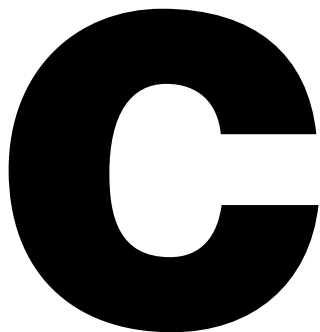


Модель для определения значимости риска эксплуатации бесшовных баллонов

Излагаются методические основы применения модели определения уровня допустимого риска эксплуатации бесшовных стальных баллонов, предназначенных для хранения и эксплуатации этилена, в соответствии с требованиями Технического регламента «О безопасности машин и оборудования»



В.В. Толмачев

заведующий лабораторией
ФГУП «Уральский научно-
исследовательский институт
метрологии»,
г. Екатеринбург,
sertif42@gmail.com,
канд. физ.-мат. наук

И.Н. Федорова

научный сотрудник ФГУП
«Уральский научно-
исследовательский институт
метрологии»,
г. Екатеринбург

Современные требования к качеству и безопасности продукции требуют постоянного повышения квалификации персонала, в том числе инженеров-конструкторов, занятых разработками новых видов продукции. Технические регламенты, принятые в соответствии с реформой технического регулирования, устанавливают требования безопасности к выпускаемой продукции. К сожалению, до настоящего времени это реформирование практически не нашло своего отражения ни в государственных образовательных стандартах, ни в программах курсов повышения квалификации специалистов. В связи с этим наблюдается явное отставание между требованиями технических регламентов, принятых в виде законов, с одной стороны, и знаниями и подготовкой персонала, не владеющего методическим аппаратом и приемами, необходимыми для реализации современных требований к безопасности продукции, установленных в регламенте, с другой стороны.

Стальные бесшовные баллоны, предназначенные для транспортирова-

ния этилена (далее — баллоны), являются объектом регулирования технического регламента «О безопасности машин и оборудования», действующего до вступления в силу 15 февраля 2013 года Технического регламента Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования».

Согласно приказу Росстандарта № 3108 от 20.08.2010 г. разработчик конструкторской документации на баллоны, чтобы обеспечить соблюдение требований технического регламента «О безопасности машин и оборудования», должен как минимум применять положения стандартов [1–4]. Однако применение указанных стандартов, за исключением стандарта системы стандартов безопасности труда [4], вызывает серьезные затруднения не только у недавних выпускников высшей школы, но и у опытных инженеров-конструкторов из-за отсутствия надлежащей подготовки, непривычности ключевых понятий и терминологии.

В основе концепции риска лежит постулат, что опасность не может при-

ключевые слова

стальные баллоны, хранение и транспортирование этилена, уровень допустимого риска эксплуатации, анализ риска, безопасность

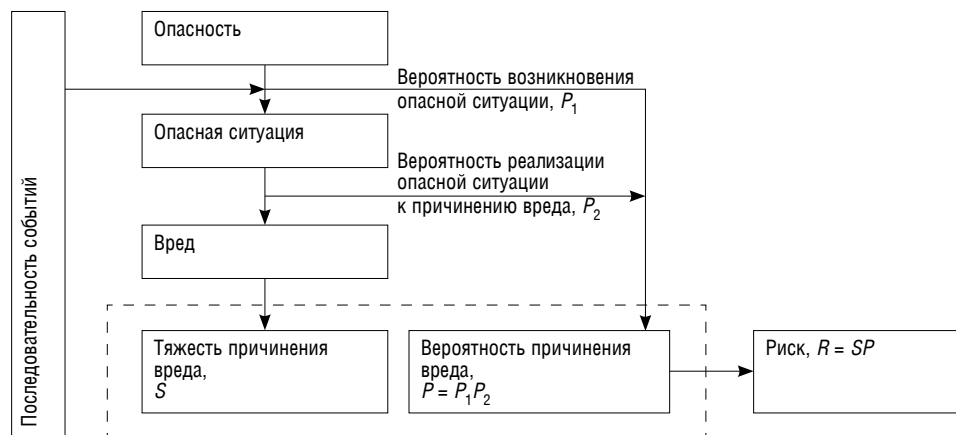


Рис. 1. Соотношение между опасностью, последовательностью событий, опасной ситуацией и вредом

нести вред объекту воздействия (людям, имуществу, окружающей среде), пока последовательность событий или случайных обстоятельств не приведет к опасной ситуации (ситуации воздействия). На такой стадии риск можно оценить путем определения тяжести последствий и вероятности причинения вреда (рис. 1).

Задачей первого этапа оценки уровня допустимого риска эксплуатации баллонов является составление перечня основных опасностей, которые могут привести к событиям, связанным с возможными критическими воздействиями. Исчерпывающий перечень опасностей для машин и оборудования можно найти в Приложении 2 Технического регламента «О безопасности машин и оборудования». Результаты его анализа приведены в табл. 1. Опасности разделены по четырем основным категориям: критические недостатки конструкции баллона, критическое воздействие внешней среды, критическое воздействие рабочей (внутренней) среды, нарушение условий эксплуатации; для удобства дальнейшего анализа каждой из опасностей присвоен индекс.

Следует отметить, что согласно принципу разграничения ответственности анализ рисков проводится для баллонов, конструкция которых включает в себя опорный башмак, корпус баллона, кольцо горловины, вентиль, предохранительный колпак (рис. 2). Редуктор, манометры, шланги для подсоединения потребителей газа зависят от выбора эксплуатирующей организации, которая несет ответственность за безопасное использование в соответ-

ствии с ограничениями изготовителя выбранного аксессуара.

Задачей второго этапа — оценка уровня допустимого риска эксплуатации баллонов — является составление перечня вероятных последовательностей событий или случайных обстоятельств, приводящих к опасной ситуации (рис. 1), а также оценка полноты набора ситуаций воздействия. Как правило, при эксплуатации баллонов выделяют следующие стадии: наполнение газом, транспортирование (к месту хранения или эксплуатации), хранение, эксплуатация, техническое освидетельствование. Анализ источников [5–12] для указанных стадий позволил составить перечень вероятных последовательностей событий или случайных обстоятельств, которые могут привести к опасной ситуации (табл. 2) с возможным воздействием баллона на объект воздействия.

Критерием полноты набора ситуаций воздействия является полнота стадий жизненного цикла, использованных для построения модели, связывающей опасности, стадии жизненного цикла баллонов и вероятные последовательности событий или случайные обстоятельства.

В ходе третьего этапа данные, полученные на первых двух этапах, объединяют в сводную таблицу, которая показывает, как опасность превращается в опасную ситуацию с причинением вреда в результате вероятной последовательности событий или случайных обстоятельств (табл. 3). Отметим, что отдельно взятая опасность может причинить вред различной степени тяжести и что к опасной ситуации может

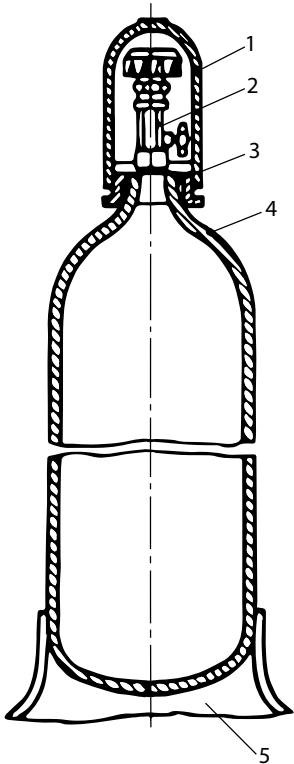


Рис. 2. Конструкция баллона:
1 — предохранительный колпак;
2 — вентиль;
3 — горловина;
4 — корпус баллона;
5 — опорный башмак

Таблица 1
Перечень основных опасностей для баллонов

Факторы опасности			
Особенности конструкции баллона в целом	Внешняя среда	Рабочая среда (этилен)	Эксплуатация баллона
Недопустимые отклонения параметров конструкции, сборочных единиц и устройств безопасности, влияющих на безопасность (M11)	► Пожар ► Чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера (M21)	Воздействие рабочей среды на внутренние поверхности элементов оборудования (M31)	Превышение давления: рабочее давление не должно превышать разрешенное (M41)
Потеря устойчивости (M12)	—	Пожаро- и взрывоопасные свойства рабочей среды (M32)	—

Таблица 2
Перечень вероятных последовательностей событий или случайных обстоятельств

Стадия жизненного цикла баллонов	Вероятная последовательность событий или случайных обстоятельств
Наполнение газом	▶ M11 — недостаточная прочность корпуса баллона ▶ M12 — падение баллона при воздействии (вибрация, падение предмета и др.) ▶ M12 — неправильная посадка башмака ▶ M21 — пожар ▶ M31 — нарушение сплошности корпуса из-за коррозионного воздействия газа ▶ M32 — применение искрообразующего инструмента и оборудования ▶ M41 — нагрев баллона прямым солнечным светом ▶ M41 — наполнение баллона избыточным количеством газа
Транспортирование	▶ M11 — нарушение герметичности вентиля вследствие удара или другого механического воздействия ▶ M12 — падение баллона в кузове или из кузова транспортного средства ▶ M12 — неправильная посадка башмака ▶ M12 — соударение баллонов ▶ M21 — пожар ▶ M32 — искрообразование при соударении баллонов или работе двигателя транспортного средства ▶ M32 — загрязнение баллона ЛВЖ ▶ M41 — нагрев баллона прямым солнечным светом
Хранение и эксплуатация	▶ M11 — нарушение герметичности вентиля вследствие удара или другого механического воздействия ▶ M11 — нарушение герметичности вентиля из-за износа ▶ M12 — падение баллона при механическом воздействии на баллон ▶ M12 — неправильная посадка башмака ▶ M21 — пожар ▶ M32 — искрообразование при пользовании обувью, подбитой гвоздями или металлическими подковками ▶ M32 — загрязнение баллона ЛВЖ ▶ M41 — нагрев баллона прямым солнечным светом
Техническое освидетельствование	▶ M11 — износ резьбового соединения баллон–вентиль ▶ M12 — падение баллона при механическом воздействии на баллон

ЛВЖ — легковоспламеняющаяся жидкость

привести более одной последовательности событий.

Следующим этапом оценки уровня допустимого риска эксплуатации баллонов является количественная оценка. Согласно рис. 1 для количественной оценки риска необходимо знать степень тяжести вреда и вероятность его причинения. В методе Файн — Кинни [13] риск (R) вычисляют по формуле (1) на основе оценки или априорной информации о следующих величинах: тяжесть последствий (S), вероятность возникновения опасной ситуации (P_1), вероятность того, что опасная ситуация приведет к причинению вреда (P_2):

$$R = P_1 \times P_2 \times S. \quad (1)$$

Фактически величины, входящие в (1), непрерывны, однако на практике используют их дискретные значения. Каждому фактору присваивают значения по шкале от 1 до 10 в соответствии с результатами оценки или априорной информацией из табл. 4–6 [13].

Величина риска R в результате может иметь значения от 1 до 1000, которые интерпретируют с помощью шка-

лы табл. 7 с целью принять решение о необходимом комплексе мер для достижения допустимого риска

Достоинством метода Файн — Кинни является возможность обоснованного выбора управляющих воздействий: соотношение риска, определенного по формуле 1 с табл. 7, позволяет выстроить логичную систему управления риском и выбор приоритетных действий для предотвращения причинения вреда или снижения тяжести последствий.

Модель эксплуатации баллонов, используемая для оценки уровня допустимого риска эксплуатации, базируется на следующих априорных предположениях:

- 1. Заправка баллонов газом осуществляется один раз в месяц. При недостаточной прочности корпуса баллона существует опасность выделения газа.
- 2. Механическое повреждение вентиля с нарушением его герметичности и выделением газа может произойти как при транспортировании баллона от места заправки, так и при эксплуатации. Частота события в рассматриваемой модели — два раза в месяц.

Таблица 3

Связь между опасностью, вероятной последовательностью событий или случайных обстоятельств, опасной ситуацией и причинением вреда

Опасность	Вероятная последовательность событий	Опасная ситуация	Вред
Недопустимые отклонения параметров конструкции, сборочных единиц и устройств безопасности, влияющих на безопасность (M11)	▶ Недостаточная прочность корпуса баллона ▶ Нарушение герметичности вентиля вследствие удара или другого механического воздействия ▶ Износ резьбового соединения баллон–вентиль	Выделение газа	▶ Неострое отравление при превышении ПДК газа в воздухе ▶ Острое отравление при вдыхании газа ▶ Ожог при попадании струи газа на кожу ▶ Раздражение слизистых оболочек глаз
Потеря устойчивости (M12)	▶ Падение баллона при воздействии (вибрация, падение предмета и др.) ▶ Падение баллона в кузове или из кузова транспортного средства ▶ Падение баллона при механическом воздействии на баллон ▶ Падение баллона из-за неправильного крепления башмака	▶ Падение баллона на человека ▶ Нарушение сплошности стенки с выделением газа	▶ Травма ▶ Неострое отравление при превышении ПДК газа в воздухе ▶ Острое отравление при вдыхании газа ▶ Ожог при попадании струи газа на кожу ▶ Раздражение слизистых оболочек глаз
Опасности, возникающие при пожаре, чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера (M21)	Нагрев баллона вследствие пожара	Разрушение стенки баллона с образованием осколков и выделением газа	▶ Травма ▶ Смерть
Повреждения, связанные с воздействием рабочей среды на внутреннюю поверхность элементов оборудования (M31)	Нарушение сплошности корпуса из-за коррозионного воздействия газа	Выделение газа	▶ Неострое отравление при превышении ПДК газа в воздухе ▶ Острое отравление при вдыхании газа ▶ Ожог при попадании струи газа на кожу ▶ Раздражение слизистых оболочек глаз
Пожаро- и взрывоопасные свойства рабочей среды (M32)	▶ Применение искрообразующего инструмента и оборудования ▶ Искрообразование при соударении баллонов или работе двигателя транспортного средства ▶ Искрообразование при пользовании обувью, подбитой гвоздями или металлическими подковками ▶ Загрязнение баллона ЛВЖ	В присутствии газа — взрыв	▶ Ожоги ▶ Смерть
Превышение давления: рабочее давление не должно превышать разрешенное (M41)	▶ Нагрев баллона прямым солнечным светом ▶ Наполнение баллона избыточным количеством газа	Разрушение стенки баллона с образованием осколков и выделением газа	▶ Травма ▶ Смерть

3. Нарушение герметичности резьбового соединения баллон–вентиль вследствие износа может возникнуть при отвинчивании вентиля для проведения внутреннего осмотра при техническом диагностировании. Вероятность возникновения — один раз в пять лет.

4. Падение баллона при механическом воздействии может происходить при транспортировании к месту заправки, при наполнении газом, при хранении и при эксплуатации. Суммарная вероятность события в рассматриваемой модели — четыре раза в месяц (ежедневно).

5. Падение баллона из-за неправильной посадки башмака происходит при транспортировании к месту заправки (один раз в месяц), при наполнении газом (один раз в месяц), при эксплуа-

тации (ежедневно). Суммарная вероятность — ежедневно.

6. Нагрев баллона вследствие пожара, приводящий к разрушению кор-

Таблица 4

Шкала оценки вероятности возникновения опасной ситуации, P_1

Критерий вероятной последовательности события или случайного обстоятельства	Оценка P_1 , балл
Один раз в течение срока эксплуатации (20 лет)	1
Один раз между освидетельствованиями (5 лет)	2
Пять раз между освидетельствованиями — ежегодно	3
Десять раз между освидетельствованиями — два раза в год	4
Ежемесячно	5
Два раза в месяц	6
Еженедельно	7
Два раза в неделю	8
Ежедневно	9
Постоянное присутствие опасности	10

Таблица 5

Шкала оценки вероятности причинения вреда, P_2

Критерий вероятности причинения вреда, P_2	Оценка P_2 , балл
Ничтожная (совершенно невозможно)	1
Незначительная (практически невозможно)	2
Весьма небольшая (почти невозможно)	3
Небольшая (вероятность немного меньше 50 %)	4
Умеренная (вероятность около 50 %)	5
Большая (вероятность немного больше 50 %)	6
Весьма большая (вероятно)	7
Высокая (очень вероятно)	8
Очень высокая (почти гарантировано)	9
Определенная (неизбежно)	10

Таблица 6

Шкала оценки тяжести последствий, S

Критерий тяжести последствий, S	Оценка S , балл
Травмы, ранения, ожоги или ушибы отсутствуют	1
Небольшие повреждения и полное восстановление без необходимости отсутствия на рабочем месте	2
Полное восстановления и возвращение после отсутствия на рабочем месте менее трех дней	3
Полное восстановление и возвращение после отсутствия на рабочем месте от трех дней до трех недель	4
Полное восстановление и возвращение после отсутствия на рабочем месте более трех недель	5
Возвращение на рабочее место после отсутствия более трех недель, проблемы со здоровьем	6
Постоянное слабое снижение способности к трудовой деятельности	7
Постоянная серьезная инвалидность	8
Постоянная полная инвалидность	9
Смерть	10

Таблица 7

Категория риска, C

C	R	Описание
1	≤ 200	Приемлемый риск
2	200–400	Риск требует внимания (информирование пользователя)
3	400–600	Риск требует принятия мер (изготовителем, конструктором)
4	600–800	Конструкция требует улучшения
5	800–1000	Конструкция требует изменения

пуга при превышении предельного давления, может возникнуть один раз в 240 месяцев на стадиях наполнения газом, транспортирования, хранения и эксплуатации. Суммарная вероятность — один раз в пять лет.

7. Нарушение целостности корпуса из-

за коррозионного воздействия газа может проявиться при воздействии избыточного давления при ежемесячной заправке газом.

8. Наличие искрообразующего фактора вблизи баллона может иметь место при эксплуатации ежедневно.

9. Загрязнение баллона легковоспламеняющимися жидкостями может иметь место при наполнении газом, при эксплуатации. Суммарная вероятность — два раза в месяц.

10. Нагрев баллонов прямым солнечным светом может произойти один раз в месяц при транспортировании к месту заправки, при наполнении газом. При хранении и при эксплуатации опасность может возникнуть десять раз в месяц. Суммарная вероятность — два раза в неделю.

11. Опасность наполнения баллона избыточным количеством газа может возникнуть один раз в месяц.

Вариант результата оценки рисков эксплуатации рассматриваемых баллонов представлен в табл. 8. Данный вариант не является единственно возможным, он зависит от степени проработки причин и последствий в ходе анализа обсуждаемой модели.

Сравнивая значения категории риска C (табл. 8) со шкалой табл. 7, можно сделать вывод о приемлемости риска. Для рассмотренной модели эксплуатации баллонов достигнутый риск либо является приемлемым, либо требует информирования пользователя. Как правило, информация о безопасном обращении с баллонами доводится до сведения персонала на предприятии при соблюдении требований промышленной безопасности.

К достоинствам рассмотренной модели можно отнести тот факт, что рассмотрение рисков эксплуатации баллонов находится в прямой корреляции с правилами безопасной эксплуатации баллонов, установленными в [8]. Поэтому в качестве дополнительного упражнения обучаемым рекомендуется провести анализ и оценку влияния применения тех или иных мер безопасности на величину баллов вероятности P_1 и P_2 , а также влияния несоблюдения

Таблица 8

Результаты оценки рисков эксплуатации баллонов бесшовных, предназначенных для хранения и перевозки ацетилена

Вероятная последовательность событий	Выделение газа				Образование осколков				Взрыв (при наличии газа)				Падение на человека				Категория С
	P_1	P_2	S	R_1	P_1	P_2	S	R_2	P_1	P_2	S	R_3	P_1	P_2	S	R_4	
Недостаточная прочность корпуса баллона	5	10	4	200	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1
Нарушение герметичности вентиля	6	10	4	240	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2
Износ резьбового соединения баллон-вентиль	2	10	4	80	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1
Падение баллона при воздействии	7	1	4	28	–	–	–	–	–	–	–	–	7	1	4	28	1
Неправильная посадка башмака	9	1	4	36	–	–	–	–	–	–	–	–	9	1	4	36	1
Нагрев баллона вследствие пожара	–	–	–	–	2	2	10	40	2	1	6	12	–	–	–	–	1
Нарушение сплошности корпуса из-за коррозионного воздействия газа	5	10	4	200	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1
Наличие искрообразующего фактора	–	–	–	–	–	–	–	–	9	7	5	315	–	–	–	–	2
Загрязнение баллона ЛВЖ	–	–	–	–	–	–	–	–	6	5	10	300	–	–	–	–	2
Нагрев баллона прямым солнечным светом	8	1	4	32	8	1	10	80	–	–	–	–	–	–	–	–	1
Наполнение баллона избыточным количеством газа	5	1	4	20	5	1	10	50	–	–	–	–	–	–	–	–	1

мер безопасности на тяжесть последствий S .

Представленный материал является методической основой для практических занятий по дисциплине «Менеджмент рисков при проектировании, производстве и эксплуатации материалов» для направления «Стандартизация и сертификация» магистратуры

механико-машиностроительного института Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Очевидно, что материал статьи может быть использован при повышении квалификации инженеров-конструкторов аппаратов и оборудования для химических производств. ■

Список литературы

- ГОСТ Р 51344–99. Безопасность машин. Принципы оценки и определения риска.
- ГОСТ Р ИСО 12100–1–2007. Безопасность машин. Основные понятия, общие принципы конструирования. Часть 1. Основные термины, методология.
- ГОСТ Р ИСО 12100–2–2007. Безопасность машин. Основные понятия, общие принципы конструирования. Часть 2. Технические принципы.
- ГОСТ 12.2.003–91. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
- Правила перевозки опасных грузов автомобильным транспортом, утверждены приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 8.08.1995 г. № 73.
- Правила перевозки автомобильным транспортом инертных газов и кислорода сжатых и жидких, утверждены Министерством промышленности Российской Федерации 14.04.1997 г. (согласованы с Министерством транспорта РФ, ГК РФ по охране окружающей среды, департаментом предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций Министерства РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации стихийных бедствий, Главным управлением ГАИ МВД РФ, Государственным НИИ автомобильного транспорта).
- Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ).
- ПБ 03–576–03. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 11.06.2003 г. № 91.
- РД 3112199–0199–96. Руководство по организации перевозки опасных грузов автомобильным транспортом.
- ППБ 01–03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации, утв. приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий от 18.06.2003 г. № 313.
- ПОТ Р М–027–2003. Межотраслевые правила по охране труда на автомобильном транспорте, утверждены постановлением Минсоцразвития РФ от 12.05.2003 г. № 28.
- Инструкция по охране труда для работников, занятых перевозкой, хранением и эксплуатацией баллонов со сжатым и сжиженным газом, утверждена приказом Минтруда России от 17.05.2004 г.
- Fine, W. T., Kinney, W. D. Mathematical evaluation for controlling hazards//Journal of Safety Research, 1971, 3(4).