

Способы количественной оценки неопределенности параметров техногенного риска



Е.Ю. Колесников,
канд. физ.-мат. наук, доцент

Поволжский
государственный
технологический университет

Показана принципиальная важность развития методов количественного оценивания неопределенности, сопровождающей любые численные оценки при применении методологии анализа техногенного риска. На примере автомобильной газозаправочной станции, с учетом ряда упрощающих предположений, выполнена количественная оценка вероятности исходов гипотетической аварии — полной квазимгновенной разгерметизации сосуда со сжиженным углеводородным газом. Оценены средние значения вероятности сценариев и неопределенность полученных результатов.

The Article shows fundamental importance of the development of methods for quantitative assessment of uncertainty accompanying any numerical assessments when using methodology of technogenic risk analysis. By the example of automobile gas-filling station considering some simplifying assumptions, the quantitative assessment was performed concerning the probabilities of hypothetical accident outcome — complete quasiinstantaneous depressurization of the vessel with liquefied petroleum gas. Average values of the scenarios probabilities and uncertainty of the obtained results are assessed.

Ключевые слова: промышленная безопасность, опасный производственный объект, техногенный риск, вероятностный компонент риска, неопределенность, количественное оценивание неопределенности.

Управление промышленной безопасностью и анализ техногенного (аварийного) риска неразрывно связаны [1]. Составляющие техногенного риска (индивидуальный, социальный, коллективный риски) выступают в качестве метрики, используемой, с одной стороны, теоретически для нормирования промышленной безопасности, с другой — в качестве целевого ориентира при обосновании управленческих решений по повышению безопасности. Количественная оценка риска (КОР) — не только обязательный, но и один из важнейших разделов деклараций промышленной безопасности [2] и планов локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС) на химико-технологических объектах [3].

Анализ техногенного риска (АТР) — вид экспертной деятельности, заключающийся в присвоении численных значений ряду параметров, характеризующих опасность нанесения ущерба со стороны той или иной технической системы или процесса людям, окружающей среде, материальным и нематериальным ценностям. При выполнении АТР пользуются всей совокупностью доступной информации: о свойствах изучаемой технической системы; о моделях развития во времени и пространстве физических процессов, сопровождающих штатное (аварийное) высвобождение опасных веществ и (или) энергии; о расположении в момент аварии относительно технической системы потенциальных объектов поражения.

Необходимые количественные оценки риск-аналитик делает либо используя справочные данные,

либо выполняя расчеты по моделям, либо экспертно, опираясь на собственную интуицию или формальные рассуждения. В любом случае получаемые численные оценки параметров задачи только кажутся точными, а на самом деле они — лишь метка (маркер) интервала, в котором в действительности находится истинное значение величины. Подобный интервал в современной метрологии принято оценивать неопределенностью. Неопределенность полученной в результате АТР оценки техногенного риска достаточно информативно характеризует значимость выполненной работы. А если результат получен с чрезмерно большой неопределенностью, то и практическая ценность выполненной работы весьма мала.

Таким образом, совершенно естественно, что как международные, так и отечественные руководства по оценке риска содержат требование количественной оценки неопределенности (КОН). Из отечественных документов можно процитировать, например, РД 03-418—01 [4]:

«4.4.4. Обобщенная оценка риска (или степень риска) аварий должна... основываться на результатах... анализа неопределенности и точности полученных результатов... <...> Как правило, основными источниками неопределенностей являются неполнота информации по надежности оборудования и человеческим ошибкам, принимаемые предположения и допущения используемых моделей аварийного процесса. Чтобы правильно интерпретировать результаты оценки риска, необходимо понимать

характер неопределенностей и их причины. Источники неопределенности следует идентифицировать (например, «человеческий фактор»), оценить и представить в результатах».

Аналогичное требование содержат стандарты серии ГОСТ Р 51901. Однако практических рекомендаций о способах КОИ техногенного риска в отечественных руководствах, к сожалению, нет.

Природа и источники неопределенности техногенного риска

Приходится с сожалением констатировать, что, несмотря на многолетнюю историю использования понятия «риск», в частности в сфере техногенной (промышленной, пожарной) безопасности, каноническое его толкование, пригодное для КОИ и устраивающее абсолютное большинство специалистов, до сих пор отсутствует. Можно привести только достаточно общее определение, объединяющее мнения большинства: риск — это сочетание вероятности события и его последствий [5]. Это определение можно несколько переформатировать следующим образом: техногенный риск — это векторная величина, имеющая два компонента: вероятностный компонент риска (ВКР) и компонент риска, связанный с ущербом (от аварии).

Рассматривая понятие «неопределенность», следует четко разграничивать два его аспекта: качественный и количественный. Первый характеризует полноту и адекватность знаний, достигнутых наукой об изучаемом объекте или явлении. В этом смысле понятие «неопределенность» широко используется гуманитарными, в частности экономическими, науками.

Что же касается АТР, то здесь с самых первых работ стремились к количественному выражению неопределенности получаемых результатов. В этой связи уместно сослаться на отчет о безопасности коммерческих ядерных реакторов WASH-1400, подготовленный в 1975 г. научным коллективом под руководством проф. Н. Расмуссена [6]. Таким образом, неопределенность в АТР выступает в качестве меры разброса (рассеивания) результата, т.е. примерно, как в теории измерений. Говоря о природе неопределенности, следует указать на два ее принципиально различных типа. Первый связан с объективной изменчивостью (вариабельностью) свойств системы «технический объект (в частности, опасный производственный объект) — окружающая его среда». Под окружающей средой понимаются метеорологические условия, свойства подстилающей поверхности, расположение на местности объектов поражения (люди, флора и фауна, подвижные материальные объекты) и др. Второй обусловлен субъективным фактором — недостаточностью (неполнотой, неточностью, неоднозначностью) имеющихся знаний о свойствах изучаемой системы, которая не позволяет точно описать и спрогнозировать негативные эффекты, возникающие в ней

вследствие промышленной аварии. Первый тип принято называть стохастической (aleatory) неопределенностью. По-видимому, этот термин впервые был использован в одном из отчетов МАГАТЭ серии «Безопасность», а именно в отчете [7]. Вторым, связанным с состоянием знания, называют эпистемическую (epistemic), т.е. связанную с процессом познания, неопределенностью [7]. При этом ряд авторов настаивает, что границы между этими двумя типами неопределенности несколько условны — в ряде случаев трактовка результатов наблюдений зависит от их толкования, т.е. присутствует элемент неоднозначности как разновидности эпистемической неопределенности.

Вопрос о классификации источников неопределенности, возникающих в процессе КОИ, широко освещается в англоязычной литературе. Например, можно сослаться на руководство [8], разработанное Нидерландской организацией прикладных научных исследований и сертификации (TNO), в котором выделены три группы источников неопределенности, сопряженной с результатами количественной оценки аварийного риска: постановка задачи (starting point); используемая модель, т.е. модельная неопределенность; значения входных параметров модели, т.е. параметрическая неопределенность. Под постановкой задачи понимается выбор одного из двух принципиально различных подходов: консервативного, рассматривающего наиболее опасную из возможных реализаций аварии, и реалистичного, учитывающего конкретные обстоятельства аварии. Понятно, что в рамках консервативного подхода неопределенность результатов КОИ оказывается существенно меньшей, поскольку снижена ее объективная (стохастическая) составляющая. Это связано с тем, что при консервативном подходе устраняется изменчивость различных аспектов аварийной ситуации, например: количества опасного вещества, участвующего в аварии; метеоусловий; количества людей в области поражения и др. Они рассматриваются по «наихудшему» случаю. Консервативный подход традиционно используется при нормировании различных аспектов безопасности (экологический, гигиенический и др.)

Реалистичный подход может быть применен либо постфактум, когда авария уже произошла и ее обстоятельства известны, либо на проектной стадии, прогностически, но тогда при КОИ необходим расчет всех возможных сценариев, заключающихся в комбинациях существенных факторов, влияющих на исход аварии. Подобный подход реализован, в частности, группой проф. Н. Расмуссена при подготовке отчета [6]. Было рассчитано рассеивание радиоактивного облака по 14 400 сценариям, предполагающим различные метеоусловия, типы подстилающей поверхности и т.д. Очевидно, что при таких вычислениях необходимо учитывать стати-

стический вес (вероятность реализации) каждого такого сценария.

Анализ освещения в литературе вопроса о происхождении модельной неопределенности показывает, что в целом различные версии классификации ее источников совпадают. Так, согласно [8], модельная неопределенность при КОР может возникать вследствие: неучета (игнорирования) в модели некоторых факторов (неполнота); использования модели вне границ области ее применимости; упрощений, принятых в модели (например, линеаризация зависимостей); игнорирования того факта, что некоторые модельные параметры могут меняться; ошибок, связанных с расчетами. Модельная неопределенность настолько тесно связана с параметрической, что не всегда можно провести четкую границу между ними. Всякая модель, реализованная в виде системы математических уравнений, с неизбежностью включает набор количественных параметров, характеризующих различные свойства моделируемого объекта и окружающей его среды. Значения этих «входных» параметров модели, как по объективным, так и субъективным причинам, обладают неопределенностью. Объективный фактор (стохастическая неопределенность) в данном случае связан с изменчивостью свойств моделируемого объекта (либо со временем, либо с учетом его индивидуальных отличий в серии однотипных объектов). Субъективный вклад в неопределенность величины (эпистемическая неопределенность) возникает из-за недостатка или неточности информации, используемой при присвоении параметру модели численного значения. В самом общем случае значения параметров модели могут быть приняты по результатам собственных экспериментов, чужим экспериментальным данным, литературным (в частности, справочным) данным, результатам обработки экспертных суждений.

Возвращаясь к проблематике промышленной безопасности в России, следует подчеркнуть, что оценка аварийного риска может осуществляться с использованием только нормативных методик (моделей). И хотя результаты КОР (индивидуального или социального) трактуются как абсолютные, которые надлежит сравнивать с соответствующими пороговыми значениями, они все же скорее относительные, поскольку получены на унифицированной методической базе. В этой связи проблема модельной неопределенности при количественной оценке аварийного риска отступает на второй план, первоочередное значение приобретают вопросы количественной оценки параметрической неопределенности.

Частный случай аварии — утечка сжиженного углеводородного газа на автомобильной газозаправочной станции

Исследуем возможные последствия аварии на относительно простом примере. Как известно, объекты хранения такого опасного вещества, как сжиженный углеводородный газ (СУГ), относятся

к категории опасных производственных объектов (ОПО), для которых необходима разработка ПЛАС. Рассмотрим типичную автомобильную газозаправочную станцию (АГЗС) в Йошкар-Оле, располагающую единственным наземным резервуаром и двумя заправочными колонками. Резервуар, смонтированный на шасси автомобильного прицепа, находится под навесом (рис. 1). СУГ — смесь пропан-бутановая техническая.



▲ Рис. 1. Резервуар с СУГ на АГЗС

Территория АГЗС имеет твердое асфальтобетонное покрытие, ограждена металлическим забором, оборудована освещением. Мерами вертикальной планировки предусмотрен сбор поверхностного тока в заглубленный резервуар-приямок.

Техническая характеристика оборудования

Объем сосуда (резервуара), м ³	21,3
Максимальная масса СУГ, содержащегося в сосуде, т	10,14
Резинотканевый трубопровод для СУГ (слив, налив, паровая фаза):	
Исполнение	Надземное
Диаметр, мм	38
Длина, м	7,5
Давление, МПа:	
рабочее	1,6
испытания	2,3
Трубопровод паровой фазы:	
Диаметр, мм	32
Длина, м	1,4
Стальной трубопровод для подачи СУГ к колонкам:	
Диаметр, мм	25
Длина, м	2; 3
Насосный агрегат НСВГ:	
Тип насоса	Вихревой пятиступенчатый
Максимальная подача, л/мин	85
Колонка заправочная	УИЖГЭ-20-02; УЗСГ-1
Расход фазы, л/мин:	
жидкой в магистралях	
слива-налива (максимальный)	20–40 (90)
паровой в паровом трубопроводе	10–40
жидкой в трубопроводах к колонкам	12–18

Для обеспечения безопасности предусмотрены: два предохранительных клапана на резервуаре (диаметр 32 мм, давление 1,8 МПа); скоростной клапан на патрубке слива резервуара (диаметр 50 мм, давление 2,5 МПа); обратный клапан на патрубке налива резервуара (диаметр 50 мм, давление 2,5 МПа); бетонное обвалование (размер в плане 4,6×11,8 м, высота бортика по периметру резервуара в целях удержания вытекшего СУГ 15 см); взрывобезопасное исполнение всех светильников; датчик дозврывных концентраций горючих газов, смонтированный в нижней части основания насосного агрегата (при срабатывании сигнализатора автоматически блокируется работа насосного агрегата и раздается сигнал громкого боя); защита от молнии (выполняется двумя одиночными стержневыми молниеприемниками высотой 11 м и металлическим глухозаземленным навесом; электрическое сопротивление заземляющего контура ежегодно проверяется и соответствует норме).

В целях обеспечения электростатической безопасности имеются: устройство заземляющее для автоцистерн; оплетка медной проволокой с шагом 100 мм по наружной поверхности сливноналивных рукавов; медная жила внутри заправочных шлангов (площадь сечения 4 мм²).

Ближайшие к АГЗС объекты: жилой массив (100 м к югу) и автомобильная дорога (25 м в северо-восточном направлении).

Согласно приложению 2 к федеральному закону [1] разработка декларации промышленной безопасности для АГЗС не требуется, однако ПЛАС, согласованный с Ростехнадзором, должен быть. При разработке ПЛАС необходимо рассмотреть все возможные сценарии развития аварийной ситуации, выполнить оценку вероятности их реализации [3]. В настоящее время существует немало способов КОР. Документ [3] рекомендует использовать для этих целей классические методы построения деревьев отказов и деревьев событий, примеры которых приведены в приложениях 7 и 8. При этом вызывает удивление тот факт, что дерево отказов в приложении 7 [3] не содержит логических знаков «И» и «ИЛИ», без чего трактовка дендрограммы становится неоднозначной.

Аварийные ситуации с выбросом СУГ на АГЗС могут быть вызваны полной или частичной разгерметизацией резервуара, резиноканевых рукавов слива-налива или паровой фазы, насосного агрегата, заправочной колонки и баллона заправляемого автомобиля. Рассмотрим сценарии, связанные с выбросом пропан-бутановой смеси в окружающую среду.

Вообще говоря, разгерметизация резервуара АГЗС (сосуда, работающего под давлением) может быть разной — от образования отверстий с различной площадью сечения до полного (квазигнотвенного) разрушения. Нормативная методика МЧС

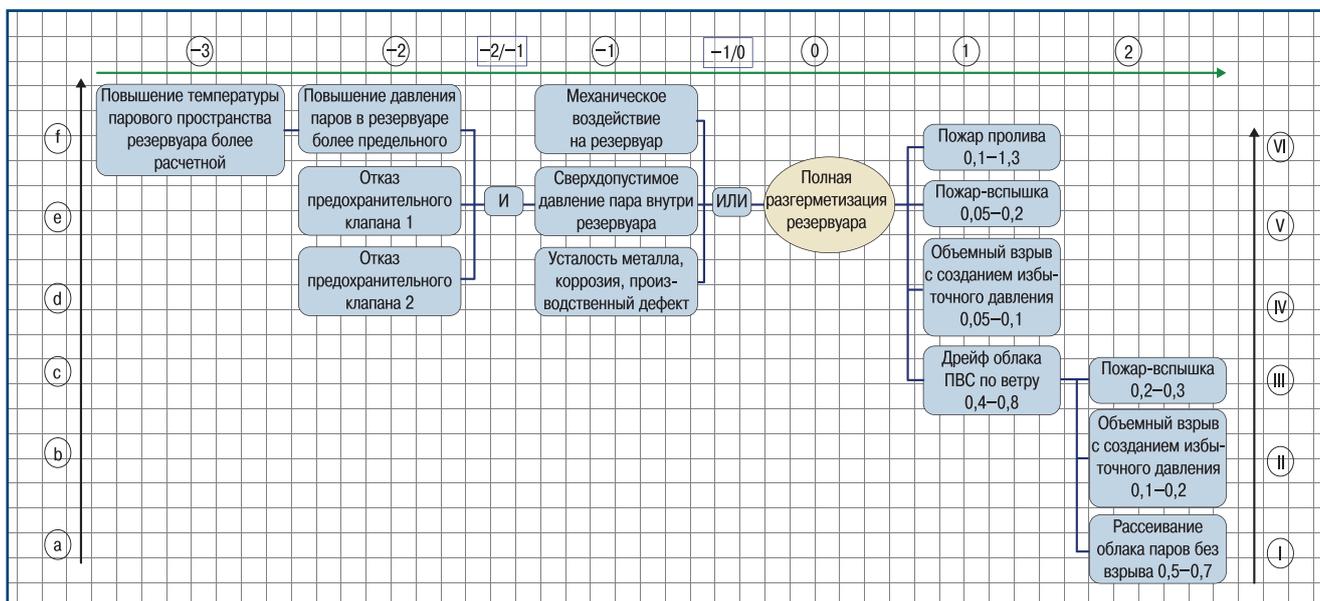
России [9] отличает частичную разгерметизацию сосуда с образованием отверстий диаметром 5; 12,5; 25; 50 и 100 мм и полное его разрушение. Для каждого сценария (образование течи указанного диаметра) в методике [9] предлагается точечное значение вероятности. К сожалению, какая-либо информация, позволяющая хотя бы грубо оценить неопределенность приводимых значений, отсутствует. Странно, что никак не учитывается продолжительность эксплуатации резервуара в течение года, поскольку очевидно, что этот фактор прямо влияет на частоту (вероятность) его разгерметизации.

Ясно, что последствия аварии самым непосредственным образом зависят от размера отверстия и места его дислокации на теле сосуда, так как эти обстоятельства будут определять фазовое состояние (капельное или пары), направление по отношению к оси сосуда, массовую скорость струи выброса СУГ в окружающее пространство.

При разработке ПЛАС необходимо рассмотреть все возможные сценарии, которые могут быть объединены в группы. В рамках данной статьи сделать это в полном объеме, разумеется, невозможно, поэтому ограничимся наиболее опасным сценарием — полным разрушением сосуда. Данный сценарий позволяет не учитывать направление струи СУГ, образующейся в случае частичной разгерметизации сосуда.

Возможные сценарии аварийных ситуаций могут быть изображены графом в виде дендрограммы типа «галстук-бабочка» (рис. 2). Стрела времени, как обычно, направлена слева направо. В качестве узлового рассмотрим аварийное событие «Полная разгерметизация резервуара» (показано овалом), в левой части изображено дерево отказов (растет от узлового события вспять течению времени, справа налево), в правой — дерево событий. Деревья отказов и событий состоят из ветвей-событий, изображенных на графе прямоугольниками. Каждый ярус ветвей пронумерован целым числом, внутри яруса события обозначены латинскими буквами. Кроме событий-прямоугольников, дерево отказов содержит логические знаки «И» и «ИЛИ», разделяющие ярусы дендрограммы. Номер яруса логических знаков обозначен дробью, в числителе которой стоит номер нижнего яруса, в знаменателе — верхнего. В событиях — прямоугольниках дерева событий — указаны условные вероятности. Особенность ярусов дерева событий заключается в том, что все события каждого яруса образуют полную группу: сумма их вероятностей (условных) равна 1.

Вероятность события будем обозначать символом P_{ij} , где i, j — уровень соответственно вертикальный и горизонтальный события на графе. Так, P_0 — вероятность узлового события, $P_{e,-2}$ — вероятность события «Отказ предохранительного клапана 1», P_{II} — вероятность исхода II.



▲ Рис. 2. Граф событий, связанных с полной разгерметизацией резервуара с СУГ

По правилам булевой алгебры:

$$P_{f-3} = P_{f-2};$$

$$P_{e-1} = P_{f-2} P_{e-2} P_{d-2};$$

$$P_0 = 1 - (1 - P_{f-1})(1 - P_{d-1}).$$

В силу идентичности $P_{e-2} = P_{d-2}$, с учетом того обстоятельства, что все $P_{ij} < 1$, последнее соотношение может быть упрощено:

$$P_0 = P_{f-1} + P_{e-1} + P_{d-1} = P_{f-1} + P_{f-3}(P_{e-2})^2 + P_{d-1}. \quad (1)$$

Далее вероятность любого исхода вычисляется как произведение вероятности узлового события и условной вероятности данного исхода, например: $P_V = P_0 P_{e,1}$; $P_{II} = P_0 P_{c,1} P_{b,2}$.

Перечень исходов на рис. 2 (обозначены римскими цифрами), образующих дерево событий, требует пояснений. Из него исключены: исход «образование огненного шара», так как этот сценарий может иметь место, когда сосуд с перегретой жидкостью оказывается в очаге пожара, а на рассматриваемом ОПО (АГЗС) это невозможно; исход «образование горящего факела» — из-за характера разгерметизации резервуара (квазигновенное раскрытие на полное сечение). Как известно, объемный взрыв облака паровоздушной смеси (ПВС) может происходить либо по детонационному либо дефлаграционному типу. В свою очередь, документ [10] делит дефлаграционное взрывное превращение облака на пять подтипов, различающихся скоростью движения фронта пламени. Таким образом, возможные режимы взрывного превращения паровоздушного облака: взрыв с образованием избыточного давления (детонация, дефлаграция); взрыв без образования избыточного давления (пожар-вспышка). Как указывает С.И. Таубкин [11], табл. 2 из [10] позволяет спрогнозировать лишь наиболее вероятный режим взрывного превращения облака ПВС. Нель-

зя исключать, например, детонационный взрыв паровоздушного облака пропана (класс 2) в открытом или слабозагроможденном пространстве (вид 3, 4). Детонация возможна в случае, когда фронт взрывной волны турбулизуется при прохождении препятствия. Правда, для этого масса паров в облаке должна быть большой (сотни тонн). С учетом того что масса паров СУГ в облаке на рассматриваемом ОПО не превышает 10 т, в дальнейшем будем рассматривать лишь два типа взрыва: дефлаграцию с развитием избыточного давления и пожар-вспышку.

В рассматриваемом случае табл. Э.1 [12], в которой приведены условные вероятности различных сценариев развития аварии с выбросом СУГ, использована быть не может, поскольку она получена путем статистической обработки данных об авариях со всевозможными типами объектов при различных условиях. Ее назначение — показать доли разных исходов всего многообразия аварий за достаточно большой период времени. В случае же аварии конкретного ОПО тот или иной ее исход будет зависеть от совершенно определенных обстоятельств: топологии местности; расположения на ней источников зажигания; метеоусловий на момент аварии.

Именно такой подход к оценке условной вероятности взрывного превращения облака ПВС, предполагающий учет вероятности наличия источников зажигания (ИЗ) в области пространства, занятой облаком, реализован в работе [8]. В качестве внешней границы облака рассматривается совокупность точек, в которых концентрация паров равна нижнему концентрационному пределу распространения пламени (НКПР). Условную вероятность воспламенения паровоздушной смеси $P(t)$ в интервале времени $0-t$ предложено оценивать по выражению

$$P(t) = P_{\text{present}}(1 - e^{-\omega t}), \quad (2)$$

где t — текущее время, отсчитываемое от начала разгерметизации резервуара, мин; P_{present} — вероятность (условная) наличия рассматриваемого ИЗ в период прохождения облака; ω — вероятность воспламенения облака ПВС от рассматриваемого ИЗ, мин⁻¹.

Вероятность воспламенения облака ПВС от точечных ИЗ, мин⁻¹ [8]:

Двигатель внутреннего сгорания	0,40
Вспышка, взрыв	1,00
Открытый огонь:	
вне помещения	0,90
в помещении	0,45
Огонь в топке:	
вне помещения	0,45
в помещении	0,23
Судно	0,50
Судно, перевозящее воспламеняющиеся материалы	0,30
Рыболовный траулер	0,20
Прогулочный катер	0,10
Тепловоз	0,40
Электровоз	0,80

Вероятность воспламенения облака ПВС от площадных ИЗ, (мин · км)⁻¹ [8]:

Химический завод	0,9
Нефтеперегонный завод	0,9
Предприятие тяжелой промышленности	0,7

Вероятность воспламенения облака ПВС из-за деятельности человека, (мин · чел)⁻¹ [8]:

Население	0,01
Персонал	0,01

Вероятность воспламенения облака ПВС от линейного ИЗ (автомобильные и железнодорожные дороги вблизи ОПО — источника облака ПВС) определяется средней плотностью движения d , которая рассчитывается по формуле

$$d = NL/v, \quad (3)$$

где N — число транспортных средств, проезжающих по участку в течение часа; L — длина участка автомобильной или железной дороги, км; v — средняя скорость движения автомобиля (локомотива), км/ч.

Если $d < 1$, то вероятность возгорания облака в промежуток времени от 0 до t следует определять по выражению

$$P(t) = d(1 - e^{-\omega t}), \quad (4)$$

где ω — вероятность воспламенения облака ПВС в расчете на одно транспортное средство.

В случае $d > 1$ вероятность возгорания в промежуток времени от 0 до t следует определять по выражению

$$P(t) = 1 - e^{-d\omega t}. \quad (5)$$

Вероятность воспламенения облака ПВС в сельской территории в интервале времени от 0 до t может быть оценена по формуле

$$P(t) = 1 - e^{-N_{\text{ч}}\omega t}. \quad (6)$$

где $N_{\text{ч}}$ — среднее число людей, присутствующих на рассматриваемой территории; ω — вероятность воспламенения облака ПВС в расчете на одного человека.

Если в модели используется независящая от времени вероятность воспламенения, эту величину следует считать эквивалентной вероятности возгорания в течение одной минуты.

Таким образом, для применения уравнения (1) необходимы сведения о пространственном расположении облака ПВС в различные моменты времени, что, в свою очередь, требует привлечения моделей испарения с поверхности пролива и распространения облака ПВС в атмосфере, а также учета расположения ИЗ на пути распространения облака до его полного рассеивания, т.е. до снижения концентрации паров менее НКПР.

Имеется несколько отечественных нормативных методик, реализующих различные математические модели, предназначенные для прогнозирования поведения облака ПВС в атмосфере. Например, математическая модель [13] позволяет рассчитать дрейф облака тяжелого газа (плотность которого превышает плотность воздуха), а если газ горючий — спрогнозировать параметры области его взрывоопасной концентрации. Согласно допущениям этой методики тяжелый газ образуется при поступлении в атмосферу веществ, имеющих молярную массу более 29,5 г/моль и низкую температуру (численные значения не приведены), либо при наличии в нем аэрозолей. Следует отметить, что модель [13] учитывает большое число действующих факторов тепло-, массообмена: движение облака в поле переменного по высоте ветра; гравитационное растекание облака; рассеивание облака в вертикальном направлении за счет турбулентной диффузии и подмешивания воздуха, а также в горизонтальном за счет атмосферной турбулентности и его гравитационного растекания; нагрев (охлаждение) облака из-за подмешивания окружающего воздуха; фазовые переходы опасного вещества в облаке; теплообмен облака с подстилающей поверхностью. Обращает на себя внимание тот факт, что в качестве взрывоопасной области несколько нетрадиционно принята область пространства, в котором концентрация горючего вещества находится в диапазоне от 0,5НКПР (обычно в качестве нижней границы концентрации принимается НКПР) до ВКПР. В документе [13] отмечается, что применимость модели весьма ограничена как в штилевых условиях, так и в случаях выбросов внутри помещений. К сильным сторонам документа [13] следует отнести четкое указание на принятые в модели допущения и упрощения. Однако модель [13] слишком сложна для ручного расчета, поэтому для приблизительных оценок дрейфа облака ПВС

под действием ветра воспользуемся более простой методикой [14]. В ней расстояние переноса геометрического центра облака под действием ветра ΔL , м, рассчитывается по формуле

$$\Delta L = \left(\frac{0,44r_0}{\alpha} \right)^{1/k}, \quad (7)$$

где r_0 — условный радиус облака ПВС, принимаемого за полусферу, м; α , k — коэффициенты, определяемые по табл. 1, причем класс устойчивости атмосферы выбирается в зависимости от постановки задачи (консервативная или с учетом конкретных обстоятельств аварий).

Таблица 1

Класс устойчивости атмосферы по Паскуиллу	α	k
A	0,43	0,89
B	0,26	0,92
C	0,20	0,92
D	0,13	0,92
E	0,08	0,94
F	0,05	0,94

Радиус облака находим из соотношения

$$r_0 = 0,78\sqrt[3]{V_{\text{ПВС}}}, \quad (8)$$

где $V_{\text{ПВС}}$ — объем облака, зависящий от массы горючего вещества в нем, м³:

$$V_{\text{ПВС}} = \frac{2240\theta m T}{\mu C_{\text{ст}} T_0}, \quad (9)$$

где 2240 л/кмоль — молярный объем; θ — безразмерный коэффициент [14]; m — масса горючего вещества, поступившего в окружающую среду, кг; T — температура воздуха, К; μ — молярная масса горючего, кг/кмоль; $C_{\text{ст}}$ — объемная доля горючего в стехиометрической смеси с воздухом; $T_0 = 273$ К.

Формула (9) получена в консервативной постановке (принято, что концентрация горючего вещества в облаке стехиометрическая).

Таким образом, вероятность реализации исходов $P_1 - P_{v_1}$ аварии, заключающейся в полной квазимгновенной разгерметизации резервуара с СУГ, определяется: вероятностью возникновения повышенной температуры внутри сосуда; интенсивностью отказов предохранительного клапана давления; вероятностью механического воздействия на стенку сосуда; интенсивностью отказов резервуара; вероятностью наличия ИЗ в области, занятой первичным паровоздушным облаком СУГ; вероятностью наличия ИЗ на пути дрейфа облака ПВС под действием ветра.

Параметрическая неопределенность как вероятности того или иного исхода аварии, так и ВКР в целом в данном случае обусловлена невозможностью точно задать численные значения перечисленных выше параметров. Это невозможно как по объек-

тивным (изменчивость), так и субъективным (незнание) причинам.

Количественное оценивание параметрической неопределенности аварийного риска

Рассмотрим два способа КОИ, связанной с параметрами модели рассматриваемого нами аварийного процесса:

детерминистический, методами интервальной математики;

вероятностный, с использованием понятия стандартной неопределенности.

На первом этапе для каждого параметра необходимо указать интервал его возможных значений. Этот интервал можно определить, например, как диапазон, в котором содержится 95 % возможных значений данного параметра. Для удобства введем обозначение неопределенности величины Z : $H\{Z\} = [Z_n, Z_b]$, где $[Z_n, Z_b]$ — интервал неопределенности.

Типовой резервуар для хранения СУГ имеет следующие характеристики: рабочее давление 1,6 МПа; расчетное давление 1,8 МПа; давление гидравлического испытания 2,2 МПа. Давление в паровом пространстве резервуара определяется давлением насыщенных паров СУГ, которое, как известно, сильно зависит от температуры. В свою очередь, температура парового пространства резервуара обусловлена температурой атмосферного воздуха и инсоляцией, поэтому вероятность превышения температурой внутри резервуара некоторого порогового значения зависит от вероятности достижения метеопараметрами соответствующих значений. Можно оценить температуру, при которой давление паров будет равно 1,8 МПа, если зависимость давления паров от температуры аппроксимировать уравнением Антуана:

$$P_n = 10^{\frac{A-B}{t_p + C_A}}, \quad (10)$$

где P_n — давление насыщенных паров вещества, кПа; A , B и C_A — константы, заимствованные из работы [15]; t_p — расчетная температура, °С.

Выполним такую оценку для пропана, приняв $A = 5,955$, $B = 813,6$, $C_A = 248,1$. В результате получим $t_{p, \text{пр}} = 813,8 / (5,96 - 3,26) - 248,1 = 53,3$ °С. Аналогично для бутана: $A = 6$, $B = 968,1$, $C_A = 242,6$, тогда $t_{p, \text{бут}} = 968,1 / (6 - 3,26) - 242,6 = 110,7$ °С.

Очевидно, что в тени эти температуры приземного слоя атмосферы в условиях Республики Марий Эл недостижимы, поскольку, согласно документу [16], за период наблюдений 1881–1985 гг. в Йошкар-Оле максимум температуры воздуха составил 39 °С. Однако с учетом нагрева резервуара прямыми лучами солнца повышение температуры внутри него до 53 °С исключать нельзя. Рамки статьи не позволяют выполнить теплотехнический расчет (учет солнечной постоянной, коэффициента отражения, температуры воздуха и др.). Но в данном случае этого и не требуется, поскольку цель статьи иная —

продемонстрировать способы, позволяющие, располагая неопределенностями параметров модели, количественно выразить неопределенность результата. Таким образом, в затруднительных случаях при задании интервала неопределенности параметра будем пользоваться такой «палочкой-выручалочкой», как экспертные суждения. Примем экспертно, что интервал неопределенности для вероятности превышения температурой внутреннего пространства резервуара значения 53 °С составляет 0,01–0,05.

Интенсивность отказов технических устройств принимаем согласно имеющимся справочным данным (табл. 2).

Таблица 2

Элемент	Интенсивность отказа, час ⁻¹	Источник информации
Клапан предохранительный резервуарный	$(2,7 \div 10,8) \cdot 10^{-6}$	ГОСТ 12.1.004–91 [17]
Клапан предохранительный	$5,7 \cdot 10^{-6}$	Справочное пособие [18]
Резервуар гидравлический	$(8,3 \div 27,0) \cdot 10^{-8}$	ГОСТ 12.1.004–91 [17]
Резервуар, эксплуатирующийся под высоким давлением	$0,7 \cdot 10^{-6}$	Справочник [19]

Полагая, что эксплуатация указанных устройств осуществляется в стадии, для которой характерно примерное постоянство интенсивности отказов, и устройства эксплуатируются постоянно (8760 ч/год), оценим интервал неопределенности для вероятности отказа клапана и резервуара:

$$P_{\text{кл.н}} = 1 - e^{-2,7 \cdot 8760 \cdot 0,000001} = 0,024;$$

$$P_{\text{кл.в}} = 1 - e^{-10,8 \cdot 8760 \cdot 0,000001} = 0,095;$$

$$P_{\text{рез.н}} = 1 - e^{-0,083 \cdot 8760 \cdot 0,000001} = 0,00073;$$

$$P_{\text{рез.в}} = 1 - e^{-0,7 \cdot 8760 \cdot 0,000001} = 0,0061.$$

Рассмотрим далее механическое воздействие на сосуд с СУГ, способное привести к полному его разрушению. Такое воздействие может быть следствием: столкновения сосуда с автомобилем, движущимся с большой скоростью; падения на него летательного аппарата; диверсии (подрыва). Очевидно, что все эти события достаточно редкие, их вероятность экспертно зададим интервалом $(0,5 \div 1) \cdot 10^{-6}$.

Прежде чем рассматривать вопрос о наличии ИЗ, оценим по формулам (8) и (9) размер области, занятой облаком ПВС.

Объем облака (полусферического) $V_{\text{ПВС}} = 2240 \cdot 0,5 \cdot 10^{14} \cdot 303 / (51 \cdot 3,57 \cdot 273) = 71\,005 \text{ м}^3$ (значения молярной массы и стехиометрической концентрации пропан-бутановой смеси взяты из документа [14] в предположении, что смесь состоит из пропана и бутана в равных долях).

$$\text{Радиус облака ПВС } r_0 = 0,78(71\,005)^{1/3} = 31,1 \text{ м.}$$

С учетом специфики рассматриваемого нами ОПО из всех перечисленных ранее потенциальных

ИЗ примем в расчет двигателя внутреннего сгорания автомобилей, находящихся либо на территории АГЗС, либо в очереди на нее; автомобильную дорогу; жилые дома.

Расстояние максимального дрейфа облака ПВС под действием ветра, согласно формуле (7), существенно зависит от метеоусловий. Поскольку k меняется относительно мало, в основном оно зависит от α . Анализ табл. 1 позволяет заключить, что если пренебречь ночными условиями (когда автотранспорта на дорогах мало), наиболее опасна нейтральная температурная стратификация днем (класс D). В этих условиях $\Delta L = (0,44 \cdot 31,1 / 0,13)^{1/0,92} = 157,8 \text{ м}$. (Разумеется, более корректно было бы посчитать ΔL для всех шести классов метеоусловий и найти средневзвешенное значение с учетом повторяемости каждого класса в данной местности.)

Предположим, что контакт ПВС с ИЗ произошел в период образования первичного облака, а ИЗ расположен вблизи земной поверхности (система выпуска отработавших газов автомобиля), тогда это приведет к пожару пролива.

Согласно описанию рассматриваемого ОПО, в радиусе 31,1 м от его центра расположены: территория АГЗС, площадка для ожидающих заправку автомобилей, отрезок автомобильной дороги. Экспертно принимаем, что условная вероятность наличия приземного ИЗ в зоне опасных концентраций полусферического облака ПВС, расположенной на его периферии (условная вероятность возникновения пожара пролива), составляет 0,1–0,3. Аналогично предположим, что для возникновения пожара-вспышки или взрыва с развитием избыточного давления необходимо наличие в области опасных концентраций облака ПВС относительно мощного ИЗ, расположенного на высоте более 1 м от земной поверхности (система зажигания автомобильных двигателей, токосъемники троллейбусов и др.). Экспертно принимаем условную вероятность: 0,05–0,2 — пожар-вспышка; 0,05–0,1 — взрыв с избыточным давлением. Следовательно, условная вероятность исхода, замыкающего полную группу событий, — дрейфа облака ПВС по ветру без возгорания — составит 0,45–0,8.

Реализация того или иного сценария дальнейшего развития событий (дрейф облака тяжелого газа) будет зависеть от направления ветра, времени года и суток, наличия и вида ИЗ. Корректное решение задачи требует скрупулезного учета вероятности реализации каждого значения перечисленных параметров — подобно тому, как разработчиками отчета [6] было просчитано 14 400 сценариев, связанных с последствиями разгерметизации ядерного реактора, включающих различные метеоусловия, типы подстилающей поверхности, расположение жилых домов по отношению к АЭС, варианты эвакуации населения и т.д. [6]. В рамках статьи сделать это невозможно, поэтому экспертно принимаем следующие интервалы неопределенности для условных

вероятностей событий, сопровождающих дрейф облака: пожар-вспышка — 0,2–0,3; взрыв с избыточным давлением — 0,1–0,2; рассеивание облака без взрывных последствий — 0,5–0,7.

Интервалы неопределенности важнейших параметров задачи сведены в табл. 3.

Прежде чем оценивать $H\{P_0\}$, рассчитаем $H\{P_{e,-2}^2\}$, где $P_{e,-2}^2 \in [0,024^2; 0,095^2]$ или $[0,000576; 0,00903]$. Далее $H\{P_{f,-3} P_{e,-2}^2\} = [0,00000576; 0,000451]$. Окончательно неопределенность узлового события $H\{P_0\} = [0,000736; 0,00655]$.

Таблица 3

Параметр	Обозначение	Интервал неопределенности
Вероятность возникновения повышенной температуры внутри сосуда	$P_{f,-3}; P_{f,-2}$	0,010–0,050
Вероятность отказа предохранительного клапана давления	$P_{e,-2}; P_{d,-2}$	0,024–0,095
Вероятность механического воздействия на стенку сосуда	$P_{f,-1}$	$(0,005 \div 0,010) \cdot 10^{-4}$
Вероятность отказа резервуара	$P_{d,-1}$	$(0,073 \div 0,610) \cdot 10^{-2}$
Условная вероятность наличия ИЗ в области первичного облака СУГ, приводящего к образованию:		
пожара-пролива	$P_{f,1}$	0,100–0,300
пожара-вспышки	$P_{e,1}$	0,050–0,200
взрыва с избыточным давлением	$P_{d,1}$	0,050–0,100
дрейфа облака ПВС по ветру	$P_{c,1}$	0,400–0,800
Условная вероятность наличия ИЗ на пути дрейфа облака ПВС, приводящего к образованию:		
пожара-вспышки	$P_{c,2}$	0,200–0,300
взрыва с избыточным давлением	$P_{b,2}$	0,100–0,200
рассеивания облака без взрывных последствий	$P_{a,2}$	0,500–0,700

Теперь, когда для всех параметров определены интервалы неопределенности, можно перейти к методам КОН результата. В качестве результата рассмотрим вероятности реализации сценариев, указанных в правой части рис. 2. Напомним, что вероятность любого исхода вычисляется как произведение вероятности узлового события и условной вероятности данного исхода:

$$\left. \begin{aligned} P_I &= P_0 P_{c,1} P_{a,2}; \\ P_{II} &= P_0 P_{c,1} P_{b,2}; \\ P_{III} &= P_0 P_{c,1} P_{c,2}; \\ P_{IV} &= P_0 P_{d,1}; \\ P_V &= P_0 P_{e,1}; \\ P_{VI} &= P_0 P_{f,1}. \end{aligned} \right\} (11)$$

Первый способ КОН основан на использовании четырех правил интервальной математики. Если два параметра X и Y заданы в интервальной форме: $X \in [x_n, x_b]; Y \in [y_n, y_b]$, то

- $X + Y = [x_n + y_n, x_b + y_b];$
- $X - Y = [x_n - y_b, x_b - y_n];$
- $XY = [\min(x_n y_n, x_n y_b, x_b y_n, x_b y_b), \max(x_n y_n, x_n y_b, x_b y_n, x_b y_b)];$
- $X/Y = [\min(x_n/y_n, x_n/y_b, x_b/y_n, x_b/y_b), \max(x_n/y_n, x_n/y_b, x_b/y_n, x_b/y_b)]$ при $0 \notin [y_n, y_b]$.

Оценим интервал неопределенности для вероятности узлового события, используя правила 1 и 3.

Таким образом, оценка неопределенности вероятности исходов $P_I - P_{VI}$ первым способом дает следующие интервалы:

$$\begin{aligned} P_I \quad H\{P_I\} &= [0,000147; 0,00367] \\ P_{II} \quad H\{P_{II}\} &= [0,0000294; 0,00105] \\ P_{III} \quad H\{P_{III}\} &= [0,0000294; 0,00105] \\ P_{IV} \quad H\{P_{IV}\} &= [0,0000294; 0,00105] \\ P_V \quad H\{P_V\} &= [0,0000368; 0,00131] \\ P_{VI} \quad H\{P_{VI}\} &= [0,0000736; 0,00197] \end{aligned}$$

Второй способ КОН параметров риска основан на использовании понятия стандартной неопределенности, введенного в документе [20]. Методология документа [20] подразумевает разделение составляющих неопределенности измерений на два принципиально различающихся типа А и В. Тип А соответствует прежнему понятию случайной погрешности, характеризуется дисперсией, оцениваемой классическим образом с применением статистических процедур. Квадратный корень из дисперсии назван стандартной неопределенностью типа А. Составляющая неопределенности типа В оценивается иными способами, для нее постулируется существование дисперсии, квадратный корень которой называется стандартной неопределенностью типа В. В принципиальном отношении оба типа неопределенности в документе [20] уравнены. Кроме того, идеология КОН распространена не только на результаты прямых измерений, но и мысленных экспериментов и, следовательно, любого моделирования.

Таблица 5

Вероятность исхода	Среднее значение	Дисперсия	Суммарная стандартная неопределенность
P_I	$12,67 \cdot 10^{-4}$	$3,86 \cdot 10^{-7}$	$6,21 \cdot 10^{-4}$
P_{II}	$3,17 \cdot 10^{-4}$	$3,15 \cdot 10^{-7}$	$5,61 \cdot 10^{-4}$
P_{III}	$5,28 \cdot 10^{-4}$	$3,22 \cdot 10^{-7}$	$5,67 \cdot 10^{-4}$
P_{IV}	$2,64 \cdot 10^{-4}$	$1,61 \cdot 10^{-8}$	$1,27 \cdot 10^{-4}$
P_V	$4,40 \cdot 10^{-4}$	$6,08 \cdot 10^{-8}$	$2,47 \cdot 10^{-4}$
P_{VI}	$7,04 \cdot 10^{-4}$	$1,37 \cdot 10^{-7}$	$3,70 \cdot 10^{-4}$

Предположим y — функция нескольких независимых переменных x_i :

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Суммарную стандартную неопределенность величины y предложено рассчитывать по правилу сложения дисперсий [20]:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \Big|_{x_1, x_2, \dots, x_n} u_c^2(x_i) \right]}, \quad (12)$$

где $\partial f / \partial x_i$ — первые частные производные величины y по соответствующей переменной; $u_c(x_i)$ — стандартные неопределенности переменных x_i (неважно какого типа, А или В).

Значения дисперсии (и стандартной неопределенности), как известно, различаются для разных типов распределения вероятности. Учитывая, что в рассматриваемом случае интервалы неопределенности чаще всего задавались экспертно, примем для них наименее информативный (прямоугольный) закон плотности распределения вероятности. Для данного типа плотности вероятности стандартная неопределенность [20]:

$$u_c = \frac{a}{2\sqrt{3}}, \quad (13)$$

где a — полная ширина интервала неопределенности.

Выполненная по формуле (13) оценка стандартной неопределенности параметров задачи представлена в табл. 4.

Оценим суммарную стандартную неопределенность параметров $P_I - P_{VI}$, воспользовавшись соотношением (12). При расчете частных производных значения параметров приравниваем к соответствующим средним. Результаты сведены в табл. 5.

Наряду с понятием стандартной неопределенности в документе [20] введено понятие расширенной

неопределенности, которая вычисляется как произведение стандартной неопределенности и коэффициента охвата k_p . Этот коэффициент по смыслу аналогичен коэффициентам распределения Стюдента, зависящим от числа степеней свободы ν и доверительной вероятности.

Очевидно, что в отсутствие удовлетворительной статистики (результатов серии n наблюдений) прямое определение числа степеней свободы ($\nu = n - 1$) невозможно. В том случае, когда некоторый параметр имеет прямоугольное распределение вероятности, в документе [20] предлагается оценивать для него эффективное число степеней свободы по выражению:

$$\nu_{\text{эфф}} \approx \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta u_c(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2}. \quad (14)$$

После определения $\nu_{\text{эфф}}$ надо, с учетом заданного уровня доверия, найти коэффициент охвата k_p , позволяющий рассчитать интервал доверия [20]:

$$[x_i - k_p u_c(x_i), x_i + k_p u_c(x_i)], \quad (15)$$

в котором с заданной вероятностью находится значение исследуемого параметра. Назовем этот интервал аналогичным образом — интервалом неопределенности.

Таблица 4

Обозначение параметра	Интервал неопределенности	Среднее значение	Стандартная неопределенность	Дисперсия
$P_{f,-3}; P_{f,-2}$	0,01–0,05	0,030	0,0115	$0,0132 \cdot 10^{-2}$
$P_{e,-2}; P_{d,-2}$	$(0,24 \div 0,95) \cdot 10^{-1}$	0,060	0,0205	$0,0042 \cdot 10^{-1}$
$P_{f,-1}$	$(0,05 \div 0,10) \cdot 10^{-5}$	$0,075 \cdot 10^{-5}$	$0,0144 \cdot 10^{-5}$	$2,0700 \cdot 10^{-14}$
$P_{d,-1}$	$(0,73 \div 6,10) \cdot 10^{-3}$	$0,341 \cdot 10^{-2}$	$0,0155 \cdot 10^{-1}$	$2,4000 \cdot 10^{-6}$
$P_{f,1}$	0,10–0,30	0,200	0,0577	$0,0333 \cdot 10^{-1}$
$P_{e,1}$	0,05–0,20	0,125	0,0433	$0,0188 \cdot 10^{-1}$
$P_{d,1}$	0,05–0,10	0,075	0,0144	$0,0021 \cdot 10^{-1}$
$P_{c,1}$	0,40–0,80	0,600	0,1155	0,0133
$P_{c,2}$	0,20–0,30	0,250	0,0289	$0,0835 \cdot 10^{-2}$
$P_{b,2}$	0,10–0,20	0,150	0,0289	$0,0835 \cdot 10^{-2}$
$P_{a,2}$	0,50–0,70	0,600	0,0577	0,0033
P_0	–	$0,352 \cdot 10^{-2}$	$0,0155 \cdot 10^{-1}$	$0,0241 \cdot 10^{-4}$

Примечание. Среднее значение P_0 рассчитано по формуле (1), дисперсия и суммарная стандартная неопределенность найдены по формуле (12).

Следуя приведенному алгоритму, сначала оцениваем по формуле (14) эффективное число степеней свободы параметра; затем округляем полученное значение до целого числа; задав уровень доверия (0,95), по таблице G.2 [20] находим коэффициент охвата; рассчитываем по формуле (15) расширенную неопределенность и интервал неопределенности. Ввиду того, что расчетная левая граница интервала неопределенности находится в области отрицательных чисел, приравниваем ее к нулю. Результаты расчетов представлены в табл. 6.

Сравнение результатов расчетов показывает, что второй из использованных способов КОН дает большие интервалы неопределенности.

Заключение

В нашей стране проблеме КОН результатов оценки техногенного риска уделяется незаслуженно мало внимания. В подавляющем большинстве отечественных публикаций (монографии, научные статьи, учебные пособия), посвященных методологии анализа и количественной оценке техногенного риска, аспект неопределенности упускается из виду. Между тем англоязычная библиография по данной проблеме включает сотни, если не тысячи, наименований. Впервые со всей остротой тема КОН была поднята проф. Н. Расмуссеном с коллегами еще в 1975 г., однако до сих пор она не нашла удовлетворительного решения.

Методология анализа и количественной оценки техногенного риска (как аварийного, так и связанного с систематическим воздействием объектов техносферы на окружающую среду) развивается и все шире применяется в России. Интересы дела требуют, чтобы незаслуженно игнорируемый у нас аспект этой методологии — КОН получаемых в ее рамках результатов — стал предметом научных исследований и в нашем отечестве.

Список литературы

1. *О промышленной безопасности опасных производственных объектов*: федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ; принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 20 июня 1997 г. // Собр. законодательства Рос. Федерации. — 1997. — № 30. — Ст. 3588.

2. *РД 03-14—2005*. Порядок оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений. — Сер. 27. — Вып. 4. — М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2005. — 28 с.

3. *РД 09-536—2003*. Методические указания о порядке разработки Плана локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС) на химико-технологических объектах. — Сер. 09. — Вып. 10. — М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. — 66 с.

4. *РД 03-418—01*. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. — Сер. 03. — Вып. 10. — М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2001. — 60 с.

5. *ГОСТ Р 51901.1—2002*. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем; Введ. 01.09.2003. — М.: Из-во стандартов, 2002.

6. *Rasmussen N.* Reactor Safety Study — An Assessment of Accident Risk in US Commercial Nuclear Power Plants. WASH-1400: Main report // Nuclear Regulatory Commission. — Washington DC, 1975.

7. *Evaluating the reliability of prediction made using environmental transfer models*//Safety series — № 100. — Vienna: IAEA, 1989. — 105 p.

8. *CPR-18E*. Guidelines for quantitative risk assessment (Purple book). — 2-nd ed. — Hague: VROM, 2005.

9. *Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах*: утв. приказом МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404; в редакции приказа МЧС России от 14 декабря 2010 г. № 649// Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2011. — № 8. — С. 27.

10. *РД 03-409—01*. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. — Сер. 27. — Вып. 2. — М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2005. — С. 4—34.

11. *Таубкин С.И.* Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. — М.: ВНИИПО, 1999. — 600 с.

12. *ГОСТ Р 12.3.047—98*. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля; Введ. 01.01.2000. — М.: Из-во стандартов, 1998.

13. *РД-03-26—2007*. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ. —

Таблица 6

Вероятность исхода	Среднее значение	Стандартная неопределенность	Эффективное число степеней свободы ¹	Коэффициент охвата	Расширенная неопределенность	Интервал неопределенности
P_I	0,001267	0,000621	2,08 (2)	4,30	0,0027	[0; 0,0039]
P_{II}	0,000317	0,000561	0,16 (1)	12,71	0,0071	[0; 0,0074]
P_{III}	0,000528	0,000567	0,43 (1)	12,71	0,0072	[0; 0,0077]
P_{IV}	0,000264	0,000127	2,16 (2)	4,30	0,0005	[0; 0,0008]
P_V	0,000440	0,000247	1,59 (2)	4,30	0,0031	[0; 0,0036]
P_{VI}	0,000704	0,000370	1,81(2)	4,30	0,0047	[0; 0,0054]

¹ В скобках даны значения, округленные до целого числа.

Сер. 27. — Вып. 6. — М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2008. — 120 с.

14. *РБ Г-05-039—96*. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия: утв. постановлением Госатомнадзора России 31 дек. 1996 г. № 100. — М.: ОНТИ НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, 2000.

15. *Пособие* по применению НПБ 105—95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» при рассмотрении проектно-сметной документации/ Ю.Н. Шебеко, И.М. Смолин, И.С. Молчадский и др. — М.: ВНИИПО, 1996.

16. *СНиП 23-01—99*. Строительная климатология; Введ. 01.01.2000. — М.: ГУП ЦПП, 2003.

17. *ГОСТ 12.1.004—91*. Пожарная безопасность. Общие требования; Введ. 01.07.92. — М.: Из-во стандартов, 2002.

18. *Майоров М.А., Дубровицкий В.В., Разладов Г.З.* Надежность средств и систем автоматики трубопроводного транспорта: Справ. пособие. — М.: Недра, 1992 — 160 с.

19. *Надежность* и эффективность в технике: Справочник / ред. совет: В.С. Авдеевский и др. — М.: Машиностроение, 1990. — Т. 10. Справочные данные по условиям эксплуатации и характеристикам надежности / Под ред. А.А. Кузнецова. — 366 с.

20. *JCGM 100:2008*. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM 1995 with minor corrections). URL: http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf (дата обращения 18.12.2012).

e.konik@list.ru



ПОДГОТОВКА И АТТЕСТАЦИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ

КОНСУЛЬТАЦИИ

На вопросы читателя отвечает начальник отдела профессиональной переподготовки, повышения квалификации и наград Управления государственной службы и кадров Ростехнадзора Д.С. Конькова.



Согласно статье 9.4.4 Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ПБ 10-382—00) лицо, ответственное за безопасное производство работ кранами, назначенное из числа мастеров, прорабов, начальников участков, проверку знаний проходит в экзаменационной комиссии организации с участием инспектора Ростехнадзора. В соответствии с п. 18 Положения об организации работы по подготовке и аттестации специалистов организаций, поднадзорных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору (РД-03-19—2007) (далее — Положение) такая аттестационная комиссия создается приказом руководителя организации.

В соответствии с п. 20 Положения руководителя и члены аттестационных комиссий организаций, численность работников которых менее 2 тыс. чел., проходят проверку знаний в территориальной аттестационной комиссии Ростехнадзора (далее — ТАК Ростехнадзора). Очевидно, речь идет об аттестации руководителя (или лица, замещающего руководителя) организации и членов аттестационной комиссии данной организации.

В связи с изложенным, а также с учетом наличия категорий классификаций «руководитель организации», «должности руководителей», «должности специалистов» просим разъяснить, в какой аттестационной комиссии должны проходить проверку знаний лица, ответственные за безопасное производство работ кранами (назначенные из числа мастеров, прорабов и начальников участков), в объеме должностных обязанностей, который утверждается руководителем организации, — в ТАК Ростехнадзора или аттестационной комиссии организации с участием инспектора Ростехнадзора?

В связи с рекомендацией воспользоваться утвержденными Ростехнадзором экзаменационными билетами (тестами) для проверки знаний специалистов

в аттестационных комиссиях организации просим дать сведения о порядке доступа к упомянутым тестам.

Необходимо ли участие инспектора Ростехнадзора при проверке знаний членов аттестационных комиссий подразделений организации в аттестационной комиссии самой организации, члены которой аттестованы в ТАК Ростехнадзора?

Е.В. Полянинов, специалист по промышленной безопасности ООО «ДСК»

Порядок организации обучения и проверки знаний рабочих организаций, поднадзорных Ростехнадзору, определен Положением об организации обучения и проверки знаний рабочих организаций, поднадзорных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, утвержденным приказом Ростехнадзора от 29 января 2007 г. № 37 (далее — Положение).

Согласно Положению лица, ответственные за безопасное производство работ кранами, в случае, если они не являются членами аттестационной комиссии организации, подлежат аттестации в аттестационной комиссии организации.

В соответствии с п. 18 Положения по инициативе председателя аттестационной комиссии организации или его заместителя в состав комиссии по согласованию могут включаться представители территориальных органов Ростехнадзора, если обязательность их участия не предусмотрена соответствующими нормативными правовыми актами.

При проведении аттестации на знание Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ПБ 10-382—00), утвержденных постановлением Госгортехнадзора России от 31 декабря 1999 г. № 98, участие представителя Ростехнадзора обязательно.

Дополнительно сообщая, что в порядке информирования Ростехнадзор приступил к поэтапному размещению утвержденных экзаменационных билетов (тестов) на своем официальном сайте www.gosnadzor.ru в разделе «Подготовка и аттестация работников организаций».