

## Зарубежный опыт использования риск-ориентированного подхода при эксплуатации технических устройств на нефтегазовых объектах



**Хайдер Суарез**  
вед. инженер

Компания «Эксон Нефтегаз Лимитед»



**Марк Финкельштейн**  
вед. специалист



**М.В. Лисанов,**  
д-р техн. наук, директор  
центра анализа риска

ЗАО НТЦ ПБ



**И.А. Кручинина,**  
д-р техн. наук, директор

АНО АИПР

Рассмотрены актуальность и основные принципы риск-ориентированного подхода — методологии инспекции с учетом факторов риска — при обеспечении безопасной эксплуатации технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах, в частности оборудования, работающего под давлением. Изложены пути внедрения методологии инспекции с учетом факторов риска в российскую практику обеспечения промышленной безопасности на нефтегазовых объектах.

*The Article reviews the actuality and the basic principles of risk-oriented approach — methods of inspection taking into account risk factor — at ensuring safe operation of technical devices used at hazardous production facilities, in particular the pressurized equipment. The ways of implementation of inspection methodology considering risk factor in Russian practice of ensuring industrial safety at oil and gas objects are described in the Article.*

**Ключевые слова:** диагностирование, инспектирование, методика, оборудование под давлением, риск, периодичность, техническое устройство.

**Н**адежность и безопасность эксплуатации технических устройств во многом определяют промышленную безопасность опасных производственных объектов. Важные процедуры обеспечения безопасного применения технических устройств — техническое освидетельствование (инспектирование) и диагностирование.

Согласно Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» (п. 47) применять технические устройства необходимо в соответствии с инструкциями по безопасной эксплуатации и обслуживанию, составленными заводами-изготовителями или эксплуатирующей организацией.

Повышенную опасность при эксплуатации установок подготовки нефти и газа, морских нефтегазовых платформ, насосных, компрессорных станций и других нефтегазовых объектов представляет обо-

рудование, работающее под давлением: сосуды, работающие под избыточным давлением, и технологические трубопроводы для транспортирования опасных веществ. В соответствии с Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» объем и периодичность работ по ремонту и техническому обслуживанию такого оборудования и его элементов должны быть отражены в графике, утверждаемом техническим руководителем эксплуатирующей организации с учетом требований, указанных в руководствах (инструкциях) по эксплуатации, а также информации о текущем состоянии оборудования, полученной по результатам технических освидетельствований (диагностирования) и эксплуатационного контроля при работе оборудования под давлением.

При определении методов и периодичности инспектирования (технических освидетельствований) объектов, работающих под давлением, а также их технического обслуживания, ремонта и выполнения иных мероприятий условно можно выделить два подхода:

*традиционный* (или предписывающий) — принят в ряде стран, в том числе в России, основан на выполнении жестких нормативных требований по срокам и методам инспектирования;

*риск-ориентированный* — учитывает фактическое состояние технических устройств и факторы, влияющие на риск их отказа.

Первый подход отражен в требованиях приложения № 4 «Периодичность проведения технического свидетельства сосудов в случае отсутствия конкретных указаний в руководстве (инструкции) по эксплуатации» к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением». Например, периодичность технических освидетельствований сосудов, работающих под давлением, подлежащих учету в органах Ростехнадзора, составляет: 4 года — наружный и внутренний осмотры; 8 лет — гидравлическое испытание пробным давлением. Этот подход применяют в тех случаях, когда изготовитель оборудования в инструкции по эксплуатации не указывает объем, методы и периодичность технических освидетельствований. В России это почти всегда реализуется для импортных сосудов, так как обычно инструкции к ним гласят, что объемы и методы инспектирования устанавливает эксплуатирующая организация, исходя из условий эксплуатации. Требования технического регламента Таможенного союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (ТР ТС 032/2013) по обязательному установлению изготовителем методов, объемов и периодичности освидетельствований для новых сосудов также можно отнести к предписывающему подходу. В этом слу-

чае изготовитель, не располагающий сведениями о конкретных условиях эксплуатации оборудования, но несущий ответственность по гарантийным обязательствам поставки, как правило, устанавливает наиболее консервативные требования.

Второй подход (альтернативный первому) — риск-ориентированный — основан на инспектировании оборудования с учетом факторов риска (risk based inspections; далее — ИФР). Он широко применяется в ряде стран, например в США, Великобритании, Норвегии, Канаде; отражен в работах [1–5] и стандартах Американского нефтяного института: API 510 «Правила инспектирования сосудов, работающих под давлением: инспектирование в процессе технического обслуживания, классификация по номинальным или максимально допустимым параметрам, ремонт и модифицирование», API 653 «Ремонт, модифицирование и переоборудование резервуаров в результате инспектирования», API 579 «Эксплуатационная пригодность».

В табл. 1 приведены основные различия между первым и вторым подходами.

Необходимость применения методологии ИФР обусловлена следующими обстоятельствами. Практика показывает, что останов, пуск объекта, внутренняя инспекция сосудов и резервуаров, а также гидроиспытания ускоряют износ и повышают риск разгерметизации оборудования. Это может случиться за счет проникновения влаги внутрь оборудования, что приводит к коррозии; нарушения защитного покрытия сосуда; удаления пассивирующей пленки; человеческого фактора (ошибки персонала при останове, пуске оборудования). По этим причинам в большинстве стран меньшее значение придают гидравлическим испытаниям (опрессовке). Например, в США отсутствуют установленные требования по проведению опрессовки находящегося в эксплуатации оборудования, работающего под давлением, опрессовке подвергают только новое оборудование при вводе в эксплуатацию; в соответствии с действующими в Австралии стандартами запрещено проведение опрессовки под избыточным

Таблица 1

Предписывающий подход	ИФР
Традиционный отраслевой подход	Более современный подход, принятый в отрасли
Периодичность инспектирования установлена заранее, не зависит от условий работы или степени риска	Инспектирование непосредственно определяется требованиями к снижению риска
Повышения надежности не гарантирует	Повышает надежность за счет более точной и эффективной оценки риска, лучшего понимания механизмов ухудшения эксплуатационно-прочностных характеристик, использования последних достижений в технологии инспектирования и др.
Применим, если механизмы отказов изучены плохо, а опыт эксплуатации подобного оборудования недостаточен	Применим для случаев, когда механизмы отказов изучены достаточно хорошо и имеется опыт эксплуатации подобного оборудования
Не позволяет эффективно использовать имеющиеся ресурсы	Обеспечивает такую же или большую безопасность по сравнению с применением предписывающего подхода при одновременной оптимизации использования ресурсов

давлением, в качестве допустимого принимают последнее зарегистрированное значение рабочего давления, если не произошла утечка.

Также следует учесть экономический фактор. Как пример рассмотрим объект — установку предварительной подготовки нефти, производственная мощность которой 40 тыс. баррелей в день. При цене нефти за баррель 50 долл. США прямые убытки от одного дня простоя для организации составляют 2 млн долл. США. Социально-экономический ущерб будет выражаться в недополученных государством поступлениях в бюджет от налогообложения упущенной прибыли. В дополнение к прямым потерям от реализации продукции нужно учитывать косвенные потери (заработная плата, аренда, оплата подрядным организациям и т.д.) организации от простоя данного объекта, а также других объектов обустройства месторождения, продукция с которого проходит через установку предварительной подготовки нефти.

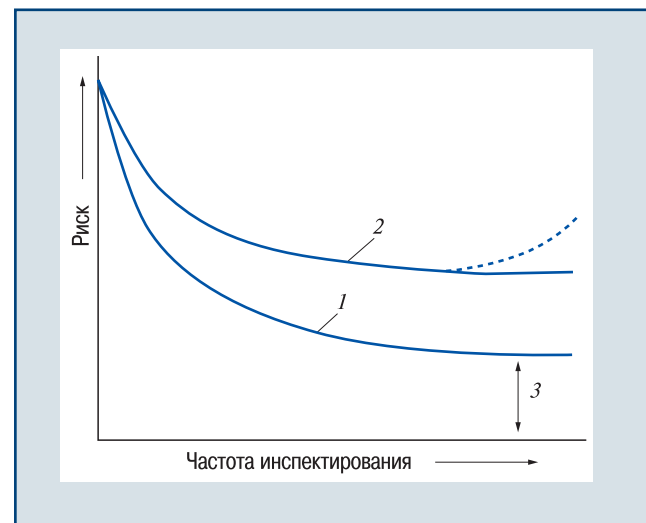
На основе вышеприведенного примера становится очевидным, что частота межинспекционного интервала, установленная нормативно-техническими документами, помимо того, что не гарантирует снижения риска аварии, в некоторых случаях не позволяет нефте- и газодобывающим компаниям быть эффективными в своей деятельности и приводит к значительным финансовым издержкам.

Следует отметить, что основной момент ИФР — вовсе не отказ от инспектирования вообще или сокращение частоты инспекций в целях увеличения прибыли, а ранжирование инспектируемого оборудования по критериям риска с учетом тщательного анализа технического состояния каждой единицы оборудования в реальных условиях его эксплуатации. Фактически применение ИФР — оптимизация деятельности эксплуатирующей организации по обеспечению надежности технических устройств, причем для наиболее опасного оборудования в некоторых случаях сроки между инспекциями могут быть меньше предписанных нормативных.

Методика ИФР — системный подход к проведению более целенаправленного и эффективного инспектирования при одновременном снижении риска, а также обеспечении безопасной и надежной эксплуатации оборудования в течение расчетного срока его службы. Цель использования ИФР при эксплуатации оборудования, работающего под давлением, — предотвращение потери его герметичности, ведущей к нарушению норм охраны труда, промышленной безопасности и защиты окружающей среды, к отрицательным производственным последствиям или к возникновению неприемлемого риска.

Взаимосвязь между инспекционными объемами и частотой инспектирования и рисками отказов (разгерметизации) оборудования, работающего под давлением, показана на рис. 1, позаимствованном

из API 580. Из него видно, что, когда инспекции не проводят, риск увеличен. С проведением инспекций риск существенно снижается до определенного момента (когда инспекции приводят к незначительному снижению риска), после которого дополнительные инспекции в некоторых случаях даже могут привести к увеличению ранее сниженного риска (пунктирная линия). Это происходит вследствие того, что останов и открытие сосуда для внутреннего осмотра могут ускорить износ за счет ранее перечисленных факторов.



▲ Рис. 1. Изменение риска в зависимости от частоты инспектирования оборудования, работающего под давлением:

1 — риск при применении ИФР; 2 — риск при применении предписывающего метода; 3 — неизменный риск, не зависящий от частоты и объема инспекций

Внедрение ИФР требует привлечения современных методов инспектирования. К типичным видам инспектирования относятся наружные осмотры (включая проверку на наличие коррозии под изоляционным покрытием), наружная ультразвуковая толщинометрия (УТ) и внутренний осмотр оборудования, работающего под давлением. Необходимость проведения внутреннего осмотра или гидроиспытаний основывается на данных, полученных в ходе наружных осмотров и результатов наружной УТ. Поэтому в международной практике объемы внешнего осмотра и наружной УТ изначально устанавливает эксплуатирующая организация при планировании инспектирования с заранее установленными интервалами, основанными на накопленном в отрасли опыте (например, проведение УТ каждые 10 лет).

Зарубежный опыт внедрения ИФР при эксплуатации оборудования, работающего под давлением, в нефтегазовой промышленности дал следующее:

1. Более глубокое изучение механизмов отказов. Значительно улучшено их понимание. К типичным механизмам отказов, ухудшающих эксплуатационно-прочностные характеристики оборудования на

этапе разведки и добычи, относятся коррозия (под действием CO<sub>2</sub>, гликоля, кислорода, сероводорода, хлоридов и др.) и трещинообразование (усталость металла, водородное растрескивание и т.д.). Сложилось мнение, что для повышения безопасности и надежности сосудов, работающих под давлением, в процесс контроля их целостности с одновременной оптимизацией использования ресурсов необходимо эффективно интегрировать подобное понимание фундаментальных механизмов.

2. Усовершенствование методов инспектирования. Технология проведения инспектирования значительно усовершенствовалась за последние годы. Наряду с визуальными осмотрами широкое применение получила технология УТ для оценки истончения стенок в результате коррозии и обнаружения трещин под действием серо- и водородсодержащих соединений. В последнее время технология УТ получила дальнейшее развитие, благодаря разработке устройств для автоматической УТ, комплексного контроля методом поперечных волн для обнаружения трещин и т.д. Другие технологии, такие как метод электроиндуктивной дефектоскопии, также были существенно усовершенствованы.

3. Большой опыт эксплуатации. За последние 30–40 лет крупные нефтяные компании с большим штатом специалистов по антикоррозийной защите накопили значительный опыт в понимании первопричин отказов, типовых условий эксплуатации, а также знания о типах сосудов, отказ которых более вероятен.

4. Совершенствование методов оценки показателя пригодности к эксплуатации. Существенно усовершенствованы методы инженерного анализа пригодности поврежденного сосуда к дальнейшей безопасной эксплуатации. В настоящее время в отрасли для определения пригодности к эксплуатации оборудования принята методика, описанная в стандарте API 579.

5. Эффективное развитие и реализация программ предотвращения коррозии. Такие программы, как ингибирование коррозии, применение катодной защиты, изоляционных покрытий, а также инспектирование и мониторинг, реализуют в настоящее время более систематично и эффективно. В связи с этими изменениями под вопросом оказалась эффективность традиционной методики проведения инспектирования с заранее установленной периодичностью в качестве действенного подхода к повышению безопасности и надежности. Одновременно с этим на протяжении примерно последних 20 лет в качестве более эффективного способа повышения безопасности и надежности оборудования стали все шире применяться методы ИФР.

Организации, эксплуатирующие оборудование, работающего под давлением, с применением ИФР на основе полученных данных могут изменять методы, объемы и графики освидетельствования, а

также определять необходимость в проведении внутреннего осмотра и гидроиспытаний.

Объем и интервал проведения инспекций по своей сути не являются инструментом, влияющим на показатели тяжести последствий и частоты (вероятности) возникновения событий, это способ мониторинга изменения частоты (вероятности) возникновения события. После отнесения оборудования к конкретной зоне риска организация определяет объемы, методы и интервалы проведения инспекционных мероприятий с целью подтвердить в будущем неизменность или планируемую динамику риска.

На этапе эксплуатации инспектирование дополняют основными программами мониторинга, контроля и стратегии технического обслуживания оборудования, работающего под давлением. На рис. 2 показана взаимосвязь этих программ и механизм организации работ по их осуществлению.

Методы оценки риска, применяемые при ИФР, имеют следующие особенности.

*Качественный метод* основан на оценке, которую выполняют специалисты, входящие в группу. Частота (вероятность) и последствия отказа выражаются в описательных относительных определениях (для частоты — «практически невероятно», «возможно», «практически возможно», «возможно»; для тяжести последствий — «высокая», «средняя», «низкая»). Тяжесть последствий при этом часто определяют специалисты компании в ходе «мозгового штурма» (например, при проведении анализа опасностей PNA, HAZOP<sup>1</sup>) [3, 6].

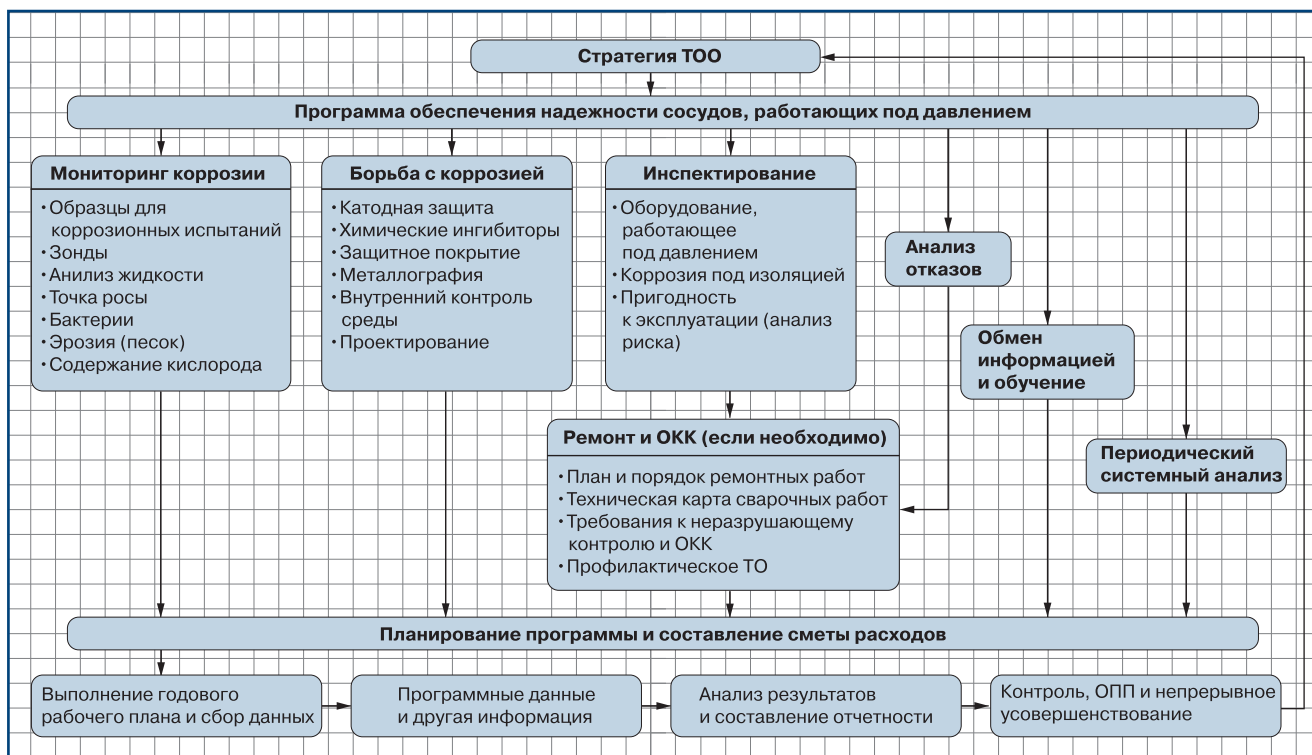
*Полуколичественный метод* — определение отдельных числовых значений вероятности отказа, а также последствий каждого из них и следствий. Эти значения могут быть получены из опыта, ответов на проверочные вопросы, с помощью взвешенных инженерных решений, или в результате отдельных расчетов.

*Количественный метод* — определение вероятности и последствий отказа. Их рассчитывают для каждого сценария аварии, используя методы анализа надежности, деревьев отказов (событий) и количественной оценки риска. Частота (вероятность) возникновения события может быть взята из рекомендуемых нормативных документов, например надзорного органа Великобритании (<http://www.hse.gov.uk/landuseplanning/failure-rates.pdf>), либо получена на основе накопленного организацией опыта (статистическая отчетность) эксплуатации аналогичного оборудования.

При качественном и полуколичественном методах оценки риска учитывают следующие положения, допущения и критерии:

<sup>1</sup> Описание методов представлено в Руководстве по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий опасных производственных объектов», утвержденном приказом Ростехнадзора от 13 мая 2015 г. № 188.

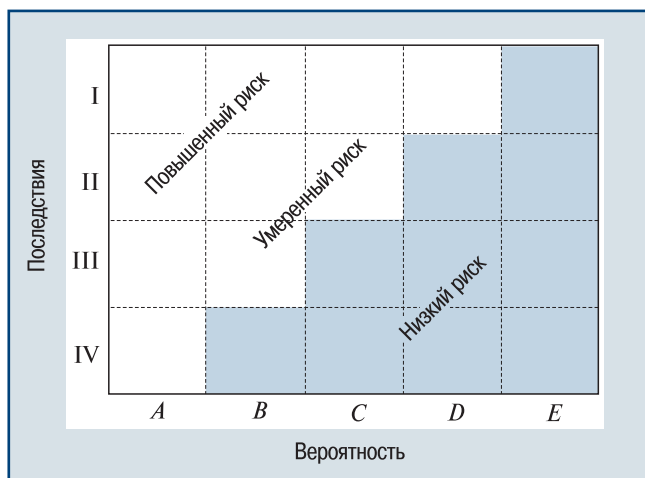




▲ Рис. 2. Программы обеспечения надежности сосудов, работающих под давлением, при эксплуатации: ТОО – техническое обслуживание оборудования; ОКК – обеспечение и контроль качества; ТО – техническое обслуживание; ОПП – оценка производственного процесса

*Оценка риска.* Ее осуществляют с помощью матрицы риска (рис. 3), на которой наибольшая вероятность — крайнее левое значение, а наибольшие последствия — I.

*Зоны риска.* Риск группируют по зонам (см. рис. 3) для облегчения передачи информации о нем и принятия более эффективных и структурированных решений. В верхнем левом углу расположена зона наибольшего риска. По диагонали проходят зоны среднего риска, а в правом нижнем углу находится зона наименьшего риска.



▲ Рис. 3. Матрица риска

*Механизм (сценарий) ухудшения эксплуатационно-прочностных характеристик (УЭПХ).* Со време-

нем происходит потеря герметичности сосудов по причине УЭПХ его стенок. Это может быть постепенным процессом или случиться одномоментно, в зависимости от условий, в которых эксплуатируется сосуд, по причине коррозии (например, под воздействием  $CO_2$ ,  $O_2$ , гликоля, атмосферных условий и др.), механического воздействия или появления трещин (в результате воздействия водородсодержащих соединений, усталости металла).

*Сценарии (оценка) последствий.* Механизмы УЭПХ могут привести к определенным последствиям, если останутся бесконтрольными. Разработка вероятных сценариев последствий на основе механизмов УЭПХ — часть процесса подготовки программы ИФР. Важно рассматривать только правдоподобные сценарии, научно обоснованные и опирающиеся на накопленный опыт. Например, точечная коррозия может образоваться в сосуде с пластовой водой, если не провести соответствующие мероприятия (применение ингибитора коррозии, установка системы катодной защиты), а также при достаточно высоких концентрациях  $CO_2$ ,  $O_2$  или при наличии бактерий. Образование локальной точечной коррозии, ведущей к утечке из отверстия малого диаметра, расценивается как правдоподобный сценарий, а разрыв сосуда с пластовой водой не считается таковым (согласно данным инженерного анализа и опыту эксплуатации).

*Вероятность развития сценария.* Для каждого сценария определяют вероятность его возникнове-

ния. Хотя вероятность определяется в численном виде, ее нередко вычисляют по относительной шкале для упрощения принятия решения. В рамках ИФР значения риска могут изменяться от *A* до *E* (см. рис. 3), где *A* — наибольшая вероятность (сценарий может произойти несколько раз за расчетный период), а *E* — наименьшая (почти невозможное событие). Например, при определении частоты (вероятности) возникновения события организация может использовать критерии, представленные в табл. 2.

Критерий отнесения	Вероятность по матрице риска
<b>Внутренняя коррозия</b>	
Превышен установленный срок эксплуатации	<i>A</i>
Остаточный срок службы 3–5 лет	<i>B</i>
Остаточный срок службы 5–7 лет	<i>C</i>
Остаточный срок службы 7–10 лет	<i>D</i>
Остаточный срок службы более 10 лет	<i>E</i>
<b>Усталость</b>	
Срок эксплуатации более 60 % расчетного	<i>A</i>
Срок эксплуатации более 60 % расчетного	<i>B</i>
Срок эксплуатации менее 40 % расчетного	<i>C</i>
Срок эксплуатации менее 20 % расчетного <sup>1</sup>	<i>D</i>
Усталость не считается значительной	<i>E</i>
<b>Коррозионное растрескивание под напряжением</b>	
Обширное растрескивание на аналогичных сосудах	<i>A</i>
Локализованное растрескивание на аналогичных сосудах	<i>B</i>
Небольшое растрескивание на аналогичных сосудах	<i>C</i>
Растрескивание не наблюдается на аналогичных сосудах	<i>D</i>
Коррозионное растрескивание не рассматривается как существенное	<i>E</i>

**Примечание.** *A* — очень высокая вероятность события; *B* — событие возможно; *C* — событие может быть; *D* — событие невозможно; *E* — событие практически невозможно.

<sup>1</sup> Например, если оборудование имеет установленный срок эксплуатации 10 лет, то вероятность отказа оборудования в первые два года будет практически невозможным событием (*D*).

**Последствия сценария.** В широком смысле последствия распределяются по следующим категориям: нарушение норм охраны труда, промышленной безопасности и защиты окружающей среды; производственные последствия; экономические последствия. Значимость последствий, приводящих к нарушению норм охраны труда, промышленной безопасности и защиты окружающей среды определяют по относительной шкале от I до IV, где I — наибольшее значение, а IV — наименьшее. Поскольку каждая подкатегория данной категории может иметь различную значимость последствий, то наибольшую значимость принимают равной значимости последствий, приводящих к нарушению норм охраны труда, промышленной безопасности и защиты окружающей среды. Экономические и про-

изводственные последствия оценивают независимо от оценки последствий, приводящих к нарушению норм охраны труда, промышленной безопасности и защиты окружающей среды.

**Уровень риска.** Уровень риска — сочетание вероятности и последствий (например, С–III по категории «нарушение норм охраны труда, промышленной безопасности и защиты окружающей среды» или А–IV для производственной категории по определенному сценарию). Риск, приводящий к нарушению норм охраны труда, промышленной безопасности и защиты окружающей среды, и производственный риск вычисляют отдельно по причинам, упомянутым выше.

**Неснижаемый риск.** Это уровень риска при предполагаемых условиях эксплуатации без технического обслуживания. В ходе оценки неснижаемого риска делают ряд допущений, например: эффективный процесс оценки (контроля) качества в ходе изготовления; учет применения ингибиторов коррозии и (или) внутренней системы катодной защиты в некоторых сосудах. По результатам, полученным на основе матрицы риска, организация устанавливает соответствующий объем и частоту проведения инспекций для оценки динамики риска и принятия мероприятий, направленных на снижение риска до приемлемых значений.

Предполагается, что опыт зарубежных компаний по использованию риск-ориентированного подхода к обеспечению надежности оборудования, работающего под давлением, может быть полезен при совершенствовании нормативной базы в области промышленной безопасности, в том числе при создании методических

документов по инспектированию, программ внедрения новейших методик осуществления инспектирования и мониторинга технических устройств. Необходимое условие для внедрения методологии ИФР — разработка соответствующих методических документов, руководств по безопасности и, при необходимости, уточнение порядка аттестации экспертов в этой области.

Учитывая отсутствие требований промышленной безопасности и методических документов в отношении ИФР, внедрение этой методологии в практику российских компаний может осуществляться путем разработки обоснования безопасности согласно Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Общие требования к обоснованию безопасности опасно-

го производственного объекта», утвержденным приказом Ростехнадзора от 15 июля 2013 г. № 306, зарегистрированным Минюстом России 20 августа 2013 г., регистрационный № 29581. В качестве основных компенсирующих мероприятий и условий безопасной эксплуатации оборудования, работающего под давлением, при использовании ИФР следует выделить наличие в эксплуатирующей организации:

специальной программы ИФР как составной части системы управления промышленной безопасностью;

квалифицированных работников, в том числе привлекаемых специалистов, обученных современным методам технического освидетельствования, диагностирования, технического обслуживания и методологии ИФР;

системы сбора и анализа данных по инцидентам, в том числе с аналогичным оборудованием;

системы мониторинга технического состояния оборудования, работающего под давлением, в реальном времени, в том числе непрерывного контроля коррозионных процессов, и возможности влияния на их скорость;

программного продукта, позволяющего систематизировать и хранить получаемую информацию в результате проведения инспекций и мониторинга технического состояния.

*Авторы выражают благодарность А.Ф. Гонтаренко (АНО АИПР) за полезные замечания и советы при подготовке статьи.*

### Список литературы

1. *Ферапонтов А.В., Гонтаренко А.Ф.* Риск-ориентированные подходы к обеспечению эксплуатационной надежности сосудов, работающих под давлением // *Безопасность труда в промышленности.* — 2010. — № 11. — С. 5–8.
2. *Best practice for risk based inspection as a part of plant integrity management: contract research report/ TWI and Royal & SunAlliance Engineering for the Health and Safety Executive.* URL: [http://www.hse.gov.uk/research/crr\\_pdf/2001/crr01363.pdf](http://www.hse.gov.uk/research/crr_pdf/2001/crr01363.pdf) (дата обращения: 17.08.2015).
3. *Ryan Sitton.* Integration of RBI with an Inspection Data Management System/ 3rd MENDT — Middle East Nondestructive Testing Conf. & Exhibition, Bahrain, Manama, 27–30 Nov. 2005. URL: <http://www.ndt.net/article/mendt2005/pdf/14.pdf> (дата обращения: 17.08.2015).
4. *Benefits of Risk Based Inspection Planning for Offshore Structures/ D.M. Straub, J. Goyet, Sorensen John Dalsgaard, M.H. Faber/ Proc. of the 25th Inter. Conf. of Offshore Mech. and Arct. Eng., 2006.* URL: [http://vbn.aau.dk/en/publications/benefits-of-risk-based-inspection-planning-for-offshore-structures\(e627a130-a499-11db-8ed6-000ea68e967b\)](http://vbn.aau.dk/en/publications/benefits-of-risk-based-inspection-planning-for-offshore-structures(e627a130-a499-11db-8ed6-000ea68e967b)) (дата обращения: 17.08.2015).
5. *Risk Based Inspection — A Case Study Evaluation of Onshore Process Plant (HSL/2002/20)/ Project Leader W. Geary.* — UK: Engineering Control Group, 2002.
6. *Внедрение методологии анализа опасностей HAZOP при проектировании нефтегазовых объектов компании ТНК-ВР/ М.В. Лисанов, В.В. Симакин, Е.В. Ханин, А.П. Елаев// Безопасность труда в промышленности.* — 2010. — № 12. — С. 23–27.

**risk@safety.ru**

*Материал поступил в редакцию 30 июля 2015 г.*