

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Рассматривая инфраструктуру как систему, определяющую жизнедеятельность любого социума, перечислим только некоторые значимые ее составляющие.

Например, совокупность отраслей и предприятий, функционально обеспечивающих нормальную жизнедеятельность населения, – это социальная инфраструктура, а инфраструктура экономики – совокупность отраслей и видов деятельности, обслуживающих производство и хозяйство в целом. Можно выделить также инженерную и транспортную инфраструктуру, информационную и военную.

Общая их совокупность характеризует потенциал страны, обеспечивающий в том числе и национальную безопасность страны, объединяющую в себе оборонные возможности,

людские и сырьевые ресурсы, наличие развитой производственной базы и т.д.

Многофакторный механизм обеспечения общей безопасности включает в себя требования и к механизму обеспечения промышленной безопасности производств, представляющих собой потенциальную опасность для окружающей среды и среды обитания.

Несоблюдение или недостаточное выполнение требований и условий промышленной безопасности может привести к значительным экономическим и человеческим потерям как на местном, так и на региональном уровне. Вышесказанное наглядно иллюстрируют данные, приведенные в таблицах 1 и 2.

Крупные аварии с катастрофическими последствиями в промышленности, ядерной

энергетике, энергетике, горнодобывающей отрасли могут приобретать глобальное значение. Ликвидация последствий таких аварий, как правило, носит затяжной и затратный характер.

Так, например, авария на Чернобыльской АЭС оценивается в 200 млрд долларов, и на поддержание в безопасном состоянии и реконструкцию саркофага над разрушенным энергоблоком требуются дополнительные значительные капитальные вложения. Ущерб от аварии на АЭС “Фукусима”, по предварительным оценкам, составит 125 млрд долларов. Восстановление разрушенной Саяно-Шушенской ГЭС оценивается в 130 млн долларов.

Завершая этот перечень, следует отметить аварию на платформе компании BP в Мексиканском заливе, ущерб от которой

**ТАБЛИЦА 1. КРУПНЫЕ АВАРИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

| Место                | Вещество, характер аварии                 | Выброс, т | Число смертных случаев | Число пострадавших |
|----------------------|---|-----------|------------------------|--------------------|
| ФРГ, Людвигсхафен    | Взрыв облака бутадиена и бутилена         | 20        | 57                     | 439                |
| ФРГ, Людвигсхафен    | Взрыв облака диметилового эфира           | 30        | 207                    | 300                |
| Франция, Фейзен      | Взрыв хранилища сжиженного нефтяного газа | 200       | 18                     | 81                 |
| США, порт Гудзон     | Взрыв хранилища сжиженного нефтяного газа | 70        | 0                      | 7                  |
| ЮАР, Потчеструм      | Утечка жидкого аммиака из хранилищ        | –         | 18                     | 64                 |
| США, Декейтор        | Утечка пропана                            | 63        | 7                      | 152                |
| Нидерланды, Бек      | Взрыв облака пропана                      | 3-5       | 14                     | 107                |
| Англия, Фликсборо    | Взрыв облака циклогексана                 | 30-50     | 28                     | 89                 |
| США, Вею             | Выброс пропилена                          | 5,5       | 14                     | 45                 |
| Колумбия, Картахена  | Утечка аммиака                            | –         | 30                     | 22                 |
| Колумбия, Санта-Крус | Взрыв метана                              | –         | 52                     | –                  |
| Испания, Сан-Карлос  | Взрыв облака пропилена                    | 38        | 215                    | 780                |
| Мексика, Мехико      | Взрыв емкости (сжиженный газ)             | –         | 452                    | 5250               |
| Бразилия, Кубатао    | Взрыв газолина                            | –         | 500                    | 7000               |
| Россия, Ярославль    | Взрыв углеводородных газов                | 3,3       | 6                      | 13                 |
| Россия, Красноярск   | Взрыв углеводородных газов                | –         | 4                      | 5                  |

**ТАБЛИЦА 2. ПРЯМЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ОТ КРУПНЫХ АВАРИЙ НА НПЗ В США**

| Город, штат            | Установка, процесс     | Прямые потери, млн долларов |
|------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Линден, Нью-Джерси     | Гидрокрекинг           | 94,6                        |
| Биллинг, Монтана       | Алкилирование          | 14,5                        |
| Эйвон, Калифорния      | Коксование             | 22,9                        |
| Эйвон, Калифорния      | Коксование             | 13,9                        |
| Батон-Руж, Луизиана    | Каталитический крекинг | 18,2                        |
| Техас-Сити, Техас      | Алкилирование          | 99,6                        |
| Техас-Сити, Техас      | Алкилирование          | 40,3                        |
| Боргер, Техас          | Алкилирование          | 53,8                        |
| Эйвон, Калифорния      | Каталитический крекинг | 60,7                        |
| Торранс, Калифорния    | Алкилирование          | 16,9                        |
| Норко, Луизиана        | Каталитический крекинг | 327,0                       |
| Ричмонд, Калифорния    | Гидрокрекинг           | 100,7                       |
| Мартинес, Калифорния   | Каталитический крекинг | 53,0                        |
| Уоррен, Пенсильвания   | Каталитический крекинг | 26,3                        |
| Шалметт, Луизиана      | Гидрокрекинг           | 15,8                        |
| Порт-Артур, Техас      | АВТ                    | 27,5                        |
| Лейк-Чарльз, Луизиана  | Каталитический крекинг | 23,5                        |
| Суини, Техас           | Гидроочистка           | 51,0                        |
| Бомон, Техас           | АВТ                    | 15,3                        |
| Уилмингтон, Калифорния | Гидроочистка           | 72,7                        |

достигает 7,8 млрд долларов, и резонансную аварию на ООО “Ставролен”. Прямые затраты, связанные с заменой оборудования и восстановлением узла разделения пропан-пропиленовой фракции, составят 25 млн долларов.

Но, несмотря на уроки глобальных аварий, человечество продолжает идти по пути наращивания больших мощностей в единичном исполнении, разрушение которых может привести к последствиям, сопоставимым с Чернобыльской катастрофой.

Так, строительство в условиях Крайнего Севера накопителей для сжиженного природного газа емкостью 165 тыс. куб. м при соблюдении современных требований к проектированию и изготовлению, но без создания системы жесткого контроля в процессе эксплуатации состояния ограждающей стенки не исключает возможности их разрушения, что может привести к беспрецедентной аварийной ситуации, несравнимой по своим масштабам с разрушением изо-термического хранилища жидкого аммиака на Ионавском производственном объединении “Азот” в СССР емкостью 10 тыс. куб. м.

Крупные аварии – это удар по экономике компаний и государства в целом. Отказ оборудования без аварийных последствий, но с остановкой производства также может вызвать сбой и деформацию инфраструктурной цепочки.

Примеров тому достаточно, но остановимся на одном. Остановка технологической установки на крупнейшем нефтеперерабатывающем заводе страны, вызванная сбоем одного из ее блоков, связанным с проведенной интенсификацией технологического процесса, привела к перебоям поставок горючего потребителям, в том числе сельхозпроизводителям во время посевной, и повышению розничных цен на АЗС.

Аварийные остановки и эксплуатационные отказы оборудования, как показывает практика, являются в первую очередь следствием нарушений действующих технологических регламентов и правил проведения ремонтных работ, а также изношенности технологического оборудования.

Минимизировать число остановок и отказов оборудования в целом призваны государственные надзорные органы и надзорные

службы предприятий, а также специализированные экспертные организации.

Одним из путей решения этой задачи является усиление контроля указанными службами технического состояния оборудования потенциально опасных производств, а также выполнение требований четко соблюдать уже разработанные и апробированные или пересмотренные правила системы промышленной безопасности.

Этот путь решения проблемы обеспечения промышленной безопасности, как следует из стенограммы совещания в формате “открытого правительства” по вопросам национальной промышленной безопасности от 16 октября 2012 года, встречает непонимание предпринимательского сообщества. Определяющим в оценке ситуации, связанной с модернизацией системы промышленной безопасности, становится экономическая составляющая. Экономия до 1 трлн рублей – это впечатляет. И ее связывают с определенным сокращением роли инспекции, объема компонентов, наполняющих систему. Подобная ситуация уже имела место в связи с военной приемкой в аэрокосмической отрасли.

Например, предлагается не проводить экспертизы капитальных ремонтов. Но подобные процедуры выполняются в основном для установления возможности дальнейшей эксплуатации оборудования. Целью экспертизы является прогноз ресурса конкретного технического устройства.

Если не проводить экспертизу и следовать только указанному расчетному сроку эксплуатации, то после его исчерпания согласно закону требуется заменить это оборудование. Очевидно, в этом случае необходимы значительные капитальные вложения. Готово ли к этому предпринимательское сообщество?

Обратная сторона подобной экономии – прямые потери от аварий. Согласно таблице 2 только прямые потери от крупных аварий на НПЗ в США, являющиеся ориентиром для многих, составили 35 млрд рублей.

Безусловно, системе промышленной безопасности требуется модернизация.

Правильной является целевая установка премьер-министра, сделанная на совещании “открытого правительства” по вопросам национальной промышленной безопасности 16 октября 2012 года: “Систему эту нужно менять. Где-то необходим режим строгого и непрерывного наблюдения за условиями производства, где-то, наоборот, достаточно плановых ежегодных проверок, то есть этот подход все-таки должен быть дифференцирован, или даже, может быть, нужен персональный самоконтроль собственника.

Контроль за работой особо опасных производств, особо опасных объектов должен быть жестким, в ряде случаев он даже должен усиливаться. Там, где есть риски технологического характера, работники, население прилегающих территорий и окружающая среда должны быть защищены и нормой закона, и реальными финансовыми обязательствами, и ответственностью собственников и менеджмента предприятий”.

Практическую сторону предлагаемых изменений изложил на совещании руководитель Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору: “Мы перешли от общего понятия “опасные производственные объекты”, которых у нас сегодня 294 тыс., к дифференциации по классам. Это приведет к тому, что к основному, первому классу будет отнесено не более 1,3 тыс. объектов, то есть 1,3 тыс. вместо 294 тыс., во второму, по нашим экспертным оценкам, – около 7 тыс., чуть-чуть, может, больше. И остальные объекты уйдут в третий, четвертый или вообще выпадут из состава опасных производственных объектов. ...Это даст в первую очередь исключение избыточных дублирующих функций, дифференциацию мер обеспечения промышленной безопасности...”

Рассмотрим одно из возможных направлений дальнейшего развития системы промышленной безопасности. На наш взгляд, оно лежит в области дифференцирования самих технических устройств, входящих в состав опасных производственных объектов, с распределением их по степени опасности. То есть для каждой рассматриваемой технологической установки должна быть определена последовательность входящего в нее оборудования с указанием ранга опасности каждой единицы – от критически опасного до неопасного. Такой подход может быть реализован для любого класса объектов на основании теоретических, экспериментальных работ, а также практического опыта.

Дифференцируя и связывая уровень контроля, содержащий в себе информацию о виде, объеме, периодичности и средствах неразрушающего контроля, с результатами ранжирования, мы получаем возможность создать для каждого ранга опасности определенный реестр мероприятий, обеспечивающих получение необходимой информации о техническом состоянии оборудования. Если добавить к устанавливаемому уровню контроля еще и указания по определению зон контроля, то получается комплекс действий, позволяющий проводить техническое диагностирование объектов, работающих под давлением, в оптимальном режиме.

Данный подход реализован в настоящее время при создании системы технического контроля оборудования, обеспечивающей промышленную безопасность технологических установок первого комплекса закрытого акционерного общества “Рязанская нефтеперерабатывающая компания” (ЗАО “РНПК”) в условиях увеличенного интервала между капитальными ремонтами. В первый комплекс ЗАО “РНПК” входят: установка прямой перегонки нефти, вакуумный блок установки прямой перегонки нефти, установка гидроочистки вакуумного газойля, установка каталитического крекинга, установка по производству серной кислоты, установка химводоочистки, установка по производству водорода, установка сернокислотного алкилирования, установка гидроочистки дизельного топлива, установка каталитического риформинга бензина.

Деятельность по созданию системы осуществлялась в течение 2010–2012 годов специалистами ЗАО “ГИАП-ДИСТцентр” и ЗАО “РНПК”. В отдельных случаях к проведению полевых работ по комплексному техническому освидетельствованию и экспертизе промышленной безопасности оборудования перечисленных выше установок привлекались профильные научно-исследовательские институты и ведущие экспертные организации страны.

Концепция данной системы достаточно проста: в информационном материале для каждой единицы оборудования, представляющем собой либо схему для сосудов и аппаратов, либо пространственную схематическую трассу трубопроводов на электронном или бумажном носителе, указываются в доступной форме зоны контроля, а в табличном формате – периодичность, вид и средства контроля.

Это позволяет провести контроль состояния оборудования в нужном месте и в нужное время, а также архивацию полученной информации с передачей ее в базу данных либо в электронный паспорт.

Для того чтобы стала возможной реализация приведенной последовательности действий, были выполнены следующие виды работ:

1. Создание методической основы обеспечения промышленной безопасности оборудования при эксплуатации его в условиях увеличенного интервала между капитальными ремонтами.
2. Технический аудит технологических установок первого комплекса, основанный на анализе технической документации, на результатах ранее выполненных технических освидетельствований и экспертизах промышленной безопасности оборудования, а также на данных комплексного

технического освидетельствования и экспертизы промышленной безопасности, проведенных в 2011 году без остановки технологических установок и в капитальный ремонт 2012 года.

3. Создание структуры, обеспечивающей функционирование системы контроля технического состояния оборудования технологических установок, и оснащение ее современным диагностическим оборудованием, необходимым для контроля технического состояния.
4. Анализ и оценка технологических и эксплуатационных факторов, негативно влияющих на жизненный цикл оборудования, с разработкой рекомендаций по их контролю и минимизации.
5. Проведение ранжирования с установлением уровня контроля.
6. Определение зон контроля на основе экспертной балльной оценки.
7. Создание информационной системы на основе электронной базы данных.
8. Разработка стандарта предприятия.

Остановимся на двух этапах данной работы – разработке процедуры ранжирования и определении зон контроля.

Целью ранжирования является распределение совокупности технических устройств технологических установок согласно представлению об их опасности на основе экспертно-балльной оценки их технического состояния. Анализ установленных признаков дает возможность разработать мероприятия, выполнение которых позволяет осуществлять эксплуатацию установок с минимизацией событий, приводящих к ущербу для производства и окружающей среды, гибели или травмированию людей.

По степени опасности технические устройства делятся на четыре группы с присвоением им соответствующего ранга в зависимости от их технического состояния, связанного с влиянием деградационных процессов на работоспособность и надежность оборудования, и условиями, определяющими возможность его эксплуатации:

- I ранг – оборудование, которое может находиться в эксплуатации без ограничений;
- II ранг – оборудование, которое может находиться в эксплуатации с установленным минимально необходимым объемом контроля технического состояния в межремонтный период;
- III ранг – оборудование, которое может находиться в эксплуатации с ограничениями (компенсирующими мероприятиями), включая использование систем мониторинга;

**ТАБЛИЦА 3. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО ФАКТОРУ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

|  |   | Оценка возможности эксплуатации, учитывающая фактор продолжительности эксплуатации |  |   |   |
|--|---|--|--|---|---|
| Возможная ситуация, связанная с продолжительностью эксплуатации                | Параметр, характеризующий фактор              | Оценка ситуации, при которой разрешена эксплуатация ТУ                             | Оценка ситуации, при которой допускают эксплуатацию ТУ | Предельно допустимая ситуация, при которой возможна эксплуатация ТУ | Оценка ситуации, при которой не рекомендуется эксплуатация ТУ |
|  |   | I РАНГ   | II РАНГ  | III РАНГ  | IV РАНГ   |
| Фактор, учитывающий расчетный срок эксплуатации (Т) при плановых обследованиях | Т, год  | [2 ÷ 0,5 Т]  | [0,5 Т ÷ 0,9 Т]  | < 2<br>[0,9 Т ÷ Т]  | –   |
| Фактор, учитывающий расчетный срок эксплуатации (Т) без плановых обследований  | Т, год  | –  | –  | (0 ÷ Т]   | –   |
| Фактор, определяющий работу с продленным сроком эксплуатации*                  | Количество реализуемых видов контроля при ЭПБ | > 6  | [2 ÷ 6]  | (0 ÷ 1)   | Не продлено по результатам ЭПБ<br>Не проведена ЭПБ            |

\* При анализе фактора, определяющего работу оборудования с продленным сроком эксплуатации, количество реализуемых видов контроля при проведении ЭПБ следует принимать согласно таблице 4.

**ТАБЛИЦА 4. ВИДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ ЭПБ**

| Параметр, учитывающий виды контроля при ЭПБ | Виды контроля технического состояния оборудования при ЭПБ* |    |       |     |     |    |    |    |    |    |    |      |     |    |
|---|--|----|-------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|------|-----|----|
|   | НО   | ВО | ГИ/ПИ | УЗТ | УЗК | МП | ПВ | АЭ | РГ | ТК | МГ | ММПМ | МЕХ | ВТ |
|   | +  | +  | +     | +   | +   | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +    | +   | +  |

\*НО – наружный осмотр; ВО – внутренний осмотр; ГИ/ПИ – гидро- или пневмоиспытание; УЗТ – ультразвуковая толщинометрия; УЗК – ультразвуковой контроль; МП – магнитопорошковый контроль; ПВ – контроль проникающими веществами; АЭ – акустико-эмиссионный контроль; РГ – рентгеновский контроль; ТК – тепловой контроль; МГ – металлографические исследования; ММПМ – контроль методом магнитной памяти металла; МЕХ – измерение механических свойств; ВТ – вихрековый контроль.

Знак + должен свидетельствовать о проведении при комплексном диагностировании работ, выполненных с помощью данного вида неразрушающего контроля.

– IV ранг – критически опасное оборудование, которое либо допускают к эксплуатации после выполнения компенсирующих мероприятий и мероприятий по приведению его в соответствие требованиям НТД, либо выводят из эксплуатации.

При выполнении процедуры ранжирования в обязательном порядке должна быть проведена оценка технических устройств:

- по фактору коррозионного воздействия технологической среды;
- по фактору общей коррозии;
- по фактору продолжительности эксплуатации;
- с учетом выявленных дефектов;
- в связи с изменениями, произошедшими за время эксплуатации.

Рассмотрим более подробно ранжирование по фактору продолжительности эксплуатации и фрагментарно – ранжирование, связан-

ное с изменениями, произошедшими за время эксплуатации.

Согласно со сложившейся практикой и действующими правилами эксплуатацию оборудования можно разделить на два последовательных периода. Первый – расчетный срок, который определяется проектной организацией либо заводом-изготовителем, второй – после исчерпания расчетного срока определяется экспертными организациями в рамках проведенных ими экспертиз промышленной безопасности.

Оборудование, не выработавшее расчетный срок, оценивают на основании факторов, связанных с проявлением в начальный период эксплуатации скрытых дефектов конструктивного, металлургического, машиностроительного и иного характера, с несоблюдением правил освидетельствования и требований технологических регламентов.

Оборудование, которое выработало нормативный срок эксплуатации, уже по этому фактору попадает в зону усиленного внимания. К факторам, определяющим состояние технического устройства, относятся: время перепробега, результаты ЭПБ (экспертизы промышленной безопасности), средства, привлекаемые при проведении технической диагностики, установленный при экспертизе промышленной безопасности ресурс.

Если обследование оборудования, которое выработало нормативный срок эксплуатации, не выполнялось или проводилось с нарушением правил, то обязательным при решении о допуске оборудования в эксплуатацию является комплексное освидетельствование оборудования.

Оценку возможности эксплуатации оборудования по фактору продолжительности и установление ранга проводят в соответствии с указаниями, приведенными в таблице 3.

Поэтому при установлении ранга определяющими являются характеристика ситуации и ее уровень.

Например, анализируется ситуация с техническим устройством, выработавшим нормативный срок эксплуатации, для которого проведена экспертиза промышленной безопасности на основании результатов семи видов неразрушающего контроля. В этом случае при положительной оценке результатов контроля ранг этого технического устройства – I.

Проведем обоснование отнесения оборудования, находящегося в эксплуатации менее двух лет, к III рангу. Рассмотрим результаты авторской работы по оценке надежности колонны синтеза аммиака. С этой целью бы-

исполнении, также подчиняется нормальному закону (рис. 1).

Очевидно, что разрушение конструкции наступит только тогда, когда одновременно будут выполнены условия:

$$x_n^{\max} > x_k,$$

$$x_n^{\min} < x_k.$$

Так как эти события независимы, то вероятность разрушения  $P_{\text{разр}}$  может быть описана формулой:

$$P_{\text{разр}} = \left[ \frac{1}{2} - \Phi \left( \frac{x_{\text{разр}} - \bar{x}_n}{\sigma_n} \right) \right] \cdot \left[ \frac{1}{2} - \Phi \left( \frac{x_{\text{разр}} - \bar{x}_n}{\sigma_n} \right) \right],$$

где  $\Phi(\xi)$  – функция Лапласа.

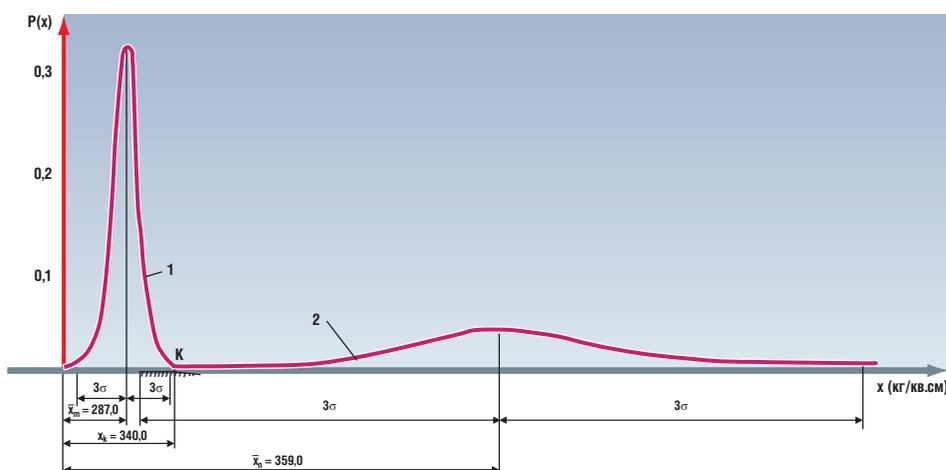


Рис. 1. Законы распределения фактора нагрузки (1) и фактора прочности (2)

ла установлена вероятность разрушения конструкции при заданном запасе прочности.

Характер распределения плотности вероятности нагрузки был установлен по результатам статистической обработки наблюдений за изменением давления в сосуде за восемь месяцев.

Построенная по этим данным гистограмма распределения нагрузки позволила предположить, что плотность распределения нагрузки описывается нормальным законом. Проверка этой гипотезы с помощью критерия согласия  $\chi^2$  не опровергла это предположение.

Несущая способность корпуса колонны определяется прочностными характеристиками материала (пределом текучести) и толстостенностью сосуда. Случайной величиной в данном случае является прочностная характеристика, детерминированной – коэффициент толстостенности. Из этого вытекает, что плотность распределения предельной нагрузки, рассчитанная согласно нормативным документам в том числе и в рулонированном

Необходимые для решения уравнения среднее значение  $\bar{x}_n$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma_n$  фактора нагрузки определяются из статистических данных, а среднее значение  $\bar{x}_k$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma_k$  фактора прочности приняты на основе справочных данных.

Величина предельной нагрузки  $x_{\text{разр}}$  определяется из уравнения:

$$\frac{(x_{\text{разр}} - \bar{x}_n)^2}{\sigma_n^2} - \frac{(x_{\text{разр}} - \bar{x}_k)^2}{\sigma_k^2} = -2 \ln \frac{\sigma_n}{\sigma_k}.$$

Решение этого уравнения позволяет в конечном счете получить величину вероятности разрушения сосуда:  $P_{\text{разр}} = 0,4 \cdot 10^{-5}$ . Вероятность безопасной работы составит  $P_{\text{неразр}} = 0,99996$ .

В пределах нормативного срока 20 лет, устанавливаемого проектом, вероятность безотказной работы составит 0,99989, что свидетельствует о достаточно высокой надежности емкостного оборудования. Здесь возможно увеличение сроков между проводимыми ос-

видительствованиями и ремонтами и вообще увеличение сроков эксплуатации.

Однако у первого изготовленного аппарата в рулонированном исполнении (рис. 2) со съемной насадкой через два года была зафиксирована кольцевая трещина в сварном шве приварки верхнего фланца к рулонной царге на  $\frac{3}{4}$  окружности.

Факт фиксирования у технического устройства значительного дефекта после двух лет эксплуатации свидетельствует о необходимости более внимательного отношения к контролю технического состояния конструкций именно в этот период. Как было установлено, одной из причин появления дефекта явился неучет специфики работы сварного

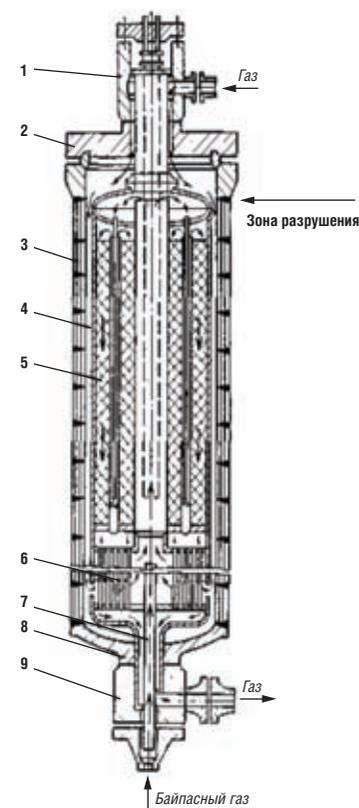


Рис. 2. Колонна синтеза: 1 – тройник, 2 – крышка, 3 – корпус высокого давления, 4 – корпус насадки, 5 – катализаторная коробка, 6 – теплообменник, 7 – байпасная труба, 8 – днище, 9 – тройник

шва соединения рулона с кованым фланцем в условиях набора температуры.

Процесс ранжирования, связанный с изменениями, произошедшими за время эксплуатации, целесообразно проводить с помощью разработанных таблиц, позволяющих дать ту или иную оценку выявленной ситуации с ранжируемым объектом. В качестве иллюстрации

**ТАБЛИЦА 5. УЧЕТ ФАКТОРА ИЗМЕНЕНИЙ, ПРОИСХОДЯЩИХ С ОБОРУДОВАНИЕМ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

| Возможная ситуация, связанная с изменениями во время эксплуатации |  |                                | Оценка возможности эксплуатации, учитывающая фактор изменений            |  |  |   |   |
|---|--|--------------------------------|--|--|--|---|---|
|   |  |                                | Параметр, характеризующий фактор   | Оценка ситуации, при которой разрешена эксплуатация ТУ | Оценка ситуации, при которой допускают эксплуатацию ТУ | Предельно допустимая ситуация, при которой возможна эксплуатация ТУ | Оценка ситуации, при которой не рекомендуется эксплуатация ТУ |
| Изменения условий эксплуатации                                    | Консервация  | согласно требованиям правил    |  | *  | –  | –   | –   |
|   |  | с нарушением требований правил |  | –  | –  | *   | –   |
|   | Расконсервация   | согласно требованиям правил    |  | –  | *  | –   | –   |
|   |  | с нарушением требований правил |  | –  | –  | *   | –   |
|   | Уменьшение давления и температуры  |                                | Данные по эксплуатации   | *  | –  | –   | –   |
|   | Увеличение давления и температуры при наличии документированного обоснования |                                |  | –  | *  | –   | –   |
|   | Увеличение давления и температуры при отсутствии обоснования                 |                                |  | –  | –  | –   | *   |
|   | Увеличение параметров технологического процесса                              |                                |  | –  | –  | *   | –   |
| Изменение технологической среды                                   |  |                                | Устанавливают по фактору коррозионного воздействия технологической среды |  |  |   |   |
| Нет изменений   |  |                                | *  | –  | –  | –   |   |

\* Высокий уровень проявления фактора изменений.

**ТАБЛИЦА 6. МАТРИЦА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАНГА ВОЗМОЖНОСТИ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

| Область анализа фактора                       | Параметр, характеризующий фактор | Ранг технического устройства  |              |               |        |
|---|----------------------------------|---|--------------|---------------|--------|
|   |                                  | I   | II           | III           | IV     |
| Коррозионное воздействие сред                 | Балл                             | ≤ 5,0   | (5,0 ÷ 25,0] | (25,0 ÷ 80,0] | > 80,0 |
| Общая коррозия                                |                                  | По совокупности данных, определяющих <b>фактор общей коррозии</b> , согласно таблицам                               |              |               |        |
| Продолжительность эксплуатации                |                                  | По совокупности данных, определяющих <b>фактор продолжительности эксплуатации</b> , согласно таблицам               |              |               |        |
| Дефектность                                   | Данные анализа состояния         | По совокупности данных, определяющих <b>фактор дефекта</b> , согласно таблицам                                      |              |               |        |
| Изменения, происшедшие за время эксплуатации  |                                  | По совокупности данных, определяющих <b>фактор изменений, происшедших за время эксплуатации</b> , согласно таблицам |              |               |        |
| Возможные дополнительные факторы ранжирования |                                  | По совокупности данных, определяющих <b>фактор</b>  |              |               |        |

табличной формы экспертной оценки представлена таблица 5.

Для определения ранга технического устройства предлагается матричная форма анализа конечной информации совокупных фак-

торов, определяющих степень возможности безопасной эксплуатации технических устройств (табл. 6).

Работа с матрицей индивидуальна для каждого технического устройства и пред-

матривает внесение в соответствующие ячейки полей матрицы результатов, полученных при оценке каждого фактора.

Соответственно, максимальное значение определяет установленный ранг. Полученный таким образом результат может быть скорректирован в случае появления дополнительной информации при анализе неучтенных в настоящих рекомендациях факторов.

Для классификации требуемого уровня контроля удобна матричная форма совместного рассмотрения ранга, определяющего возможность эксплуатации оборудования (табл. 6), и ранга, определяющего опасность при эксплуатации объекта согласно требованиям правил. Полученная матрица позволяет устанавливать уровень контроля, обеспечивающего необходимую промышленную безопасность.

Работа с матрицей (табл. 7) предусматривает определение уровня по соответствующей ячейке, обозначенной буквенными индексами А, В, С, D, Е, характеризующей объем, методы, средства и периодичность проведения технического диагностирования оборудования.

В таблице 8 приведены некоторые данные о видах неразрушающего контроля, а в таблице 9 – о его периодичности в реализуемой системе технического контроля оборуду-

**ТАБЛИЦА 7. МАТРИЦА ВЫБОРА ОБЪЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И ВИДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СОСУДОВ И АППАРАТОВ**

| Обозначение         |     | Ранг технического устройства |    |     |    |
|---------------------|-----|------------------------------|----|-----|----|
|                     |     | I                            | II | III | IV |
| Ранг ТУ согласно ПБ | I   | A                            | A  | B   | C  |
|                     | II  | A                            | B  | B   | D  |
|                     | III | A                            | C  | C   | E  |
|                     | IV  | A                            | C  | D   | E  |

**ТАБЛИЦА 8. КЛАССИФИКАЦИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

| Уровень технической диагностики | Виды технической диагностики  |  |
|---------------------------------|---|--|
|                                 | Период проведения технической диагностики   |  |
|                                 | Межремонтный период   | Период капитального ремонта  |
| A                               | Наружный осмотр   | Наружный осмотр.<br>Внутренний осмотр.<br>Ультразвуковая толщинометрия при необходимости.<br>Испытание на прочность и плотность согласно правилам  |
| E                               | Наружный осмотр.<br>Ультразвуковая толщинометрия.<br>Применение – зональное, периодическое, без ограничений по температуре неподготовленной поверхности.<br>Тепловой контроль. Применение – зональное, периодическое при необходимости.<br><b>Периодический контроль на основе АЭ систем.</b><br>Контроль состояния основного металла, металла сварных швов и околошовной зоны.<br>Применение – зональное, периодическое, обязательное.<br>(Средства контроля – ультразвуковой контроль, вихретоковый контроль, метод магнитной памяти металла. Выбор видов контроля определяется доступностью зон контроля и возможностью их применения. Указанные средства могут использоваться как арбитражные для акустико-эмиссионного контроля) | Наружный осмотр.<br>Внутренний осмотр.<br>Испытание на прочность и плотность согласно правилам.<br>Ультразвуковая толщинометрия.<br><i>Выборочный ультразвуковой контроль.</i><br><i>Вихретоковый контроль как альтернативный контроль ультразвукового контроля.</i><br><i>Металлографические исследования, безобразцовые.</i><br><i>Выборочный контроль твердости металла.</i><br><i>Поверочные расчеты на прочность.</i><br><i>(Необходимость определяет экспертная организация)</i> |

дования, соответствующие принятой в таблице 7 классификации.

Важной составляющей разработанной системы является установление зон, где наиболее возможна и реализуется повышенная деградация металла несущих конструктивных элементов оборудования и которые в даль-

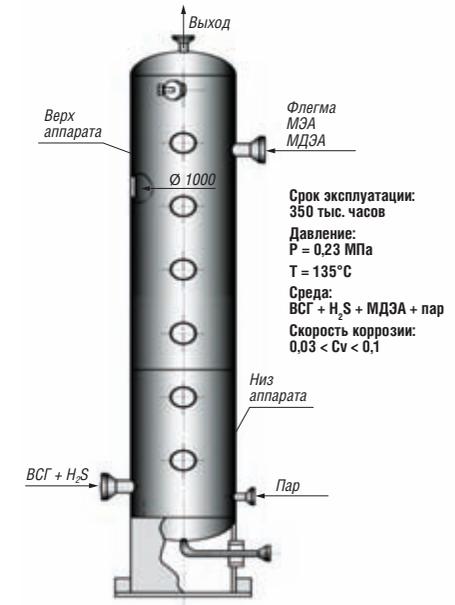
нейшем становятся очагами образования и развития недопустимых дефектов. Поэтому контроль состояния конструкции в этих зонах может ответить на вопрос о техническом состоянии объекта контроля в целом.

Такие зоны в большинстве случаев возникают в областях с повышенным уровнем

напряженного состояния. Это зоны изменения геометрии конструкции, зоны врезок штуцеров, зоны сварных швов обечаек, приварки днищ, крышек, трубных элементов, а также зоны с высоким уровнем коррозионно-эрозионного воздействия сред, границы раздела фаз, застойные зоны и зоны действия локальных высокотемпературных потоков.

Установление зон с наибольшим уровнем напряжений является задачей прочностных исследований. Поэтому в основе определения зон контроля технических устройств лежит прочностная оценка оборудования.

В целях упрощения процедуры проведения расчетов на прочность при определении



**Рис. 3. Схема десорбера**

зон в рассматриваемом подходе реализуется балльная система, заключающаяся в экспертной количественной оценке всех факторов, снижающих прочностную надежность базисного элемента оборудования.

При балльной оценке, например, емкостного оборудования за базисный элемент может быть принята гладкая неослабленная оболочка, не имеющая факторов, снижающих ее прочность, и рассчитанная согласно действующим нормам расчета на прочность.

Входящие в анализ факторы, способные изменить в реальной конструкции прочностную оценку принятого базисного элемента, имеют свою количественную оценку, отличную от единицы.

Максимальный результат перемножения коэффициентов, определяющих установлен-

ТАБЛИЦА 9. ПЕРИОДИЧНОСТЬ КОНТРОЛЯ

| Уровень контроля                                 | ВИД КОНТРОЛЯ                 |    |    |    |    |                                       |                              |    |    |    |    |                             |   |
|--|------------------------------|----|----|----|----|---------------------------------------|------------------------------|----|----|----|----|-----------------------------|---|
|  | наружный осмотр              |    |    |    |    |                                       | внутренний осмотр            |    |    |    |    |                             |   |
|  | межремонтный период, месяцев |    |    |    |    | капитальный ремонт, месяцев           | межремонтный период, месяцев |    |    |    |    | капитальный ремонт, месяцев |   |
|  | 6                            | 12 | 18 | 24 | 30 |                                       | 6                            | 12 | 18 | 24 | 30 |                             | 36  |
| A  | +                            | +  | +  | +  | +  | +                                     |                              |    |    |    |    |                             | +   |
| B  | +                            | +  | +  | +  | +  | +                                     |                              |    |    |    |    |                             | Может быть заменен альтернативными видами контроля: эндоскопы, АЭ-контроль, УЗК и др. |
| C  | +                            | +  | +  | +  | +  | +                                     |                              |    |    |    |    |                             | +   |
| D  | +                            | +  | +  | +  | +  | +                                     |                              |    |    |    |    |                             | +   |
| E  | +                            | +  | +  | +  | +  | +                                     |                              |    |    |    |    |                             | +   |
| Ультразвуковая толщинометрия                     |                              |    |    |    |    | Тепловой контроль (при необходимости) |                              |    |    |    |    |                             |   |
| A  |                              |    |    |    |    | +                                     |                              |    |    |    |    |                             |   |
| B  |                              |    | +  |    |    | +                                     |                              |    | +  |    |    |                             |   |
| C  |                              | +  |    | +  |    | +                                     |                              |    | +  |    |    |                             |   |
| D  |                              | +  |    | +  |    | +                                     |                              | +  |    | +  |    |                             |   |
| E  | +                            | +  | +  | +  | +  | +                                     |                              | +  |    | +  |    |                             |   |
| Контроль металла сварных швов и околошовной зоны |                              |    |    |    |    | Акустико-эмиссионный контроль         |                              |    |    |    |    |                             |   |
| A  |                              |    |    |    |    |                                       |                              |    |    |    |    |                             |   |
| B  |                              |    | +  |    |    | +                                     |                              |    |    |    |    |                             |   |
| C  |                              |    | +  |    |    | +                                     |                              |    |    |    |    |                             |   |
| D  |                              | +  |    | +  |    | +                                     |                              |    |    |    |    |                             | +   |
| E  |                              | +  |    | +  |    | +                                     | +                            | +  | +  | +  | +  |                             | +   |

172

ные факторы, характеризует наименее надежную зону технического устройства с наибольшей вероятностью появления в ней дефектов.

В качестве примера рассмотрим десорбер (рис. 3, 4).

В десорбере факторами, снижающими прочность, являются места сварки штуцеров, соединения эллиптических днищ с корпусом, сварные швы, соединяющие разностенные обечайки корпуса и обечайки, изготовленные из однородной стали и биметалла, возможные остаточные напряжения в ремонтных швах, ослабление оболочки сварным швом в случае неустраненных подрезов, действия внешних локальных нагрузок, а также коррозионный характер среды, интенсивность и свойства которой меняются с высотой аппарата.

Кoeffициенты с учетом всех факторов, в том числе и коррозионного воздействия среды, характеризующие зоны ослабления корпуса, сведены в таблицу 10.

Согласно данным таблицы, наиболее проблемными в данном аппарате и данной ситуации являются зоны сварки штуцеров входа и выхода продукта, подачи пара, вывода расствора МЭА, а также кольцевой шов, соединяющий верх и низ аппарата, и монтажный шов. Эти зоны представлены на рисунке 4.

В настоящей статье мы рассмотрели только часть выполненной работы по созданию системы технического контроля оборудования, позволяющего повысить надежность эксплуатации оборудования взрывопожароопасных производств на основе системного подхода к оценке его технического состояния, и разработке индивидуального подхода к предотвращению отказов на основе информационных технологий и компенсационных мероприятий.

Результаты выполненной работы вписываются в концепцию глобальной модернизации системы промышленной безопаснос-

ти, рассмотренной на совещании открытого правительства, а также в стратегию повышения устойчивости инфраструктуры страны и представляют собой практическую реализацию повышения уровня не только контроля технического состояния оборудования, но и ответственности собственника предприятия, а также специалистов, работающих в системе промышленной безопасности.

Результаты каждого этапа работы докладывались на заседаниях секции по нефтегазопереработке и нефте- и газохимии научно-технического совета Ростехнадзора по нефтегазовому комплексу 8 декабря 2011 года и 1 июня 2012 года.

На заседании секции научно-технического совета Ростехнадзора по безопасности в нефтегазовом комплексе 5 декабря 2012 года были рассмотрены результаты создания системы технического контроля оборудования, обеспечивающей промышленную безопасность при

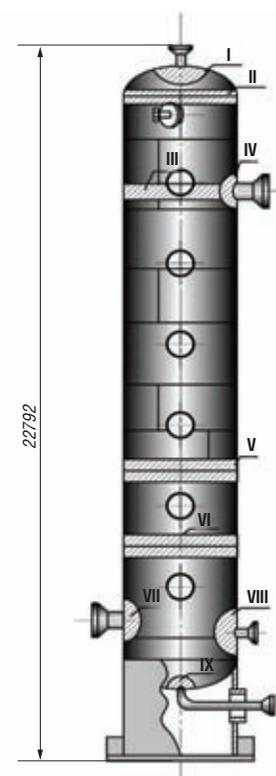
**ТАБЛИЦА 10. КОЭФФИЦИЕНТЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ЗОНЫ ОСЛАБЛЕНИЯ КОРПУСА**

| Наименование зоны  | Общий коэффициент | Примечание   |
|--|-------------------|--|
| Вварка штуцера выхода $H_2S$ ; пары воды                                     | 3,510             | –  |
| Узел соединения эллиптической крышки с корпусом                              | 2,541             | Зона восстановительного ремонта                          |
| Вварка штуцера подачи насыщенного раствора ( $H_2S$ ; раствор МДЭА)          | 3,900             | –  |
| Вварка пяти верхних люков-лазов  | 2,925             | –  |
| Кольцевой шов соединения обечеек корпуса из биметалла и стали марки ст3кп    | 2,070             | Возможно коррозионное растрескивание                     |
| Кольцевой монтажный шов соединения разностенных обечеек корпуса из биметалла | 4,843             | Без термообработки. Возможно коррозионное растрескивание |
| Вварка двух нижних люков-лазов   | 2,437             | –  |
| Вварка штуцера подачи продукта   | 9,750             | Без термообработки. Возможно коррозионное растрескивание |
| Вварка штуцера подачи пара   | 4,870             | –  |
| Вварка штуцера вывода раствора МЭА   | 4,870             | –  |
| Узел соединения эллиптического днища с корпусом                              | 2,541             | –  |

переводе установок 1-го технологического комплекса на трехлетний интервал между капитальными ремонтами. По результатам рассмотрения работы в целом научно-техническим советом было принято следующее решение:

1. Одобрить результаты проведенной ЗАО “РНПК” и ЗАО “ГИАП-ДИСТцентр” работы по созданию системы технического контроля оборудования, обеспечивающей промышленную безопасность технологических установок первого комплекса ЗАО “РНПК” в условиях увеличенного интервала между капитальными ремонтами (три года и более).

2. В условиях действия системы технического контроля оборудования, а также реализации компенсационных мероприятий для технологических установок первого комплекса считать возможным эксплуатацию установок: АВТ-1 (цех №1), АТ-6 (цех №1), УККФ (цех №2), УГВГ (цех №2), УПВ (цех №2), СКА (цех №2), ЛЧ-35-11/600 (цех №3), ЛЧ-24/7 (цех №3), ХВО-2 (цех №12) закрытого акционерного общества “Рязанская нефтеперерабатывающая компания” с трехлетним интервалом между капитальными ремонтами при обязательном выполнении предписыва-



**Рис. 4. Схема зон контроля десорбера**

емых системой технического контроля оборудования требований к техническому освидетельствованию по периодичности и объему контроля.

3. С учетом важности данной работы ЗАО “РНПК” следует периодически представлять на заседаниях секции НТС Ростехнадзора по нефтегазовому комплексу результаты внедрения системы технического контроля оборудования технологических установок первого комплекса ЗАО “РНПК” в условиях увеличенного интервала между капитальными ремонтами.

**Борис Петрович Сергиев**

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР  
ЗАО “ГИАП-ДИСТЦЕНТР”

**Николай Андреевич Махутов**

ГЛАВНЫЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК  
ИНСТИТУТА МАШИНОВЕДЕНИЯ РАН,  
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН