

Опыт разработки обоснования безопасности опасных производственных объектов взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтегазоперерабатывающих производств



Л.В. Бланк,
ст. науч. сотрудник



И.С. Жуков,
науч. сотрудник,
ilzhukov@safety.ru



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



Е.В. Ханин,
зав. отделом

АНО «Агентство исследований промышленных рисков»,
Москва, Россия

ЗАО НТЦ ПБ, Москва, Россия

Рассмотрены нормативно-правовые и методические проблемы разработки обоснования безопасности опасных производственных объектов взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтегазоперерабатывающих производств. Показаны типичные ошибки, выявленные при экспертизе обоснования безопасности. Представлены предложения по совершенствованию разработки и экспертизы обоснования безопасности.

Ключевые слова: опасный производственный объект, взрывопожароопасность, требования промышленной безопасности, отступления, оценка риска, авария, компенсирующие мероприятия, обоснование безопасности, экспертиза.

DOI: 10.24000/0409-2961-2018-2-72-79

Введение

В последние пять лет произошли существенные изменения в нормативно-правовой и методической базе в области промышленной безопасности [1]. Основная цель изменений — устранение избыточных административных барьеров для бизнеса путем внедрения риск-ориентированного подхода в контрольно-надзорной деятельности Ростехнадзора, позволяющего оптимизировать методы и частоту проверок (проведения контрольно-надзорных мероприятий) с учетом опасности (степени риска) опасных производственных объектов (ОПО). За этот период актуализирован Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [2] и разработаны новые федеральные нормы и правила (ФНП) в области промышленной безопасности, содержащие положения по методологии анализа риска аварий [1].

Одно из наиболее важных изменений связано с введением новой процедуры — разработки обоснования

безопасности (ОБ) ОПО. Согласно п. 4 ст. 3 [2] в случае, если при проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции, капитальном ремонте, консервации или ликвидации ОПО требуется отступление от требований промышленной безопасности, установленных ФНП, таких требований недостаточно и (или) они отсутствуют, лицом, осуществляющим подготовку проектной документации на строительство, реконструкцию ОПО, могут быть установлены требования промышленной безопасности к его эксплуатации, капитальному ремонту, консервации и ликвидации в ОБ.

Разработка ОБ регламентируется основными документами: ФНП [3], руководством по безопасности (РБ) [4] и постановлением Правительства Российской Федерации от 28 апреля 2017 г. № 506 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».

В соответствии с п. 3 [3] ОБ ОПО является документом, содержащим: сведения о результатах оценки риска аварии на ОПО и связанной с ней угрозы,

условия безопасной эксплуатации ОПО и требования к эксплуатации, капитальному ремонту, консервации и ликвидации ОПО.

Исходя из опыта разработки ОБ можно составить перечень наиболее частых и проблемных отступлений от ФНП [5, 6], недостаточных требований [5, 7] или отсутствия требований промышленной безопасности [5–9] для химических, нефтехимических и нефтегазоперерабатывающих производств (табл. 1).

риска (КОР), так и качественного анализа риска, в том числе с использованием методов HAZID/HAZOP [11], широко применяемых для предупреждения аварий за рубежом.

Рекомендуемые в РБ (в том числе в основополагающем РБ [12]) методы количественной и качественной оценки риска аварий могут быть использованы при разработке ОБ для обоснования отступлений.

Таблица 1

Отступление от требований в области промышленной безопасности, их недостаточность или отсутствие	Нормативный документ
По сбросу горючих газов и паров в закрытые системы для их утилизации или системы организованного сжигания (для нестабильных сред, легких газов)	Пункт 3.23 ФНП [5]
В части возможности использования специальной системы аварийного освобождения для дренирования в нее остатков среды из некоторого оборудования (без остановки основного производства)	Пункт 3.21 [5]
В части отсутствия сепаратора на всасывающей линии компрессора	Пункт 4.1.8 [5]
В части отсутствия наружной паровой завесы или завесы из инертного газа вокруг печей закрытого огневого нагрева	Пункт 4.5.8.4 [5]
В части ведения электронного документооборота (сменные журналы, ремонтные журналы, наряды-допуски и др.)	Пункты 148, 194, 218, 338, 345 и др. ФНП [6]
В части возможности проведения испытаний оборудования и технологических трубопроводов рабочей средой	Пункты 396, 407 [6]
Недостаточность требований и критериев взрывоустойчивости зданий операторных, проблема обоснования которых изложена в [1]	Пункты 10.4, 3 приложения 3 [5]
К расположению и времени срабатывания запорных и (или) отсекающих устройств с учетом времени обнаружения утечки и гидроудара	Пункт 3.20.3 [5]
К факельным установкам (несоответствие рекомендациям Руководства по безопасности факельных систем)	Пункты 3.167, 3.183 ФНП [7]
В части установления сроков освидетельствования и диагностирования оборудования изотермических резервуаров (ИР)	ФНП [7], РД [8]
Отсутствие требований в части возможности применения фланцевых соединений с соединительным выступом при использовании спирально-навитых и металлических зубчатых прокладок и др.	ФНП [5], РБ [9]

Ключевыми моментами при разработке ОБ являются создание доказательной базы обоснованности отступлений и достаточность компенсирующих мер [10]. Согласно п. 15 [3] в качестве обоснования отступлений от действующих норм должна быть использована не только оценка риска, но и результаты исследований, расчетов, испытаний, моделирования аварийных ситуаций или анализа опыта эксплуатации подобных ОПО. Аналогичный подход должен применяться и для обоснования вновь установленных требований промышленной безопасности, которые отсутствуют в действующих нормативно-технических документах или которых недостаточно в этих документах.

В целях совершенствования методической базы риск-ориентированного подхода, в том числе для применения при разработке ОБ, создан комплекс методических документов — преимущественно РБ, полный перечень которых приведен на сайте <https://www.safety.ru/deklaraciya-promishlennoi-bezopasnosti>.

Руководства по безопасности содержат рекомендации по проведению как количественной оценки

Однако стоит обратить внимание на сложность в выборе оптимальных методов обоснования принимаемых отступлений. Любой метод имеет свои ограничения, и его эффективность во многом зависит от стадии жизненного цикла ОПО, наличия необходимой информации и задач анализа риска. На стадии проектирования ОПО для обоснования безопасного размещения объектов наиболее эффективен метод КОР; для оценки проблем безопасности, охраны труда и опасности для окружающей среды в процессе функционирования проектируемого ОПО применяется качественный метод HAZID; для обоснования принятых технологических решений эффективен качественный метод HAZOP; для стадии эксплуатации — методы контроля, которые имеют в основном качественный (метод «проверочного листа») или полуквантитативный характер, например, метод инспекции оборудования с учетом факторов риска (RBI — Risk Based Inspection) для определения периодичности обследования технических устройств [13–15]; при обосновании возможности применения новых конструкционных материалов и

современных технических устройств и технологий необходим анализ результатов их испытаний или опыта эксплуатации (при его наличии) в условиях, аналогичных условиям на рассматриваемом объекте.

Особенности использования результатов анализа риска в рамках разработки обоснования безопасности

Одна из главных проблем, возникающих при разработке ОБ, состоит в корректном выборе показателей риска, критериев безопасности и обоснованном применении результатов оценки риска для обоснования отступлений. Как показывает опыт экспертизы, наибольшее число ошибок при разработке совершается именно при разработке раздела 2 ОБ «Результаты оценки риска аварии на опасном производственном объекте и связанной с ней угрозы». Очень многие разработчики ОБ понимают наименование раздела буквально и начинают по всем имеющимся отступлениям (вновь установленным требованиям) выполнять оценку риска с применением КОР. При этом нередко в качестве основного критерия обоснованности отступления принимают лишь результаты расчетов показателей индивидуального и социального рисков гибели людей, которые могут быть очень низкими не вследствие низкой частоты аварийной ситуации, а из-за малой величины вероятности присутствия человека на составляющей ОПО, являющейся предметом отступлений (например, при обосновании отступлений по исключению пилотных горелок в технологических печах). После этого, получив значение индивидуального риска, например менее $1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹, разработчиками ОБ делается вывод об отсутствии необходимости компенсирующих мероприятий, т.е. обоснованности отступления. В то же время анализ опасности отклонения технологических параметров от регламентированных значений, оценка последствий, в том числе анализ данных по происшедшим авариям, могут указывать на повышенный риск аварии со значительным материальным и экологическим ущербом при незначительном риске травмирования людей.

Следует отметить ограниченность методов КОР для обоснования большинства отступлений, характерных для сложных производств, при котором, как правило, используют метод «дерева событий» с инициирующим событием — выбросом опасных веществ. Тем самым при расчетах не рассматриваются события, предшествующие выбросу, и, соответственно, отступления, связанные с предупреждением выбросов опасных веществ. Применение КОР эффективно для обоснования безопасных расстояний, размещения объектов, зданий и сооружений, в том числе для расчета размеров зон возможного поражения персонала (разрушения зданий и сооружений), а также уточнения положения и времени срабатывания запорной и отсечной арматуры [1].

В целом обоснование отступлений в зависимости от их специфики требует дифференцированного

подхода к применению методов анализа, в том числе сочетания качественных и количественных методов анализа. При обосновании проектных решений технологического характера предпочтение должно отдаваться анализу опасностей отклонения технологических параметров от регламентных значений согласно п. 9 [3], п. 2.4 [4] и приложению 8 [12], основанному на методологии анализа HAZOP [11]. В этом случае анализ должен быть всесторонним и охватывать все возможные отклонения параметров, которые связаны с рассматриваемым отступлением, в том числе нестандартные ситуации и ошибки персонала. Методы количественного анализа при этом могут использоваться для определения частоты реализации выявленных опасных ситуаций и оценки возможных последствий.

Использование метода анализа опасностей технологических процессов на основе HAZOP рассмотрим на примере обоснования отступления от требований п. 4.1.8 [5] в части отсутствия сепаратора на приемной линии компрессорной части компрессора-турбодетандера установки подготовки природного газа. В качестве обоснования данного отступления необходимо использовать результаты анализа HAZOP, проведенного на стадии разработки проекта с участием разработчиков ОБ. Для обоснования данного отступления, в соответствии с его спецификой, рабочей группой определяются исследуемый параметр и его отклонение — появление примесей (жидкой фазы в газовом потоке), анализируются причины возникновения данного отклонения параметра, возможные последствия и меры безопасности, предусмотренные проектом. На базе проведенного анализа делается вывод о достаточности предусмотренных мер, исключающих возможность попадания жидкой фазы с газовым потоком на прием компрессорной части компрессора-турбодетандера при отсутствии сепаратора на всасывающей линии. Предусмотренные проектом меры безопасности должны служить основой для выработки мероприятий, компенсирующих рассматриваемое отступление.

Примером комплексного применения различных методов может послужить обоснование вновь установленных требований промышленной безопасности в части возможности применения на ОПО резервуаров со сжиженными горючими газами (СГГ), вместимость которых превышает объемы, рекомендуемые в РБ [16]. Необходимость введения вновь установленных требований промышленной безопасности связана с тем, что [5], в отличие от [16], не накладывают конкретные ограничения на вместимость резервуаров СГГ, хранящихся под давлением. В соответствии с п. 4.7.7 [5] вместимость резервуаров (сосудов) СГГ должна определяться с учетом энергетических показателей взрывоопасности и конкретных условий, в том числе с учетом опасности возникновения поражающих факторов

при возможной аварии с разрушением резервуара и образованием «огненного шара». Однако в [5] не установлены конкретные критерии опасности аварий, связанных с разрушением резервуаров, в том числе с возможностью образования «огненного шара», которые должны использоваться при определении вместимости отдельного резервуара СГГ.

Опасность эксплуатации резервуаров СГГ повышенной вместимости в первую очередь состоит в том, что при их разгерметизации и реализации аварии с поражающими факторами (взрыв, пожар) принципиально возможно возникновение более масштабных зон поражения с эскалацией аварийной ситуации на смежные объекты ОПО и вовлечением в аварию большого количества опасных веществ. Соответственно в ОБ должно быть сформулировано требование к расположению резервуарного парка по отношению к зданиям и сооружениям ОПО. Для этих целей необходимо устанавливать допустимые значения вероятностных критериев (предельные значения частоты разрушения зданий и сооружений ОПО, индивидуального риска гибели людей, частоты эскалации аварии с резервуарного парка на смежные объекты (установки), частоты разрушения резервуаров при авариях на смежных объектах (установках), которые не должны быть превышены при определении безопасных расстояний от рассматриваемого резервуарного парка до зданий и сооружений ОПО. Конкретные значения вероятностных критериев (допустимого риска) определяются в ОБ на основе анализа зарубежного и отечественного опыта проведения КОР [17–19], в том числе разработки деклараций промышленной безопасности ОПО, специальных технических условий, ОБ ОПО, а также на базе критериев, установленных РБ [20], в требованиях пожарной безопасности [21, 22] и предупреждения чрезвычайных ситуаций [23, 24]. В целях подтверждения выполнения данного требования проводится КОР с учетом конкретных проектных решений по генплану и компоновке оборудования, результаты которой приводятся в ОБ.

Следует отметить, что применяемые при обосновании взрывоустойчивости зданий (операторных) расчеты, выполняемые по приложению 3 [5] и [20], основаны на опытно-экспериментальных критериях разрушения зданий по величине давления на фронте падающей ударной волны (УВ) без учета ее взаимодействия, отражения с преградой (зданием). Одной из частных проблем при обосновании взрывоустойчивости является отсутствие данных о величине предельного давления $P_{пр}$, на которое рассчитано рассматриваемое здание [20]. В этом случае для определения $P_{пр}$, а также для разработки конструктивных решений по подтверждению устойчивости конкретных зданий целесообразно проведение специальных расчетов взрывных нагрузок методами механической безопасности, в том числе с применением современных компьютерных кодов (например, ANSYS).

В качестве начальных (граничных) условий для таких расчетов (помимо конструктивных параметров здания) следует использовать результаты оценки риска взрыва при авариях (в том числе максимальное (пиковое) избыточное давление на фронте падающей УВ, размеры зон разрушения, распределение потенциального риска разрушения, кривые «частота — давление УВ»), полученные с использованием [5, 12, 20] или иных обоснованных методик. Представляется, что такой подход не противоречит приказу Минстроя России от 3 августа 2017 г. № 1105/пр [25] в части применения оценки риска при взрывных нагрузках (п. 5.12).

В целях выработки дополнительных требований промышленной безопасности, снижающих риск аварий на резервуарах повышенной вместимости, необходимо проводить анализ опасностей отклонения технологических параметров эксплуатации резервуаров СГГ в составе резервуарного парка от регламентных значений с использованием результатов сессии HAZOP, представленных в составе проектной документации. По результатам проведенного анализа, как правило, выявляется недостаточность мер безопасности, предусмотренных проектом, вырабатывается ряд рекомендаций по предотвращению основных опасностей, связанных с возможностью разрушения резервуаров повышенной вместимости и выбросом опасных веществ в атмосферу. На основе мер безопасности, предусмотренных проектом, и рекомендаций, выработанных по результатам качественного анализа, разрабатывается комплекс вновь установленных требований промышленной безопасности, позволяющий снизить риск аварий с разгерметизацией резервуаров СГГ и выбросом горючих сред в атмосферу. При этом, согласно требованиям п. 17 [3], в данный комплекс вновь установленных требований не включаются положения, уже содержащиеся в действующих нормативно-технических документах.

Таким образом, для обоснования вновь установленных требований по определению вместимости резервуаров СГГ должны быть использованы результаты зарубежного и отечественного опыта проектирования ОПО (в части установления допустимых вероятностных критериев риска), а также результаты качественного и количественного анализа риска.

При неэффективности применения КОР для обоснования ряда отступлений может применяться качественный (полуколичественный) метод оценки риска событий, связанных с отступлениями, с использованием критериев «матрицы риска» или матрицы «вероятность — тяжесть последствий» [12]. При применении данного метода, использующего экспертные оценки опасности, рекомендуется каждый вид отказа ранжировать по совокупности двух аспектов критичности: вероятности (или частоты) и тяжести последствий отказа, уровни которых опре-

деляют приоритетность мер безопасности. Матрица «вероятность — тяжесть последствий» представлена в табл. 2 [12].

площадке частота загазованности площадки печей может варьироваться от $5 \cdot 10^{-3}$ год⁻¹ до $7 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹. Соответственно, с учетом частоты отказа средств

Таблица 2

Частота возникновения событий, год ⁻¹		Тяжесть последствий событий			
		Катастрофическое событие	Критическое событие	Некритическое событие	Событие с пренебрежимо малыми последствиями
Частое событие	Больше 1	А	А	А	С
Вероятное событие	$1 \cdot 10^{-2}$ –1	А	А	В	С
Возможное событие	$1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-2}$	А	В	В	С
Редкое событие	$1 \cdot 10^{-6}$ – $1 \cdot 10^{-4}$	А	В	С	Д
Практически невероятное событие	Меньше $1 \cdot 10^{-6}$	В	С	С	Д

Особенность применения матрицы «вероятность — тяжесть последствий» для обоснования отступлений технологического характера состоит в том, что, несмотря на присутствие в ней качественных (экспертных) оценок, применять ее лучше совместно с методами количественной (полуколичественной) оценки риска. Например, для определения частоты возникновения события целесообразно использовать методы деревьев отказов, результаты КОР и др.

В частности, авторами статьи разработано несколько ОБ для различных ОПО с введением новых требований в области промышленной безопасности в части отсутствия необходимости организации паровой завесы или завесы в виде струйной подачи инертных газов для изоляции нагревателей (печей) с закрытым огневым нагревом в герметичном корпусе при авариях на наружных установках. Базовый комплекс вновь установленных требований (одинаковый для всех рассмотренных ОПО) разработан по результатам исследований HAZOP. При этом для обоснования достаточности вновь установленных требований применялся описанный выше метод анализа риска с использованием матрицы «вероятность — тяжесть последствий» в сочетании с количественным методом для определения частоты возникновения опасного события, связанного с попаданием топливно-воздушной смеси (ТВС) внутрь печи закрытого огневого нагрева. Консервативно принималось, что реализация приведенного опасного события принципиально возможна при совпадении как минимум двух условий: достижения облаком ТВС площадки печей и отказа средств противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ) по аварийному останову печи. Частота загазованности площадки печи определялась по результатам КОР, а частота отказа средств ПАЗ — по их паспортным данным.

Результаты применения метода КОР показали, что для различных ОПО с применением идентичной технологии и аппаратурного оформления установок подготовки природного газа в зависимости от решений по генплану на конкретной производственной

ПАЗ вероятность опасного события на различных ОПО менялась от «редкого события» до «практически невероятного события», а критичность опасного события — от уровня «В» (риск может быть приемлем при разработке дополнительных мер) до уровня «С» (приемлемый риск). Соответственно, для отдельных ОПО с уровнем риска «В» дополнительно к базовому комплексу требований разработаны меры безопасности, позволившие снизить уровень риска до приемлемого — категория «С».

Приведенный пример подтверждает актуальность рекомендаций, представленных в п. 25 [4], в соответствии с которыми не рекомендуется результаты обоснования отступлений, основанные исключительно на качественных оценках риска (с применением матрицы «вероятность — тяжесть последствий»), использовать для выводов об обоснованности рассматриваемых отступлений.

Применение данной матрицы с использованием исключительно качественных критериев и экспертных оценок при определении критичности опасного события допустимо для обоснования только тех отступлений от требований ФНП (их уточнения, введения новых требований), которые носят организационно-технический характер (например, отступление в части ведения электронного документооборота).

Применение методов численного моделирования

Помимо традиционных методов анализа риска при разработке ОБ при необходимости более точного (численного) моделирования аварийных ситуаций могут применяться специальные методы вычислительной гидродинамики или CFD-методы (<https://www.safety.ru/node/725>). В частности, для обоснования отступлений, связанных со сбросом горючих сред из предохранительных устройств через свечи в атмосферу (на высоте), а не в закрытые системы (требование п. 3.23 [5]), эффективно рекомендовали себя методы численного моделирования рассеивания выбросов горючих газов (паров) в атмосфере и оценки возможных зон поражения (при взрыве (пожаре) облака ТВС), в том числе с

применением зарубежных программных комплексов, использующих универсальную модель распространения выброса в атмосфере (UDM) и др., позволяющие наиболее полно и точно учитывать влияние различных факторов на рассеивание облака горючих газов (паров). При этом отмечается, что применение зарубежных моделей, методов расчета и компьютерных программ допускается при выполнении требований п. 10.5 [5], в том числе в части предоставления сведений о принятых моделях расчета, о верификации компьютерных программ и сравнении их с другими моделями и фактическими данными по расследованию аварий, предоставлении данных о практическом использовании методик и компьютерных программ для других аналогичных объектов. По результатам численного моделирования, в зависимости от полученных зон возможного поражения (при взрыве (пожаре) облака ТВС), могут быть разработаны компенсирующие мероприятия, в том числе в части установки требований к допустимой высоте сброса, исключению источников воспламенения в зоне возможной загазованности, защите персонала (при необходимости) и др. Одновременно должен быть проведен анализ отклонения технологических параметров от регламентных значений для идентификации причин возможного повышения давления в системе до давления срабатывания предохранительных устройств с выбросом горючих сред в атмосферу и анализ предусмотренных мер безопасности, на базе которых могут быть приняты компенсирующие мероприятия в части предупреждения срабатывания предохранительных устройств.

Анализ результатов испытаний и опыта эксплуатации аналогичных объектов

Некоторые отступления или вновь установленные требования связаны с применением современных проектных технологических, организационно-технических, конструктивных решений, специфика которых часто не учтена в нормативных и нормативно-методических документах. В первую очередь это обусловлено тем, что темпы научно-технического развития промышленности, как правило, значительно опережают темпы создания соответствующей нормативно-методической базы (например, использование электронного документооборота или мониторинг состояния ИР). В частности, при обосновании возможности эксплуатации ИР сжиженного природного газа (СПГ) без их остановки и освобождения от продукта (для проведения внутреннего обследования) в течение всего назначенного срока службы проанализирован международный опыт эксплуатации ИР хранения СПГ (с 1939 г.) с уточнением сроков их непрерывной безаварийной эксплуатации (без внутренней инспекции), а также рассмотрены отчеты по результатам исследования состояния конструкций

нескольких резервуаров в целях оценки их целостности после многолетней эксплуатации. Результаты проведенного анализа позволили обосновать возможность эксплуатации резервуаров СПГ без вывода из эксплуатации в течение всего назначенного срока службы при условии наличия соответствующих рекомендаций предприятия-изготовителя резервуаров СПГ. Также проанализированы причины возникновения аварий на резервуарах СПГ с выбросом горючих сред в атмосферу, на базе которых были разработаны соответствующие компенсирующие мероприятия по предотвращению подобных аварий.

Заключение

Разработка полноценного ОБ для ОПО взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтегазоперерабатывающих производств и мероприятий, компенсирующих отступления от требований промышленной безопасности, невозможна без корректного применения методов анализа риска, адекватных рассматриваемым отступлениям.

Основными условиями эффективного применения процедуры разработки ОБ являются опыт и квалификация разработчиков ОБ, знание современных методов анализа риска и технологических особенностей эксплуатации ОПО, наличие достоверных данных об опыте безопасной эксплуатации аналогичных объектов, проработанность соответствующей нормативной базы, в том числе зарубежной.

Список литературы

1. Жулина С.А., Лисанов М.В., Козельский В.В. Изменения в Общих правилах взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств// Безопасность труда в промышленности. — 2016. — № 10. — С. 48–53.
2. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ. — 20-е изд., испр. и доп. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. — 52 с.
3. Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. — Сер. 03. — Вып. 73. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. — 16 с.
4. Методические рекомендации по разработке обоснования безопасности опасных производственных объектов нефтегазового комплекса: рук. по безопасности. — Сер. 27. — Вып. 14. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. — 52 с.
5. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. — Сер. 09. — Вып. 37. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. — 132 с.
6. Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. — Сер. 20. — Вып. 16. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. — 254 с.

7. *Правила безопасности нефтегазоперерабатывающих производств: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности.* — Сер. 09. — Вып. 44. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. — 76 с.
8. *РД 03-410—01.* Инструкция по проведению комплексного технического освидетельствования изотермических резервуаров сжиженных газов. — 2-е изд., испр. — Сер. 03. — Вып. 08. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2015. — 112 с.
9. *Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов:* рук. по безопасности. — Сер. 03. — Вып. 67. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. — 194 с.
10. *Печеркин А.С.* Аспекты применения обоснования безопасности опасного производственного объекта// *Безопасность труда в промышленности.* — 2012. — № 3. — С. 58–63.
11. *Нормативно-методическое обеспечение и опыт проведения анализа опасностей технологических процессов методами HAZID/HAZOP/ В.В. Симакин, М.В. Лисанов, Е.В. Ханин, Л.В. Бланк//* *Безопасность труда в промышленности.* — 2017. — № 6. — С. 64–72.
12. *Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах:* рук. по безопасности. — Сер. 27. — Вып. 16. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. — 56 с.
13. *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: www.hse.gov.uk/research/crr_pdf/2001/crr01363.pdf (дата обращения: 17.08.2015).
14. *Зарубежный опыт использования риск-ориентированного подхода при эксплуатации технических устройств на нефтегазовых объектах/ Х. Суarez, М. Финкельштейн, М.В. Лисанов, И.А. Кручинина//* *Безопасность труда в промышленности.* — 2015. — № 8. — С. 24–30.
15. *Практика внедрения контроля технического состояния статического оборудования с учетом факторов риска на предприятиях группы «ЛУКОЙЛ»/ А.Ю. Иванов, О.Б. Микерин, Е.И. Копалиди и др.//* *Безопасность труда в промышленности.* — 2016. — № 8. — С. 62–68.
16. *Руководство по безопасности для складов сжиженных углеводородных газов и легковоспламеняющихся жидкостей под давлением:* рук. по безопасности. — Сер. 09. — Вып. 34. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2013. — 56 с.
17. *Marhaviyas P.K., Koulouriotis D., Gemeni V.* Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009// *Journal of Loss Prevention in the Process Industries.* — 2011. — № 24. — P. 477–523. URL: <http://risktr.com/dokumanlar/risk%20analysis%20and%20assessment%20methodologies%20in%20th%20work%20sites.pdf> (дата обращения: 12.12.2017).
18. *Taylor J.R.* Automated HAZOP revisited// *Journal of Loss Prevention in the Process Industries.* — 2017. — Vol. 111. — October. — P. 635–651. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582017302379> (дата обращения: 12.12.2017).
19. *Multi-level explosion risk analysis (MLERA) for accidental gas explosion events in super-large FLNG facilities/ Yimiao, Huang, Guowei Ma, Jingde Li//* *Journal of Loss Prevention in the Process Industries.* — 2017. — Vol. 45. — January. — P. 242–254. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423016303540> (дата обращения: 12.12.2017).
20. *Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах:* рук. по безопасности. — Сер. 27. — Вып. 17. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. — 56 с.
21. *Технический регламент о требованиях пожарной безопасности:* федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. — 5-е изд., испр. — Сер. 19. — Вып. 1. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. — 198 с.
22. *Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах:* приказ МЧС России от 10 июля 2010 г. № 404. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902253161> (дата обращения: 12.12.2017).
23. *ГОСТ Р 22.2.02—2015.* Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Оценка риска чрезвычайной ситуации при разработке проектной документации объектов капитального строительства. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200124969> (дата обращения: 12.12.2017).
24. *ГОСТ Р 22.10.02—2016.* Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайных ситуаций. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200136698> (дата обращения: 12.12.2017).
25. *Об утверждении свода правил «Здания и сооружения. Особые воздействия»:* приказ Минстроя России от 03.08.2017 № 1105/пр. URL: <http://docs.cntd.ru/document/555601231> (дата обращения: 12.12.2017).

ilzhukov@safety.ru

Материал поступил в редакцию 26 декабря 2017 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2018, № 2, pp. 72–79.
DOI: 10.24000/0409-2961-2018-2-72-79

Experience in the Development of Safety Case of Hazardous Production Facilities for Explosion and Fire Hazardous Chemical, Petrochemical, Oil and Gas Processing Plants

Information about the Author

L.V. Blank, Senior Research Assistant
I.S. Zhukov, Research Associate, ilzhukov@safety.ru
ANO «Industrial Risk Research Agency», Moscow, Russia
M.V. Lisanov, Dr. Sci. (Eng.), the Director of Risk Analysis Center
E.V. Khanin, Department Head
STC «Industrial Safety» CJSC, Moscow, Russia

Abstract

Based on the lessons learned in the development and expertise of safety case, the analysis was performed related to regulatory-legal and methodological problems of the development of safety case of hazardous production facilities for explosion and fire hazardous chemical, petrochemical, oil and gas processing plants.

Basic typical deviations from the current requirements in the field of industrial safety, as well as missing (new) requirements aimed, as a rule, at specifying or clarifying the existing ones were defined.

Typical mistakes were considered, which had been made by safety case developers when selecting the methods for justifying the possibility of deviations from the industrial safety requirements and evaluating the effectiveness of the adopted compensatory measures. The ways were described concerning the application of different methods of quantitative and qualitative risk analysis (HAZID/HAZOP, matrix «probability — severity of consequences»), as

well as their combinations for justifying the possibility of deviation from the requirements in the field of industrial safety depending on the types of deviations.

The application of computational modeling methods of the dispersion of combustible gas (vapor) emissions in the atmosphere and the assessment of possible exposure zones (in case of explosion (fire) of the fuel-air mixture cloud), including application of foreign software complexes using the methods of Computational Fluid Dynamics (CFD), the Unified Dispersion Model (UDM), etc., allowing for the most complete and accurate consideration of influence of various factors on the dispersion of combustible gases (vapor) cloud.

Proposals are given related to the improvement of the regulatory-legal and the procedural framework defining the procedure for safety case development and expertise.

Key words: hazardous production facility, explosion and fire hazard, industrial safety requirements, deviations, risk assessment, accident, compensatory measures, safety case, expertise.

References

- Zhulina S.A., Lisanov M.V., Kozelskiy V.V. Changes in General rules of explosion safety for explosion and fire hazardous chemical, petrochemical and oil processing plants. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2016. № 10. pp. 48–53.
- O promyshlennoy bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh obektov: feder. zakon ot 21 iyulya 1997 g. № 116-FZ (On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities: Federal Law of July 21, 1997 № 116-FZ). 20-e izd., ispr. i dop. Moscow: ZAO NTTs PB, 2017. 52 p.
- Obshchie trebovaniya k obosnovaniyu bezopasnosti opasnogo proizvodstvennogo objekta: feder. normy i pravila v obl. prom. bezopasnosti (General Requirements to Safety Case of Hazardous Production Facility: Federal Norms and Rules in the Field of Industrial Safety). Ser. 03. Iss. 73. Moscow: ZAO NTTs PB, 2017. 16 p.
- Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke obosnovaniya bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh obektov neftegazovogo kompleksa: ruk. po bezopasnosti (Methodological Recommendations on the Development of Safety Case of Hazardous Production Facilities of Oil and Gas Complex: Safety Guide). Ser. 27. Iss. 14. Moscow: ZAO NTTs PB, 2016. 52 p.
- Obshchie pravila vzyvobezopasnosti dlya vzyvopozharoopasnykh khimicheskikh, neftekhimicheskikh i neftepererabatyvayushchikh proizvodstv: feder. normy i pravila v obl. prom. bezopasnosti (General Rules of Explosion Safety for Explosion and Fire Hazardous Chemical, Petrochemical and Oil Processing Plants: Federal Norms and Rules in the Field of Industrial Safety). Ser. 09. Iss. 37. Moscow: ZAO NTTs PB, 2017. 132 p.
- Pravila promyshlennoy bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh obektov, na kotorykh ispolzuyetsya oborudovanie, rabotayushchee pod izbytochnym davleniem: feder. normy i pravila v obl. prom. bezopasnosti (Industrial Safety Rules of Hazardous Production Facilities where the Equipment Operating under Excessive Pressure is Used: Federal Norms and Rules in the Field of Industrial Safety). Ser. 20. Iss. 16. Moscow: ZAO NTTs PB, 2017. 254 p.
- Pravila bezopasnosti neftegazopererabatyvayushchikh proizvodstv: feder. normy i pravila v obl. prom. bezopasnosti (Safety Rules of Oil and Gas Processing Plants: Federal Norms and Rules in the Field of Industrial Safety). Ser. 09. Iss. 44. Moscow: ZAO NTTs PB, 2017. 76 p.
- RD 03-410-01. Instruksiya po provedeniyu kompleksnogo tekhnicheskogo osvidetelstvovaniya izotermicheskikh rezervuarov szhizhennykh gazov (RD 03-410-01. Instructions for Carrying out Comprehensive Technical Inspection of Liquefied Gases Isothermal Tanks). 2-e izd., ispr. Ser. 03. Iss. 08. Moscow: ZAO NTTs PB, 2015. 112 p.
- Rekomendatsii po ustroystvu i bezopasnoy ekspluatatsii tekhnicheskikh truboprovodov: ruk. po bezopasnosti (Recommendations for Design and Safe Operation of Process Pipelines: Safety Guide). Ser. 03. Iss. 67. Moscow: ZAO NTTs PB, 2017. 194 p.
- Pecherkin A.S. Aspects of safety case application for hazardous production facility. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2012. № 3. pp. 58–63.
- Simakin V.V., Lisanov M.V., Khanin E.V., Blank L.V. Regulatory-procedural support and experience in conducting hazards analysis of the technological processes using HAZID/HAZOP methods. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2017. № 6. pp. 64–72.
- Metodicheskie osnovy po provedeniyu analiza opasnostey i otsenki riska avari na opasnykh proizvodstvennykh obektakh: ruk. po bezopasnosti (Methodological Basis for Conducting Hazards Analysis and Risk Assessment of Accidents at Hazardous Production Facilities: Safety Guide). Ser. 27. Iss. 16. Moscow: ZAO NTTs PB, 2016. 56 p.
- 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. Available at: www.hse.gov.uk/researchH/crr_pdf/2001/crr01363.pdf (accessed: August 17, 2015).
- Suarez Kh., Finkelshteyn M., Lisanov M.V., Kruchinina I.A. Foreign experience of using risk-oriented approach in operation of technical devices at oil and gas facilities. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2015. № 8. pp. 24–30.
- Ivanov A.Yu., Mikerin O.B., Kopalidi E.I., Elmanovich V.I., Kharebov V.G. Practice of implementing control of static equipment technical condition taking into account risk factors at the enterprises of LUKOIL Group. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2016. № 8. pp. 62–68.
- Rukovodstvo po bezopasnosti dlya skladov szhizhennykh uglevodorodnykh gazov i legkovosplamyayushchikhsya zhidkostey pod davleniem: ruk. po bezopasnosti (Safety Guide for Warehouses of the Liquefied Petroleum Gases and Flammable Liquids under Pressure: Safety Guide). Ser. 09. Iss. 34. Moscow: ZAO NTTs PB, 2013. 56 p.
- Marhavilas P.K., Koulouriotis D., Gemeni V. Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2011. № 24. pp. 477–523. Available at: <http://risktr.com/dokumanlar/risk%20analysis%20and%20assessment%20methodologies%20in%20th%20work%20sites.pdf> (accessed: December 12, 2017).
- Taylor J.R. Automated HAZOP revisited. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2017. Vol. 111. October. pp. 635–651. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582017302379> (accessed: December 12, 2017).
- Yimiao, Huang, Guowei Ma, Jingde Li. Multi-level explosion risk analysis (MLERA) for accidental gas explosion events in super-large FLNG facilities. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2017. Vol. 45. January. pp. 242–254. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423016303540> (accessed: December 12, 2017).
- Metody obosnovaniya vzyvoustoychivosti zdaniy i sooruzheniy pri vzyrvakh toplivno-vozdushnykh smesey na opasnykh proizvodstvennykh obektakh: ruk. po bezopasnosti (Methods of Substantiation of Explosion Resistance of Buildings and Structures During Explosions of Fuel and Air Mixtures at Hazardous Production Facilities: Safety Guide). Ser. 27. Iss. 17. Moscow: ZAO NTTs PB, 2017. 56 p.
- Tekhnicheskyy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti: feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ (Technical Regulations on Fire Safety Requirements: Federal Law of July 22, 2008 № 123-FZ). 5-e izd., ispr. Ser. 19. Iss. 1. Moscow: ZAO NTTs PB, 2017. 198 p.
- Metodika opredeleniya raschetnykh velichin pozharного riska na proizvodstvennykh obektakh: prikaz MChS Rossii ot 10 iyulya 2010 g. № 404 (Methods for determining the calculated values of fire risk at production facilities: Order of EMERCOM of Russia of July 10, 2010 № 404). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902253161> (accessed: December 12, 2017).
- GOST R 22.2.02–2015. Natsionalnyy standart Rossiyskoy Federatsii. Bezopasnost v chrezvychaynykh situatsiyakh. Menedzhment riska chrezvychaynoy situatsii. Otsenka riska chrezvychaynoy situatsii pri razrabotke proektnoy dokumentatsii obektov kapitalnogo stroitelstva (GOST R 22.2.02–2015. National standard of the Russian Federation. Safety in emergency situations. Emergency risk management. Risk assessment of emergency situations at the development of design documentation for the objects of capital construction). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200124969> (accessed: December 12, 2017).
- GOST R 22.10.02–2016. Natsionalnyy standart Rossiyskoy Federatsii. Bezopasnost v chrezvychaynykh situatsiyakh. Menedzhment riska chrezvychaynoy situatsii. Dopustimyy risk chrezvychaynykh situatsiy (GOST R 22.10.02–2016. National standard of the Russian Federation. Safety in emergency situations. Emergency situation risk management. Emergency situations tolerable risk). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200136698> (accessed: December 12, 2017).
- Ob utverzhdenii svoda pravil «Zdaniya i sooruzheniya. Osobyе vozdeystviya»: prikaz Ministroya Rossii ot 03.08.2017 № 1105/pr. (On the approval of the set of rules «Buildings and structures. Specific effects»: Order of Ministry of Russia dated August 3, 2017 № 1105/pr.). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/555601231> (accessed: December 12, 2017).

