

УДК 62.001.25

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2016

О нормировании интервальных значений аварийного риска (риска ЧС)

Е. Ю. Колесников,
Поволжский государственный
технологический университет,
г. Йошкар-Ола

Аннотация

Ключевой проблемой анализа и количественной оценки аварийного риска (риска ЧС) остается проблема наличия и количественной оценки неопределенности. Использование интервальных чисел для задания параметров аварии (ЧС) и методов интервального анализа для вычисления целевых метрик позволяет количественно оценивать неопределенность полученных результатов. Широкому использованию данного подхода при управлении аварийной (пожарной) безопасностью препятствует нерешенность проблемы сравнения полученных метрик интервальной природы и их нормативных значений, выраженных скалярными числами. В статье предложен метод нормирования интервальных значений аварийного риска (риска ЧС), соответствующий международному подходу в области радиационной гигиены.

Ключевые слова: аварийный риск, неопределенность, интервальный анализ, нормирование риска.

Содержание

Введение

1. Нормирование параметров интервальной природы
2. О нормировании метрики аварийного риска (риска ЧС)

Заключение

Литература

Введение

Как известно, в нашей стране с целью обеспечения пожарной и промышленной (или кратко — аварийной) безопасности на сегодняшний день реализуются два подхода:

1) традиционный — детерминистический, заключающийся: а) в утверждении серии нормативно-технических документов, в которых тщательно регламентировано множество параметров аварийно опасных объектов и б) осуществлении государственного контроля и надзора за их соблюдением (как на этапе проектирования, так и при последующей эксплуатации);

2) альтернативный, основанный на риске, — в нормативном документе высокого уровня (например, Техническом регламенте) регламентируются предельные значения целевых метрик аварийного риска (например, индивидуального и социального пожарного риска). Безопасность аварийно опасного объекта считается обеспеченной, если оценка этих метрик (на проектном этапе или этапе его эксплуатации) не превышает установленных предельных величин.

Очевидно, что второй подход имеет значительно больший инновационный потенциал (что особенно актуально в нынешних условиях), поскольку избавляет проектировщиков, конструкторов и технологов при проектировании новых объектов от необходимости соблюдать множество ограничений из действующих нормативно-технических документов, открывает простор для новых, прорывных решений.

Казалось бы, преимущества второго подхода столь очевидны, что он должен полностью заменить собой традиционный подход. Однако этого не происходит, и если и произойдет, то явно не в ближайшей перспективе. Журнал «Проблемы анализа риска» уже касался этой темы (см. нашу статью [1]). Причина заключается в том, что любые оценки риска заключают в себе неопределенность, порой достигающую нескольких порядков величины. Наличие этой неопределенности особенно опасно в силу того, что она носит скрытый характер. Дело в том, что традиционно оценка аварийного риска выполняется в «точечной» постановке, при которой все параметры задачи выражаются скалярными числами. Результат расчета — целевые метрики аварийного риска — также являются в таком случае скалярами. Хотя на самом деле, как показано в том числе в наших работах [2—6], это далеко не так, подавляющая часть параметров задачи может принимать значения из целого диапазона. Примеры тому — метеопараметры на момент прогнозируемой аварии, количество опасного вещества в оборудовании, физико-химические свойства опасного вещества, параметры математических моделей, применяемых для описания аварийных процессов и т.д.

Пожалуй, наихудшим следствием игнорирования этого факта является возможность манипулирования величиной параметров задачи с целью получения требуемых значений целевых метрик, чем и пользуются недобросовестные проектировщики и эксперты. И если по-прежнему игнорировать существование этой проблемы, не искать пути ее решения, она способна полностью дискредитировать сам подход к управлению аварийной безопасностью, основанный на риске. Один из прецедентов подобной ситуации уже имел место (см. [1]).

Варьируемость величины параметра в некоторых пределах математически может быть задана

различными способами. В тех относительно редких случаях, когда наблюдается статистическая устойчивость, для задания параметров возможно использование вероятностного описания (к этому случаю относятся, например, метеорологические параметры в данной местности — температура воздуха, повторяемость направления и силы ветра и т.д.). Для подавляющей же части параметров, используемых при оценке аварийного риска, это условие не выполняется.

Альтернативным способом задания параметров, изменяющихся в пределах некоторого диапазона, является использование нечетких чисел. Однако в данном случае требуется обоснование вида «функции принадлежности», отвечающей за поведение параметра внутри диапазона. В общем случае найти достаточное основание для выбора той или иной функции принадлежности проблемно.

Очевидно, что в наиболее общем виде параметры, принимающие значения в пределах некоторого диапазона, могут быть заданы интервальными числами (интервалами). Важным, необходимым условием использования интервальных чисел является требование выпуклости, означающее, что величина параметра может принимать любые значения внутри границ интервала, без изъятий, т.е. что интервал не имеет «дыр».

Интервальный способ задания параметрической неопределенности означает, что известны только нижняя и верхняя границы области возможных значений величины параметра. Никакие гипотезы о вероятности (возможности) для параметра принимать те или иные значения внутри границ интервала не требуются (равномерное распределение вероятности также не постулируется).

К настоящему времени интервальный анализ (математическое исчисление интервальных чисел), берущий начало от работы Розалинды Янг 1931 г. [7], получил серьезное развитие. Разработано несколько видов специального программного обеспечения, позволяющего решать (в ряде случаев более успешно, чем классический анализ) основной класс математических задач — решение систем линейных и нелинейных уравнений, задач дифференциального и интегрального исчисления, осуществлять поиск решения задачи глобальной оптимизации. Одним из таких популярных инструментов является

программный модуль (toolbox) INTLAB, работающих в программной среде MATLAB. INTLAB разработан профессором Гамбургского института надежных вычислений З.М. Румпом (S.M. Rump).

Если параметры задачи, описывающей аварию (техногенную ЧС) на опасном объекте, задать интервалами, можно с помощью любых моделей аварийных процессов, в том числе легальных (например, утвержденных Приказом МЧС России или Ростехнадзора), рассчитать целевые метрики риска — интенсивность поражающих факторов в определенной точке местности, вероятность поражения людей или имущества. Последние в таком случае также будут являться интервалами. И это очень информативно, поскольку ширина интервала дает непосредственное представление, в каком диапазоне можно ожидать величину целевого параметра. Примеры выполнения интервальных расчетов целевых метрик аварийного риска с помощью INTLAB приведены в наших работах [3, 6], дальнейшее развитие этот подход (интервально-матричный метод) получил в нашей работе [8].

Однако на пути широкого внедрения в практику количественной оценки аварийного риска (риска ЧС) интервального подхода стоит нерешенная проблема сравнения полученных целевых метрик риска (выраженных интервалами) с пороговыми критериями приемлемого риска, заданными на законодательном или нормативном уровне скалярными числами.

1. Нормирование параметров интервальной природы

Между тем прецеденты решения подобной задачи имеются. Например, в области радиационной гигиены действуют методические указания МУК 2.6.1.1194-03 [9] по проведению радиационного контроля пищевых продуктов. В них реализован международный подход, давно используемый в области радиационной безопасности. Согласно этому документу, для оценки радиационной безопасности пищевых продуктов по удельной активности цезия-137 и стронция-90 используются:

а) показатель соответствия B :

$$B = \left(\frac{A_{уд}}{H} \right)_{Sr} + \left(\frac{A_{уд}}{H} \right)_{Cs}, \quad (1)$$

б) погрешность его определения ΔB :

$$\Delta B = \sqrt{\left(\frac{\Delta A}{H} \right)_{Sr}^2 + \left(\frac{\Delta A}{H} \right)_{Cs}^2}, \quad (2)$$

значения которых рассчитывают по результатам измерений в пробе.

Здесь $A_{уд}$ — измеренное значение удельной активности радионуклида в пробе;

H — допустимый уровень удельной активности радионуклида в испытуемом продукте;

ΔA — абсолютная погрешность измерения удельной активности при доверительной вероятности ($P = 0,95$).

Следует отметить, что в современной метрологии вместо понятия «погрешность измерений» используется понятие «измерительная неопределенность» (см. международное Руководство [10] и ряд отечественных нормативно-технических документов, например [11], принятых «методом обложки»). Это обусловлено тем, что понятие «погрешность» в его классическом толковании означает разницу между результатом измерения и «истинным» значением физической величины. Когда в начале 80-х годов прошлого века пришло понимание, что «истинное» значение в подавляющем большинстве случаев абсолютно недоступно, было введено понятие измерительной неопределенности. Погрешность в метрологии осталась в очень ограниченном числе случаев: а) когда «истинное» значение величины принимается по соглашению, например, величина скорости света в вакууме — на Генеральной конференции по мерам и весам в 1975 г.; б) при метрологической поверке средства измерения, когда показания эталонного прибора принимают в качестве «истинного».

В рассматриваемом документе (МУК 2.6.1.1194-03) радиационная безопасность пищевых продуктов характеризуется параметром интервальной природы, включающим измерительную неопределенность. В нем реализован принцип нормирования радиационной безопасности, соответствующий международному подходу.

Согласно [9] пищевые продукты можно признать:

а) безусловно соответствующими критерию радиационной безопасности при

$$B + \Delta B \leq 1; \quad (3)$$

б) безусловно несоответствующими критерию радиационной безопасности при

$$B - \Delta B \geq 1. \quad (4)$$

В случае

$$B + \Delta B \geq 1 \quad (5)$$

пищевые продукты нельзя признать соответствующими критерию радиационной безопасности.

Таким образом, если верхняя граница интервала показателя соответствия оказалась меньше точечного нормативного значения, безопасность, несомненно, обеспечена. Аналогично продукт безусловно опасен в радиационном отношении, если нижняя граница интервала превышает норматив. В ситуации же, когда норматив-скаляр оказывается в пределах интервального значения показателя соответствия, четкий и однозначный вывод о радиационной безопасности исследуемого продукта сделан быть не может, требуются новые, более точные измерения (с меньшей измерительной неопределенностью).

2. О нормировании метрики аварийного риска (риска ЧС)

Подобный подход может быть реализован и при нормировании аварийного (в частности, пожарного) риска. При этом, в отличие от действующего подхода, в качестве нормативного показателя следует рассматривать величину, оценивающую одновременно и вероятность аварийного события, и величину совокупного ущерба. В последнем случае комплексность означает, что подлежит обязательному учету не только гуманитарный ущерб (гибель и травмирование людей), но также материальный и экологический ущерб. В настоящее время у нас в России показатель индивидуального пожарного риска согласно Техническому регламенту [12] учитывает единственный вид ущерба пожара (взрыва) — гибель людей.

Между тем совокупный аварийный ущерб есть сумма этих трех составляющих. Однако, поскольку суммировать можно только величины с одинаковой размерностью, очевидно, что все составляющие полного ущерба аварии (чрезвычайной ситуации) должны быть выражены в рублях. Материальный ущерб измеряется в рублях, что называется, по определению, практика выражения экологического

ущерба в денежном эквиваленте в России существует уже много лет.

С гуманитарным ущербом ситуация сложнее — многих специалистов «коробит» от самой постановки вопроса о денежном эквиваленте человеческой жизни. При этом многолетняя практика страхования жизни, страховых выплат родственникам погибших их не убеждает. В Декларации Российского научного общества анализа риска [13] предложено для целей управления риском, оценки ущерба для общества от гибели человека (но не для определения суммы компенсационных выплат) принять в качестве денежного эквивалента стоимости жизни величину интервальной величиной 30—40 млн рублей. От нее можно отталкиваться при оценке денежного выражения нелетальных видов поражений при прогнозируемых авариях (ЧС) — травм и ожогов различной степени тяжести.

Существующая же система нормирования аварийного (пожарного) риска, игнорирующая все составляющие полного ущерба, кроме летального для людей, несовершенна. Предположим, в результате прогнозируемого пожара будет нанесен огромный материальный и экологический ущерб, люди не погибнут, но получают ожоги и отравления. Абсурд, но в рамках действующего подхода пожарный риск этого сценария равен нулю...

К настоящему времени предложены различные подходы к вычислению показателя аварийного риска, учитывающего оба его компонента. Самый простой и наиболее популярный из них предполагает вычисление метрики риска в виде простого произведения вероятности (субъективной) аварийного события за период один год на величину ущерба, выраженную в рублях. С учетом того, что на рассматриваемом опасном (социальном) объекте возможны несколько сценариев прогнозируемой аварии (пожара), метрику аварийного риска RR , рублей/год, следует рассчитывать как сумму

$$RR = \sum_{k=1}^n P_k \cdot U_k, \quad (6)$$

где P_k — вероятность реализации k -го сценария аварии, год⁻¹;

U_k — взвешенный совокупный ущерб в денежном выражении, причиняемый при k -м сценарии аварии, рублей;

$k = 1, 2, \dots, n$ — номер сценария аварии.

Как было показано во введении, метрика риска прогнозируемой аварии из-за наличия неопределенности всегда будет представлять собой диапазон значений и может быть выражена интервальным числом. Причем интервальную природу имеют оба компонента метрики — как «ущербный», так и вероятностный.

Представляется, что нормативное значение метрики риска аварии (чрезвычайной ситуации) также целесообразно представить интервальным числом, которое лучше, чем скалярная величина, отражает природу реального мира (техносферы). С нашей точки зрения, это нормативное значение метрики риска должно иметь размерность рублей/год.

В таком случае при управлении риском (аварии, чрезвычайной ситуации) возникнет проблема сравнения двух величин интервальной природы — рассчитанной целевой метрики и норматива. Подобная задача, вообще говоря, давно решена в рамках интервального анализа: пусть рассчитанная целевая метрика риска ЦМР есть интервал $[a, \bar{a}]$, а норматив риска НР — интервал $[b, \bar{b}]$, где a и b нижние, $\bar{a}$ и $\bar{b}$ верхние границы соответствующих интервалов.

Следует принять, что:

а) аварийная (пожарная) безопасность на рассматриваемом объекте безусловно обеспечена, если $\text{ЦМР} < \text{НР}$, что эквивалентно $\bar{a} < b$;

б) аварийная (пожарная) безопасность на рассматриваемом объекте, безусловно, не обеспечена, если $\text{ЦМР} > \text{НР}$, т.е. $a > \bar{b}$;

в) эксплуатация рассматриваемого объекта возможна при условии выполнения ряда специальных мер, повышающих его безопасность, если выражение $[a, \bar{a}] \cap [b, \bar{b}] \neq \emptyset$.

Это предложение полностью соответствует хорошо известному «принципу светофора» нормирования безопасности:

1) ситуация (а) — «зеленая» область, никаких дополнительных мероприятий не требуется, безопасность объекта обеспечена;

2) ситуация (б) — «красная» область, в предложенном виде проект не может быть реализован, эксплуатация действующего объекта должна быть запрещена, ибо он слишком опасен;

3) ситуация (в) — «желтая» область, следует реализовать подход best practice (использование наилучших из известных технологий).

Заключение

Методология анализа и количественной оценки аварийного риска (риска ЧС) продолжает совершенствоваться. Практика ее применения ставит в повестку дня все новые вопросы, требующие решения. На сегодняшний день, как показано в статье, основными проблемами методологии являются наличие неопределенности, сопровождающей любые количественные оценки риска, отсутствие утвержденных методов количественной оценки этой неопределенности, нерешенность проблемы нормирования метрик аварийного риска, выраженных интервальными числами.

В работе показано, что использование интервального анализа позволяет рассчитывать метрики аварийного риска в виде интервальных величин. Для нормирования интервальных значений аварийного риска может быть использован метод, совершенно аналогичный международному подходу к нормированию радиационной безопасности пищевых продуктов, в котором параметры также имеют интервальную природу.

Дальнейшее развитие методологии означает переход в России к интервальным значениям нормативных значений метрик аварийного риска (риска ЧС), прецеденты чего имеются в законодательстве некоторых стран. В этом случае сравнение прогнозируемых для опасного объекта и нормативных значений аварийного риска не станет проблемой, т.к. данный вопрос давно решен в рамках интервального анализа.

Литература

1. Колесников Е.Ю. Анализ техногенного риска: проблемы и неопределенности // Проблемы анализа риска. Т. 10. 2013. № 5. С. 14—20.
2. Колесников Е.Ю. Об оценке неопределенности результатов анализа техногенного риска // Проблемы анализа риска. Т. 9. 2012. № 4. С. 8—46.
3. Колесников Е.Ю. Количественная оценка неопределенности пожарного риска. Сценарий аварии «Пожар пролива ЛВЖ» // Проблемы анализа риска. Т. 11. 2014. № 4. С. 52—66.

4. Колесников Е.Ю. Качественный анализ неопределенности пожарного риска. Сценарий аварии «Пожар пролива ЛВЖ» // Проблемы анализа риска. Т. 11. 2014. № 1. С. 74—91.
5. Колесников Е.Ю. Качественный анализ неопределенности аварийного риска. Сценарий аварии «Взрыв типа BLEVE резервуара с ЛВЖ» // Безопасность труда в промышленности. 2014. № 4. С. 62—69.
6. Колесников Е.Ю. Количественная оценка неопределенности аварийного риска. Сценарий аварии «Длительное испарение пролива бензина» // Безопасность труда в промышленности. 2014. № 8. С. 78—84.
7. Young R.C. The algebra of many-valued quantities // *Mathematische Annalen*. В. 104. 1931. S. 260—290. <http://www.cs.utep.edu/interval-comp/young.pdf> (дата обращения 30.11.2015).
8. Колесников Е.Ю. Интервально-матричный метод количественной оценки пожарного риска на примере склада жидкого аммиака // Проблемы анализа риска. Т. 12. 2015. № 4. С. 28—41.
9. МУК 2.6.1.1194-03 Методические указания. Радиационный контроль. Стронций-90 и цезий-137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка.
10. JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement.
11. ГОСТ Р 54500.1-2011 (Руководство ИСО/МЭК 98-1:2009) Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководство по неопределенности измерения.
12. Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ Технический регламент «О требованиях пожарной безопасности».
13. Декларация Российского научного общества анализа риска «Об оценке стоимости среднестатистической жизни человека» // Проблемы анализа риска. Т. 4. 2007. № 2. С. 177.

Сведения об авторе

Колесников Евгений Юрьевич: кандидат физико-математических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Поволжского государственного технологического университета

Число публикаций: 80, в том числе учебников и учебных пособий — 4

Область научных интересов: методология анализа техногенного риска, количественная оценка неопределенности
Контактная информация:

Адрес: 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

Тел.: +7 (362) 268-28-76

E-mail: e.konik@list.ru