организации должны вести постоянный мониторинг за техническим состоянием сосудов и располагать информацией об опыте эксплуатации аналогичного отечественного и зарубежного оборудования.

3. Работники служб неразрушающего контроля и коррозии, а также других служб, участвующие в разработке риск-ориентированной стратегии технического освидетельствования (инспектирования) сосудов, должны обладать соответствующей квалификацией в области анализа факторов риска.

4. Необходимо изменение методологии контрольной и надзорной деятельности инспекторского состава Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.

### Список литературы

1. *Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2009 году.* — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2010. — 459 с.

2. *Гонтаренко А.Ф., Хапонен Н.А.* Техническое регулирование в области безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением // *Безопасность труда в промышленности.* — 2007. — № 6. — С. 34–38.

3. *ПБ 03-576—03.* Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. — Сер. 3. — Вып. 24. — М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. — 192 с.

4. *API 510.* Нормы проверки сосудов высокого давления: технический осмотр, определение номинальных характеристик, ремонт и модификация.

5. *Масгрейв Т.* Победа над простоями // АББ Ревю. — 2003. — № 3. — С. 21–23.

6. *API 580.* Инспекция с учетом факторов риска.

gontarenko@safety.ru