

СТАТЬИ

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОНЯТИЯ РИСКА В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Б.Г. Гордон, директор НТЦ ЯРБ, доктор технических наук

1. Любая научная дисциплина отличается прежде всего предметом, методом и терминологией. Начнем с терминов. Создавая собственный язык для прикладных естественных наук, ученые, как правило, не занимаясь словотворчеством, заимствуют терминологию из фундаментальной науки и из практики языка. При этом значения обиходных слов могут дополняться, расширяться и всегда уточняются. Канонические определения научных терминов перемещаются из толковых словарей русского языка в специализированные научные словари и в учебники.

Для последнего десятилетия в России характерно бурное законотворчество, сами законы играют возрастающе важную роль в жизни общества. На федеральном уровне установлена иерархия нормативных правовых актов: Конституция, международные договоры и соглашения, конституционные и федеральные законы, указы и распоряжения Президента, постановления и распоряжения Правительства. Часто в этих документах содержатся определения терминов. К сожалению, законотворческую деятельность пока нельзя назвать планомерной и согласованной, но предпринимаются усилия по упорядочению используемой терминологии. **Актуальным становится приведение новых учебников, научных книг и статей в соответствие с терминологией нормативных правовых актов.**

В действующих федеральных законах и нормативных документах содержатся определения различных видов безопасности: промышленной, пожарной, ядерной и т.п. Общее понятие безопасности определено в [1], как “состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз”. Строгое следование нормативным определениям не является буквоедством или начетничеством. Введите в это определение, например, слова “будущих поколений”, как содержание понятия существенно расширится. Вообще от четкости нормативных документов во многом зависит вся наша жизнь. Неточное или ошибочное определение способно затормозить или даже уничтожить технологию. Поэтому далее будем строго использовать понятие, приведенное в [1].

В ряде законопроектов уже предлагается использовать понятие риска, тесно связанное с безопасностью. При этом следует четко определять, о каких рисках идет речь: риск смерти, потери трудоспособности, аварии и т.п., что зачастую не делается. Чтобы количественно охарактеризовать степень защищенности, вводится понятие риска P , как произведение вероятности события V на величину его последствий $П$:

$$P = VP.$$

Я специально не использую привычные математические обозначения, чтобы подчеркнуть, что проблема – в понимании, а не в математике. Любая промышленная технология опасна для человека и окружающей среды. В [2] основным принципом охраны окружающей среды является презумпция экологической опасности планируемой хозяйственной деятельности, и понятно желание оценить величину опасности для сравнения технологий между собой по этому признаку.

Как в материальном мире есть свои закономерности и случайности, так и **опасности имеют детерминистскую и вероятностную природу**. Космическое излучение постоянно пронизывает нашу планету, но мы можем измерить его величину и защититься от него в специальных укрытиях. Воздух содержит множество вредных примесей, и чтобы избежать их воздействия, следует воспользоваться очистителями или противогазами. Санитарные правила устанавливают предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и дозы излучений, специальные службы следят за соблюдением требований этих правил, регулирующих детерминистские воздействия. Однако если на Солнце происходит вспышка или на производстве авария, то не исключено воздействие на людей повышенных концентраций и доз. Эти события имеют вероятностную природу, и **величины их вероятности** можно оценить.

Последствия же опасных воздействий для здоровья и жизни человека обязательно имеют вероятностную природу: одни в опасных условиях заболевают, другие – нет. Может быть, и отношение к опасности не всегда осознанно. Статистика утверждает, что в силу широкого развития автомобилестроения больше всего людей погибает в автомобильных катастрофах. Но мы спокойно садимся в автомобили и переходим улицы, надеясь избежать этой опасности. В ряде городов концентрации вредных веществ многократно превышают ПДК, но люди продолжают в них жить. И чтобы выбор был осознан, нужно изучать, описывать, рассчитывать опасные воздействия, а результаты изучения желательно представлять в единых понятиях и общих терминах.

Четкость терминологии лежит в основе как постановки научных задач, так и принятия регулирующих решений. Характерным примером является толкование понятия риска, которое не всегда определяется в соответствии с приведенной выше формулой. Так, в [2] “экологический риск – вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для окружающей среды ...”. То есть последствия события в этом определении не рассматриваются. Конечно, самое простое – лишний раз охватить закон и законодателей. Но процедура принятия законов такова, что все они на определенных стадиях разработки согласуются всеми заинтересованными ведомствами. И при подобном подходе не исключена постановка нами под сомнение компетентности своих коллег.

Для обсуждения я бы предложил такое решение. Поскольку понятия вероятности и риска непременно требуют дополнения (риск чего), то говорить просто о рисках некорректно. Поэтому, когда употребляется термин “риск события”, “риск аварии”, “риск смерти” или “риск потери трудоспособности” и т.п., подразумевается произведение вероятности события на величину его последствия, выраженную в общих единицах: рублях, количестве злокачественных новообразований и т.п. Когда же используется термин “экологический риск”, то подразумевается именно вероятность неблагоприятных последствий. Может быть, введя подобное определение, законодатель имел в виду то очевидное обстоятельство, что величину последствий событий, нарушающих экологию, пока считать мы еще не умеем. При таком подходе нет противоречий закона и научной практики. Но, разумеется, для предложенного толкования необходимы совместные обсуждения и согласие специалистов.

Здесь уместно одно замечание. С моей точки зрения, в [3] допущена терминологическая неточность: целевые показатели безопасности 10^{-5} и 10^{-7} (1/реактор-год) названы соответственно суммарной **вероятностью** тяжелых запроектных аварий и **вероятностью** предельного аварийного выброса. Неточность указанных определений очевидна, если вспомнить, что вероятность – безразмерная величина, характеризующая возможность наступления события при определенных условиях. Приведенные же показатели безопасности являются, строго говоря, **частотой** тяжелого повреждения активной зоны и поэтому имеют размерность 1/реактор-год. Кстати, в англоязычной литературе используется термин “*frequency of core damage*” – частота плавления активной зоны (ЧПЗ), а не *probability* – вероятность, хотя методика расчета этой частоты называется *probabilistic safety analyse (PSA)* – вероятностный анализ безопасности.

Указанная неточность не имеет большого значения в вероятностных оценках, с помощью которых рассчитывают ЧПЗ для конкретной реакторной установки, исходя из надежности ее оборудования и элементов, приведенной к периоду в один год. То есть, когда при научном анализе применяются те же идеология и размерность, что и в [3]. Замечу, такой же подход использован в [4].

2. Из предыдущих рассуждений понятно, что для конкретизации предмета науки о рисках необходимо оценить детерминистскую и вероятностную составляющие риска. Детерминистская составляющая риска имеет $B = 1$, но если воздействие ниже ПДК, то $L = 0$. Проблемы возникают при расчете вероятностной составляющей, когда необходимо знать как вероятность возможных аварий, так и величину их последствий. Именно **в расчетах вероятностей аварий проявляется принципиальное отличие области использования атомной энергии от иных промышленных отраслей.**

Сущность этого отличия состоит в том, что **в промышленности аварии происходят, а в атомной энергетике – предупреждаются.** Разумеется, в промышленности также стремятся к предупреждению аварий, но они все-таки происходят. В атомной же энергетике аварии случаются, слава Богу, чрезвычайно редко. Такое отличие сложилось исторически в результате развития атомных энергетических технологий, матерью которых была ядерная бомба. Последствия ядерных взрывов были столь чудовищны, что с рождения атомной энергетики основное требование, предъявляемое ко всем объектам использования атомной энергии, было недопущение, предотвращение ядерных аварий. По существу, в атомной энергетике сформировалось научное направление “ядерная и радиационная безопасность”, содержащее концепции консервативного подхода и глубоководной защиты (ГЭЗ), классификацию аварий по масштабам их последствий, мероприятия по предупреждению аварий и методы управления ими и, наконец, методы расчета вероятности и риска аварий.

3. Это научное направление может стать элементом общей науки о безопасности [5]. Хотя ее название “адейлогия” вряд ли приживется в русском языке, основные идеи [5] представляются весьма продуктивными и своевременными. Стремление к системному подходу, постепенный отказ от использования “неизмеряемых оценок для описания состояния и проблем безопасности”, разработка аксиоматики – свидетельства того, что многие элементы этой науки уже имеются в промышленности. Когда наши коллеги из МЧС или Госгортехнадзора говорят о предупреждении чрезвычайных ситуаций, то имеют в виду меры по уменьшению их количества. В промышленных отраслях частота аварий – величина статистическая, а в атомной – рассчитывается с использованием специальных сложных методик, учитывающих надежность оборудования, его технологические связи, опыт эксплуатации. В промышленных отраслях правила пишутся кровью, в атомной – на базе широкого расчетно-экспериментального моделирования аварийных условий. Иными словами, **в обычной промышленности и в атомной методы расчета вероятности аварий принципиально различны**, так как в одном случае аварии могут наблюдаться, в другом – только рассчитываться. Поэтому для вычисления их частот используются разные математические аппараты.

Для примера рассмотрим пожары. Согласно [6], в 2001 г. в стране зарегистрировано 246341 пожар на производстве, в природе и в быту, в которых погибло 18289 человек. Материальные потери от пожаров составили более 45 млрд. руб.

Для отдельного производства или отдельного человека существует вероятность возгорания или смерти от пожара. Но для общества в целом и количество пожаров, и количество смертей – это детерминистские величины, зависящие от культуры безопасности, состояния противопожарных мер и средств, профилактических мероприятий, климатических условий, техники безопасности и т.п. Специальные службы регулярно подсчитывают их и включают в статистическую отчетность. Сопоставление данных за год позволяет экстраполировать тенденции на будущее, и только тогда возникают понятия вероятности и риска. То есть специалисты в области пожарной безопасности регистрируют произошедшие события и разрабатывают меры по снижению их количества, в том числе и по предупреждению пожаров.

Вместе с тем в общепромышленных методиках также существует различная методология, неоднозначное представление сведений о риске аварий, используются разные методы расчета. Например, вероятность погибнуть в авиакатастрофах в ряде случаев рассчитывается как отношение числа погибших

к числу авиапассажиров, а вероятность смерти в автокатастрофах – как отношение числа погибших к общей численности населения страны. Сами по себе эти показатели характеризуют аварийность в отрасли не более, чем средняя температура по больнице. Судите сами: какое значение для сельского населения имеет среднее по стране число погибших в автокатастрофах? Но и сопоставление опасностей в разных отраслях промышленности также весьма спорно. Число авиапассажиров может быть выше численности населения страны, и сравнение относительных величин смертельных исходов по отрасли мало о чем свидетельствует. Очевидна некорректность сопоставления этих величин.

Известно высказывание, приписываемое Дж. Ст. Миллю: “Есть три вида лжи: простая ложь, наглая ложь и статистика”. Думается, что столь уничтожающая критика оправдана отчасти, особенно, при сопоставлении статистических данных, полученных по разным методикам. Хотя существуют два очевидных правила, следуя которым статистика могла бы реабилитироваться.

Первое из них: статистически учитываемые события должны быть однородны. Например, нельзя сравнивать абсолютные значения нарушений эксплуатации в двух отраслях промышленности, в которых различны применяемые правила, определяющие понятие нарушения. Даже для одной атомной отрасли это не всегда корректно. Так, в 1998 г. пересмотрен нормативный документ, устанавливающий правила и порядок расследования нарушений. Некоторые из них, прежде считавшиеся цеховыми и не учитывавшиеся в статистике, признаны станционными. В 1999 г. количество нарушений на АС резко увеличилось, что позволило недобросовестным или некомпетентным лицам обвинить в этом руководство концерна и Минатома. На самом же деле Госатомнадзор и Минатом лишь ужесточили методику учета нарушений, количество которых, кстати сказать, с 1999 г. неуклонно снижается.

Второе правило гласит: при подсчете относительных статистических величин правила нормирования должны быть одинаковыми. Очевидно, что, например, число смертельных случаев на каком-либо виде транспорта может быть отнесено к числу транспортных происшествий, к числу пассажиров, к общей численности населения страны. Будут получены разные относительные значения, каждое из которых имеет собственный смысл, но непригодно для сравнения между собой и тем более с вероятностью смертельного исхода в атомной отрасли.

В литературе часто встречаются таблицы вероятностей смертельных случаев для разных отраслей промышленности, но я ни разу не встречал комментариев к ним, раскрывающих методику подсчета и нормирования учитываемых случаев. Подобные таблицы искажают оценку реальных событий.

В последние годы в химической, нефтегазовой, авиационной промышленности развивается вероятностный анализ безопасности (ВАБ), основанный на базах данных о надежности оборудования и использовании “деревьев отказов”. Разумеется, данные о надежности основаны на статистике отказов, но **одно дело рассчитывать по статистике отказов вероятности возможных аварий, другое – экстраполировать статистику произошедших аварий на возможные.** Я весьма пунктирно слежу за работами в области промышленной безопасности, поэтому мое впечатление односторонне и ограничено. Но, как мне кажется, вероятностный анализ промышленной безопасности в основном используется для проектируемых объектов, статистические расчеты вероятности – для действующих. Поэтому следует очень осторожно сопоставлять конечные результаты вероятностей, полученные принципиально различными методами.

В отраслях промышленности, где есть условия для верификации вероятностных методов, регистрируется достаточное количество происшествий со смертельным исходом, в отличие от атомной отрасли, где, к счастью, таких событий практически нет с 1987 г. Я имею в виду методический подход, который в атомной отрасли называется “стандартной проблемой безопасности”. Суть его состоит в следующем. Скажем, для определенного типа самолета в авиационной промышленности создается база данных о надежности оборудования, строятся по всем правилам ВАБ “деревья отказов”, рассчитывается вероятность смертельных случаев, а коэффициенты в расчетных программах подбираются по результатам уже произошедших аварий в прошлые годы. И делается прогноз на следующее время, по истечении которого он проверяется по количеству произошедших аварий (так называемый постстатистический расчет).

Только после такой широкомасштабной верификации вероятностные методы в отраслях промышленности могут быть признаны обоснованными.

В тех же случаях, когда для действующих и проектируемых объектов проводится ВАБ по одинаковым расчетным методикам, следует помнить, что для действующих объектов применяется специфическая база данных о надежности используемого на этих объектах оборудования, для проектируемых – обобщенная база данных о надежности оборудования, которое предполагается использовать. Различие указанных баз данных может привести к отличиям в расчетах вероятности.

В атомной энергетике также ведется статистика нарушений нормальной эксплуатации и статистика отказов оборудования, важного для безопасности. На основании этих данных математически моделируются так называемые “деревья событий”, которые могут привести к авариям. При этом используются мощные программные средства, моделирующие всю реакторную установку, строящие деревья технологических отказов, и рассчитываются частоты тяжелых запроектных аварий (ВАБ-1) и предельного аварийного выброса (ВАБ-2). Все имеющиеся экспериментальные данные ложатся в основу верификации этих программных средств с целью адекватного описания конкретной реакторной установки. Чтобы отличать вероятность аварий, рассчитанную по статистике аварий, от вероятности аварий, рассчитанной с помощью ВАБ, предложено первую называть **реальной**, апостериорной, вторую – **виртуальной**, априорной.

Сравнительно недавно в истории ядерной энергетике произошло знаменательное событие: общее время работы ядерных реакторов превысило 10^4 реактор-год. В “зеленой” прессе этот факт связали с тем, что действующие российские АС имеют среднюю ЧПЗ порядка 10^{-4} , и сделали вывод о неотврати-

мости возникновения аварии с плавлением активной зоны. Ошибочность подобного подхода оставляет повод для дискуссий.

Если конкретный реактор имеет ЧПЗ порядка 10^{-5} (1/реактор-год), а именно такова величина целевого показателя, к которому следует стремиться, то за 30 лет работы вероятность тяжелой запроектной аварии (или, строго говоря, математическое ожидание этого случайного события) не может быть оценена величиной $3 \cdot 10^{-4}$. И дело не в том, что рассчитываемое значение ЧПЗ 10^{-5} имеет погрешность величиной в порядок, а в том, что в течение 30 лет на реакторной установке непременно происходит ряд разноплановых событий: оборудование стареет, его ремонтируют, заменяют, так же, как персонал обучается, повышает квалификацию, тренируется. А человеческий фактор является важным вкладчиком в величину ЧПЗ. Как отмечено выше, ЧПЗ рассчитывают, исходя из сегодняшнего состояния оборудования и базы данных о произошедших отказах.

Скажем, продление срока службы до 50 лет не позволяет сделать вывод о вероятности, равной $5 \cdot 10^{-4}$, так как одновременно осуществляется модернизация и, строго говоря, **реактор становится уже не тем объектом, что был прежде**, и для него надо вновь выполнять ВАБ с учетом результатов модернизации, как это сделано, например, при продлении срока службы 3 блока Нововоронежской АЭС. События, происходящие на одном реакторе, в очень малой степени зависят от происходящих на другом. То есть эти события неоднородны, и **объекты, на которых они могут произойти, математически не принадлежат к одному множеству ядерных реакторов**. Поэтому значения вероятностей не должны просто складываться.

Я уже писал в [7] о недостаточной отлаженности современного отечественного ВАБ АС. Его методология требует согласованного нормативного подхода к получению исходных данных и использованию программных средств. Пока это метод сопоставления различных состояний одной и той же реакторной установки, а не сопоставления безопасности этих установок. Думаю, что ВАБ, выполняемый для западных АС, имеет те же особенности, но для подтверждения указанного тезиса я не располагаю достаточной информацией.

Те же самые соображения можно высказать при оценке величины последствий аварий, которые в обычной промышленности реальны, в атомной энергетике – виртуальны. Возьмем приведенный выше пример с пожарами. 45 млрд. руб. – сумма, более чем в 10 раз превышающая бюджет МЧС на 2001 г. То есть, предотвратив хотя бы 10 % пожаров, спасатели полностью оправдали бы все затраты на свое существование. Это реальные потери.

В атомной же энергетике еще только обсуждаются методики расчета последствий возможных аварий, а основные усилия специалистов отрасли направлены на предупреждение аварий и обеспечение безопасности.

Все вышесказанное можно представить в виде таблицы, где знаки “+” и “-” означают используемые и не используемые на сегодняшний день в России методы расчета рисков потери трудоспособности. Таблица суммирует сделанные выше выводы.

Виды объектов	Методы расчета рисков		
	В отраслях промышленности		В атомной промышленности
	Статистические	ВАБ	ВАБ
Действующие	+	±	+
Проектируемые	-	+	+

Таким образом, если даже в одной отрасли промышленности не развиты адекватная терминологическая и математическая основы для сравнения объектов, то **не следует сравнивать вероятности и риски аварий на объектах, принадлежащих к разным отраслям промышленности**. И все попытки подобного рода надо признать преждевременными.

4. В середине 90-х годов в нашем институте выполнены две интересные и передовые для того времени НИР, направленные на количественную оценку безопасности АС по результатам анализа нарушений эксплуатации. Одна посвящена рейтингам нарушений, другая – предвестникам аварий. Ознакомиться с подходами этих работ можно в [8]. Авторы исходят из предпосылок, что, хотя нарушений эксплуатации сложного объекта существенно больше, чем аварий, само по себе численное значение нарушений не позволяет судить о величине безопасности. Для определения тяжести нарушений (продвинутой нарушения на цепочке событий) надо проанализировать аварийные последовательности событий и использовать теорию надежности. И если вероятность возможного перехода нарушения в аварию выше, то такое нарушение тяжелее и имеет более высокий рейтинг. В случае фиксирования K нарушений с рейтингом R_k за период эксплуатации Δt количественный показатель, характеризующий безопасность, вычисляется как сумма R_k :

$$R_{\Sigma}(\Delta t) = \sum_{k=1}^K R_k .$$

Подобные нарушения эксплуатации с наибольшими значениями рейтинга нарушений называются предвестниками аварий. Авторы понимают, что, помимо статистических неопределенностей, в оценке R_k есть неопределенности, связанные с неполнотой возможных сценариев перерастания нарушений в аварии. Это существенно, поскольку отмеченная неполнота является следствием не только недостатков базы данных о нарушениях, но и обусловлена ограниченностью наших знаний об аварийных сценариях. Здесь я повторяю свой давний тезис: **самые тяжелые аварии происходили по сценариям, не предусмотренным в проектах, невероятным с точки зрения инженерного здравого смысла, в чем и состоит их главная опасность.** При этом, по сути дела, нарушался принцип единичного отказа, лежащий в основе детерминистских обоснований безопасности. Крупные аварии происходили при наложении нескольких независимых отказов, включая непременно ошибки персонала.

Может быть, поэтому рассматриваемые НИР не воспринимались экспертами, создававшими базы данных о нарушениях на АС в регулирующем органе и эксплуатирующих организациях. Дело не только в том, что ученые-технологи, зная практику производства энергии на АС, были поверхностно знакомы со статистическими методами теории надежности, рафинированной математикой анализа редких событий. Их практический здравый смысл отторгал результаты указанных НИР примерно по той же причине, по которой рукоятка топора не украшается золотыми инкрустациями и драгоценными камнями.

Ученые-практики прекрасно осведомлены о том, что данные о нарушениях не полны, искажены, человеку невозможно заранее предвидеть поведение другого человека-оператора в экстремальной ситуации управления объектом при непредусмотренном нарушении эксплуатации. Именно человеческим фактором во многом обусловлена неопределенность ВАБ.

Прибегну к использованной ранее аналогии. ГЭЗ представляет собой систему технических и организационных мер. Если бы существовала количественная характеристика состояния ГЭЗ, то она была бы количественной мерой безопасности. Но указанная характеристика комплексная. Как и в теории комплексных чисел, которые сравниваются только по модулю, задача количественного определения безопасности состоит в поиске количественных характеристик технических и организационных мер, в разработке модели расчета модуля. То есть разработать методику количественного определения безопасности может лишь команда, состоящая из технологов, математиков, медиков, психологов. И, как говорится, дай Бог им удачи.

Предстоит еще большая совместная работа по согласованию терминов, научных подходов и расчетных моделей. Только по ее завершении понятие риска может быть обоснованно использовано в научной практике. Работа представляется весьма актуальной и своевременной. Развитие страхового дела в России только начинается, и наши страховые компании пока находятся в невыигрышном положении. На Западе неправомочно завышают вероятности аварий на российских объектах использования атомной энергии, в связи с чем страховые выплаты предприятий на деле получаются выше и последние отказываются от страховки. Совершенствование отечественных методов расчетов риска аварий имеет вполне материальный выход, и страховым компаниям выгодно вкладывать средства в эту научную деятельность.

Существуют исследования, по результатам которых делается заключение о том, что радиационные риски потери трудоспособности в сотни раз ниже, чем общепромышленные. На этой базе формируется мнение об эффективности вкладывания средств в развитие дорог, безопасность авто- и авиоперевозок, в медицину, в другие промышленные производства для общества, чем в безопасность объектов использования атомной энергии. Я также придерживаюсь сходной позиции, но с двумя оговорками.

Из приведенного выше следует, что я с большим скептицизмом отношусь к сопоставлению рисков, рассчитанных для разных объектов разными методами, и не могу признать такие выводы достаточно обоснованными. И второе. Безопасность объектов использования атомной энергии приоритетна для государства, развивающего современные типы ядерных установок. **Безопасность не может ущемляться и должна соответствовать государственным требованиям к ее обеспечению.** Общество должно стремиться к снижению рисков жизни и потери трудоспособности всех своих членов. Это перспективная задача нашей страны.

Список использованной литературы

1. Закон Российской Федерации "О безопасности" от 6 мая 1992 г. № 2446-1.
2. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10 июня 2002 г. № 7-ФЗ.
3. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ-88/97.
4. Доклад международной консультативной группы по ядерной безопасности МАГАТЭ. INSAG-5. Вена, 1993.
5. Клебанов Ф.С. О современной концепции безопасности//Безопасность труда в промышленности. 2002. № 6.
6. Серебренников Е.А. Динамика оперативной обстановки с пожарами в Российской Федерации. Пожары и окружающая среда. Материалы XVII международной конференции. ВНИИПО. М., 2002.
7. Гордон Б.Г., Истомина Н.Н., Чулкова Т.Ю. Об актуальных методологических проблемах в области использования атомной энергии // Вестник Госатомнадзора России. 2001. № 6.
8. Александровская Л.Н., Аронов И.З., Елизаров А.И. и др. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем. М.: Логос, 2001.