



**Перед внедрением...
Краткая информация**

Что такое RBI ?

09/2015

Данная статья поможет Вам расширить понимание Инспекций на Базе Риска (RBI). RBI был разработан для обеспечения менее субъективного подхода к управлению механической целостностью оборудования нефтехимической промышленности, работающего под давлением.

Мы хотели, чтобы Вы поняли, что представляет собой RBI, и что PCMS является ведущим промышленным модулем RBI, доступным для наших заказчиков.

Определение RBI: процесс оценки и управления риском, который сфокусирован на возможных потерях содержимого в оборудовании под давлением из-за деградации материала.

Давайте начнём с основ. RBI – это сокращение Risk Based Inspection. Попросту, RBI – это метод определения техники инспектирования и интервалов инспекций для сосудов давления, трубопроводов, резервуаров и разгрузочных устройств, основанный на риске, в противоположность традиционному методу, базирующемуся на фиксированных календарных датах.

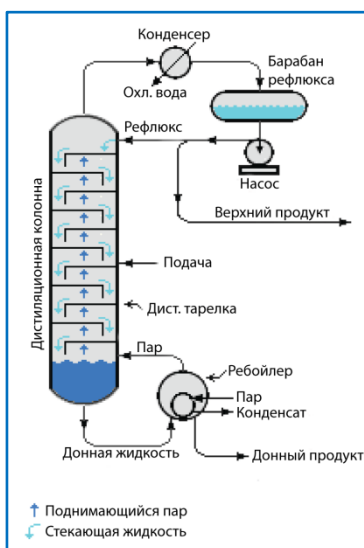


Многим из Вас необходима некоторая базовая информация.

Имеются несколько документов, Американского Института Нефти (API), которые одобрены государственной и местной юрисдикцией (США) в качестве требований для внутренних и внешних инспекций оборудования, используемого в нефтехимической промышленности. Некоторые из этих документов приведены ниже.

- API-510 Pressure Equipment (Оборудование под давлением)
- API-570 Process Piping (Технологические трубопроводы)
- API-653 Atmospheric Storage Tanks (Атмосферные резервуары)
- API-576 Pressure Relief Devices (Разгрузочные устройства)

Среди других аспектов, эти документы API содержат интервалы для внутренних и внешних инспекций активов. Эти интервалы, в основном, базируются на календарных месяцах.



Например, для типичного верхнего барабана рефлюкса (см. справа) требуется проведения внутренней инспекции каждые 10 лет, и внешней инспекции – каждые 5 лет.

Вне зависимости от того, имеется ли аномальное уточнение, внешняя и внутренняя инспекции будут проведены через пять и десять лет, соответственно.

Итак, календарный подход установки интервалов инспекций предлагает следующие правила:

- Всё оборудование требует проведения инспекций с одними и теми же интервалами, не принимая в расчёт, что содержит данное оборудование. Признаются одни и те же интервалы инспекций оборудования, которое содержит не коррозионный, не пожароопасный, и не токсичный материал, и оборудования, которое, возможно, содержит более опасный материал для персонала и/или оборудования.
- Традиционный календарный подход просто даёт полномочия для инспекции существующих и возможных механизмов повреждения, но документы API реально не указывают, какая техника инспекций достоверно гарантировала бы, что механизм отсутствует, активен, и/или не опасен. Другими словами, если сосуд подвержен механизму трещинообразования, но не указана техника для проведения инспекции, то инспекторы просто планируют инспекцию трещин в объёме, удовлетворяющем их собственные требования. Это приводит к субъективным подходам, которые широко варьируются на основе только опыта и/или знаний инспектора и его организации.
- Календарный подход обеспечивает некоторую возможность установки приоритетов инспекций. Вообще говоря, если оборудование просрочено, то оно просрочено, поскольку время истекло.

- Утонение стенок оборудование требует проведения инспекции, когда материал утончается до половины его времени жизни. Этот подход может рассматриваться как консервативный для большинства типов оборудования. Кроме того, вариации измерений толщины за счёт техники, опыта, или других факторов могут привести к излишним внутренним и/или внешним инспекциям.



Надеюсь, что благодаря приведённым выше примерам, Вы можете видеть, что календарный подход, возможно, не является современным, но даёт практический метод управления инспекциями.

Хорошо, если не календарный подход, то какой? **Основанный на анализе риска.**

Обычно риск определяется следующим математическим выражением:

$Risk = Pof * Cof$, где Pof – вероятность отказа, Cof – последствия отказа.

Это выражение содержит внутри себя множество параметров, но, в общем виде, оно используется для определения риска актива. В результате вычислений величин Pof и Cof, они отображаются на матрице риска (см. ниже) и визуальное представление уровня риска актива может быть легко определено.

		Consequence Category				
		A	B	C	D	E
		< \$10,000	\$10,000 to \$100,000	\$100,000 to \$1M	\$1M to \$10M	> \$10M
Probability Category	5 1E-1 to 1	5	2	2	1	2
	4 1E-2 to 1E-1	2	2	13	8	1
	3 1E-3 to 1E-2	1	2	15	6	2
	2 1E-4 to 1E-3	1	1	8	11	4
	1 0 to 1E-4	15	3	11	9	8
Target Risk		4	4	3	2	2

Опять-таки, здесь много чего следует знать о матрице риска и составляющих её переменных. Мы бы хотели, чтобы Вы поняли больше о категории Вероятности (левая сторона, от низа до верха), категории Последствий (верхняя сторона – слева направо), и назначении синей линии, которая показана ломаной на матрице.

Категория Вероятности Pof (левая сторона, от низа до верха): это число между нулём (0) и единицей (1), которое в результате статического моделирования, математически представляет собой вероятность наступления отказа. Нижняя сторона нижней ячейки матрицы имеет нулевую вероятность отказа, верхняя сторона верхней ячейки представляет статистически определённый отказ. Чем выше Вы находитесь на матрице риска, тем более вероятно наступление отказа.

Категория Последствий Cof (верхняя сторона – слева направо): это число, обычно в денежном выражении, представляющее стоимость потерь, связанную с отказом. Опять-таки это число получается в результате множественных вычислений, но, в общем, оно работает сходным образом с числом Pof, но, вместо верха и низа, оно располагается слева направо. Существенно, что самая левая сторона представляет стоимость отказа \$0.00, а самая правая – стоимость более \$10,000,000.00.

Просто для примера:

Оборудование, которое попадает в ячейку «C-3» матрицы имеет статистическую вероятность отказа от одной тысячной ($1E-3=0.001$), до одной сотой ($1E-2=0.01$) раз в год. Если бы это произошло, то стоимость

потерь была бы от \$100,000.00 до \$ 1,000,000.00, включая простой оборудования, потери за счёт загрязнения окружающей среды, ядовитое облако взрыва, пожар, и т.д.

Возникает вопрос, приемлемы или нет параметры Pof и Sof для оборудования в ячейке «С-3»? Здесь необходим учёт синей линии.

Взглянув на матрицу, Вы заметите, что синяя линия проходит по верху ячейки «С-3». Эта линия представляет собой порог, который показывает какая вероятность является приемлемой для организации без необходимости проведения инспекции и/или других шагов, требуемых для улучшения состояния оборудования.

Порог повреждения для ячейки «С-3» указывает нам, что организации, использующие данную матрицу риска, считают допустимой вероятность 1E-2 (0.01) для любого актива со значением последствий между \$100,000.00 и \$1,000,000.00.

		Consequence Category				
		A	B	C	D	E
		< \$10,000	\$10,000 to \$100,000	\$100,000 to \$1M	\$1M to \$10M	> \$10M
Probability Category	5 1E-1 to 1	5	2	2	1	2
	4 1E-2 to 1E-1	2	2	13	8	1
	3 1E-3 to 1E-2	1	2	15	6	2
	2 1E-4 to 1E-3	1	1	8	11	4
	1 0 to 1E-4	15	3	11	9	8
	Target Risk	4	4	3	2	2

Всё сказанное выше, возможно, уже получило некоторое понимание, кроме вопроса как вычисляются значения Pof и Sof ?

В данной статье мы не будем углубляться в вычисление значения последствий, кроме информации о том, что в PCMS они формируются на основе таблиц и иных факторов, что, в конце концов, приводит к финансовым значениям.

Я думаю, что наилучший подход – это продемонстрировать как всё это работает на реальных уравнениях, так же, как их использует PCMS. Для этого нам понадобится воображаемый сосуд с, хотя бы одним, механизмом повреждения.



Мы будем использовать сосуд, показанный выше, и представим следующее:

- Возраст сосуда – 15 лет.
- Сосуд выполнен из углеродистой стали.
- Содержимое сосуда не очень коррозионно активное.
- Сосуд не подвержен механизмам трещинообразования.
- Сосуд подвержен механизму общего утонения.
- Толщина самой тонкой части составляет 0.280" (7.11 мм).
- Измеренная скорость коррозии сосуда составляет 0,005" (0.127 мм) в год.
- Потери из за отказа сосуда будут составлять ~\$350,000.00.

Вы можете убедиться, что значение последствий расположено в столбце «С» нашей матрицы риска. Теперь всё, что нам предстоит сделать – это вычислить Pof. Чтобы сделать это, возвратимся к уравнению риска:

$$\text{Risk} = \text{Pof} * \text{Cof}, \quad \text{где } \text{Pof} = \text{Gff} * \text{Df}.$$

Gff = Generic Failure Frequency (Характерная Частота Отказов): вероятность отказа, выведенная для конкретных типов компонент или оборудования, которая не учитывает влияние конкретных механизмов повреждения. Совокупность данных о компонентах может включать данные по всем заводам в пределах компании, по различным заводам по отрасли, данные из литературных источников, прошлые отчёты, и коммерческие базы данных.

Df = Damage factor (Подфактор повреждения): корректирующий коэффициент, применяемый к Характерной Частоте Отказов, для учёта активного механизма повреждения в компоненте.

Наиболее простым из этих значений является Cof, которое задано как \$350,000.00, и Gff, которое для PCMS всегда равен 3.06E-5. Это означает, что всё, что Вы должны сделать, чтобы вычислить значение риска для данного оборудования – это получить значение Подфактора повреждения Df. Поскольку данный сосуд подвержен только общему утонению, то мы будем использовать нечто, называемое AR/t для получения Df.

Ниже приведён расчёт:

$$\text{Risk} = \text{Pof} * \text{Cof} = \text{Pof} * \$350,000.00;$$

$$\text{Pof} = \text{Gff} * \text{Df} = 3.06\text{E}-5 * \text{Df} = 0.0000306 * \text{Df}; \text{ поскольку PCMS всегда использует это число.}$$

Найдём Df для общего утонения, используя AR/t, где:

A = 15 лет - возраст сосуда;
 R = 0.005"/год = 0.127мм/год - скорость коррозии сосуда;
 t = 0.280" = 7.11мм - наиболее тонкая часть сосуда;

$$\frac{\text{AR}}{t} = \frac{15 \times 0.005}{0.280} = 0.267$$

Это означает, что наш вымышленный сосуд потерял около 27% толщины стенки в самой тонкой части за 15 лет. Теперь мы можем воспользоваться следующей таблицей для получения Df:

ar/t	Подфактор потери толщины	ar/t	Подфактор потери толщины
< 0.08	1	0.25 – 0.30	650
0.08 – 0.10	2	0.30 – 0.35	750
0.10 – 0.12	6	0.35 – 0.40	900
0.12 – 0.14	20	0.40 – 0.45	1050
0.14 – 0.16	90	0.45 – 0.50	1200
0.16 – 0.18	250	0.50 – 0.55	1350
0.18 – 0.20	400	0.55 – 0.60	1500
0.20 – 0.25	520	> 0.60	1900

Основываясь на данных таблицы, Df имеет значение порядка 650, что соответствует скорости утонения сосуда 0.005" (0.127мм) в год.

Теперь мы можем получить вероятность отказа Pof для нашего вымышленного сосуда:

$Pof = Gff * Df = 0.0000306 * 650 = 0.01989$;

$Risk = Pof * Cof = 0.01989 * \$350,000.00 = \$6,961.50$.

Поскольку 0.01989 больше 0.01 и меньше 0.1, то на матрице риска данное оборудование будет занимать ряд «4». Поскольку стоимость последствий отказа нашего вымышленного сосуда составляет \$350,000.00, то это оборудование попадает в столбец «С».

		Consequence Category				
		A < \$10,000	B \$10,000 to \$100,000	C \$100,000 to \$1M	D \$1M to \$10M	E > \$10M
Probability Category	5 1E-1 to 1	5	2	2	1	2
	4 1E-2 to 1E-1	2	2	13	8	1
	3 1E-3 to 1E-2	1	2	15	6	2
	2 1E-4 to 1E-3	1	1	8	11	4
	1 0 to 1E-4	15	3	11	9	8
	Target Risk	4	4	3	2	2

Поскольку ячейка «С-4» находится выше синей линии порога повреждения, то необходимо проведение инспекции сосуда.

Выполнение инспекции генерирует другое число. Это, так называемый, «Подфактор Снижения за счёт Инспекции», который используется для понижения Pof после выполнения инспекции.

Смысл результата проведения инспекции – это повышение уверенности в том, что сосуд не откажет, на основе новой полученной информации о состоянии повреждённости сосуда в предположении, что любые возможные дефекты, обнаруженные в процессе инспекции, вызовут согласие с их существованием в организации, которой принадлежит сосуд.

Чем более качественно выполнена инспекция, тем выше Подфактор Снижения за счёт Инспекции. Pof делится на Подфактор Снижения за счёт Инспекции, что приводит к снижению вероятности отказа.

Посмотрим, как это работает:

Выше мы получили значение Pof равное 0.01989.

В RBI установлены градации инспекции в зависимости от полноты и детальности. Уровень «А» является реально исчерпывающим, тогда как уровень «Е» не вполне является инспекцией.

Приведённая ниже таблица показывает градации инспекций и соответствующий Подфактор Снижения за счёт Инспекции.

Уровень инспекции	Подфактор Снижения за счёт Инспекции утонения	Подфактор Снижения за счёт Инспекции трещинообразования
A	1000	30
B	100	10
C	10	3
D	1	1
E	1	1

Если инспекторы планируют и выполняют средне подробную инспекцию для нашего вымышленного сосуда,

которая контролирует только механизм утонения, то число, на которое следует разделить ранее вычисленное Pof, равно 10.

По теории, и в соответствии с основами RBI, выполнение средне подробной инспекции общего утонения снижает риск оборудования, который передвигается вниз на матрице рисков ($0.01989/10 = 0.001989$).

Будем надеяться, что оборудование, инспектированное полностью, достаточно, чтобы переместить риск вниз ниже синей линии (или Порога Повреждения), поскольку теперь мы знаем его.

Время, учитываемое в виде параметра «А» в выражении AR/t , увеличивает процент потери толщины стенок. В конце концов, вероятность Pof оборудования будет увеличиваться до точки, когда потребуется новая инспекция. Эта точка и определяет срок следующей инспекции.

Теперь план инспекций основан на риске, связанном с Порогами повреждений, установленными в соответствии с последствиями отказов, который отличается от плана календарных дат, как в прежние времена.

Ответственное применение RBI вынуждает организации тратить больше времени, денег и ресурсов на оборудование с высоким риском, в то же время допускает большие интервалы инспекций для оборудования с малым риском, в чём и состоит, в общем, подход RBI.

Очевидно, что RBI содержит гораздо больше информации, чем обсуждалось в данной статье. Мы старались прояснить некоторые общие вещи и использовали общую терминологию, считая, что это хорошая информация для людей, работающих в нашем сегменте промышленности.

Марк Вайнинг,
Директор служб внедрения
MISTRAS Group, Inc.