

Техногенный риск: вопросы методологии

Колесников Е.Ю.,
Санкт-Петербургский
политехнический университет
имени Петра Великого,
194064, Россия, Санкт-
Петербург,
ул. Политехническая, 29

Аннотация

Понятия риска и так называемого риск-ориентированного подхода в настоящее время очень популярны в самых разных сферах общественной жизни. Успех реализации этого относительно нового подхода во многом определяется качеством его методологической и методической проработки. Между тем тщательный анализ действующей отечественной нормативно-правовой базы показал, что важнейшие вопросы методологии этого подхода далеки от удовлетворительного решения, что вызывает избыточную неопределенность получаемых с его помощью количественных оценок. Эта неопределенность, наличие которой обычно не осознается, в преобладающей своей части имеет субъективное происхождение. Именно возможность получения количественной меры опасностей разного рода, допускающая их сравнение и ранжирование, делает этот подход столь привлекательным и перспективным. В статье проанализирована действующая отечественная методологическая основа анализа и количественной оценки техногенного риска, двух его видов и шести разновидностей. Рассмотрены имеющиеся альтернативные варианты оценки возможности наступления неблагоприятных событий и основные нерешенные проблемы оценки их масштаба.

Статья состоит из трех частей, объединенных методологическим анализом актуальной отечественной нормативной базы понятия техногенный риск, его видов и разновидностей: а) в первой ее части подробно анализируются методологические подходы к трактовке шести разновидностей техногенного риска, отмечаются проблемы каждой из них; б) вторая часть статьи посвящена анализу способов оценки такой составляющей техногенного риска, как возможность наступления нежелательного события (причинения ущерба); в) в третьей части статьи анализируется проблема оценки другой его составляющей — размера ущерба.

Ключевые слова: риск; риск техногенный; методология; оценка возможности события; оценка последствий события.

Для цитирования: Колесников Е.Ю. Техногенный риск: вопросы методологии // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 6. С. 40–65.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Technogenic Risk: Issues of Methodology

Evgeny Yu. Kolesnikov,

Peter the Great St. Petersburg
Polytechnic University,
Polytechnicheskaj str., 29,
St. Petersburg, 194064, Russia

Abstract

The concepts of risk and the so-called risk-based approach are currently very popular in a wide variety of areas of public life. The success of this relatively new approach is largely determined by the quality of its methodological and technical elaboration. Meanwhile, a thorough analysis of the current domestic regulatory framework has shown that the most important issues of the methodology of this approach are far from a satisfactory solution, which causes excessive uncertainty in the quantitative estimates obtained with its help. This uncertainty, the presence of which is usually not recognized, in its predominant part has a subjective origin. It is the possibility of obtaining a quantitative measure of dangers of various kinds, allowing their comparison and ranking, that makes this approach so attractive and promising. The article analyzes the current domestic methodological basis for the analysis and quantitative assessment of the technogenic risk of its two types and six varieties. The available alternative options for assessing the possibility of adverse events and the main unresolved problems of assessing their scale were considered.

The article consists of three parts, united by a methodological analysis of the current domestic regulatory framework of the concept of technogenic risk, its types and varieties: a) in its first part, methodological approaches to the interpretation of six varieties of technogenic risk are analyzed in detail, the problems of each of them are noted; b) the second part of the article is devoted to the analysis of methods for assessing such a component of technogenic risk as the possibility of an undesirable event (damage); c) the third part of the article analyzes the problems of assessing its other component — the amount of damage.

Keywords: risk; technogenic risk; methodology; assessment of the possibility of an event; assessment of the consequences of the event.

For citation: Kolesnikov E. Yu. Technogenic risk: issues of methodology // Issues of Risk Analysis. 2024;21(6):40-65. (In Russ.).

The author declares no conflict of interest.

Содержание

Введение

1. Толкование понятия техногенного риска
2. Виды и разновидности техногенного риска
3. Современное состояние методологии анализа и оценки разновидностей техногенного риска
4. Способы оценки возможности наступления последствий (причинения ущерба)
5. Методологические проблемы оценки величины последствий (ущерба)

Заключение

Список источников

Введение

Намеренно не касаясь использования понятия *риск* в повседневной жизни, рассматривая его применение исключительно в рамках научно обоснованного риск-ориентированного подхода к решению самого широкого круга задач, мы вынуждены констатировать отсутствие консенсуса среди специалистов по вопросу толкования базового ключевого понятия — методология риска.

Большая часть имеющихся трактовок всех разновидностей риска прочно ассоциирует его с вероятностью (события, причинения ущерба или вреда). Авторы этих толкований, по-видимому, полагают, что понятие вероятность является почти что самоочевидным, поскольку его определения не приводят. Однако при некотором размышлении становится ясно, что оба этих понятия с точки зрения методологии до сих пор определены настолько недостаточно, что это серьезно затрудняет корректное выполнение количественных оценок риска.

Международный стандарт, принятый в качестве национального российского стандарта, дает следующую дефиницию: *риск — это влияние неопределенности на достижение поставленных целей*¹. Если под поставленной целью понимать не только экономический результат (успех инвестиционного проекта или финансовые итоги страховой деятельности компании), но и обеспечение безопасности в самых различных ее аспектах, то предложенное толкование станет универсальным, причем настолько же бесспорным, насколько и бесполезным. Бесполезным потому, что оно не содержит алгоритма, формулы, как придать риску количественное измерение. А без этого важнейшего условия «менеджмент риска» означает всего лишь альтернативу классическому детерминированному подходу, при котором при задании ряда исходных данных задачи можно рассчитывать на получение вполне определенного результата. Альтернативу, допускающую из-за наличия неопределенности множественность исходов. В подобной трактовке «менеджмент риска» является не более чем пустой словесной конструкцией. Причем конструкцией неудачной, потому что понятие риска есть категория оценочная, призванная оценить (качественно, полуколичественно или количественно)

опасности разного рода. В этой связи правильнее говорить об управлении (менеджменте) опасными факторами, собственно и создающими опасность.

Понятие *риск* приобретает наибольшую полезность, когда ему придан количественный аспект, делающий возможным выполнение расчетов, математическое моделирование, являющееся третьим (наряду с теоретическим и экспериментальным) самым эффективным в настоящее время видом научного метода. Качественный и полуколичественный способы оценки риска также позволяют охарактеризовать его величину, но со значительно большей неопределенностью.

Видов риска, используемых сегодня в различных областях общественной жизни, немало, едва ли возможно предложить для них универсальные алгоритмы выполнения анализа и оценки. Успех получения количественных оценок конкретного вида риска (точнее — его показателей), величина неопределенности полученных при этом результатов зависят от множества причин, в том числе от того, насколько:

- обосновано понятие с методологической точки зрения;
- тщательно методически разработаны рекомендованные процедуры их выполнения.

К настоящему времени из всего многообразия видов риска оба этих важнейших аспекта проблемы лучше всего проработаны для техногенного риска. Важнейшим обстоятельством является то, как понятие техногенного риска трактуется документами действующей российской нормативно-правовой базы, насколько тщательно оно проработано с методологической точки зрения. Именно это во многом определяет успех функционирования риск-ориентированного подхода в области техносферной безопасности в России в целом. С учетом этого соображения из всего многообразия литературных источников автор сосредоточился на методологическом анализе действующей нормативно-правовой базы, образуемой действующими отечественными нормативно-правовыми актами (НПА) и нормативными документами (НД).

1. Толкование понятия техногенного риска

Проанализируем методологический аспект, исследуя, как понятие техногенного риска трактуется в нормативной литературе. Как известно, для обеспечения

¹ ГОСТ Р 51897-2021 (ISO Guide 73:2009) «Менеджмент риска. Термины и определения».

гарантированного права своих граждан на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду государство реализует целый комплекс мер, одной из важнейших среди которых является создание максимально совершенной нормативно-правовой среды, адекватной существующим угрозам. Для решения этой задачи государственные органы законодательной и исполнительной власти принимают документы, обязательные к исполнению, называемые *нормативными правовыми актами* — «официальные документы, принятые (изданные) в определенной форме правотворческим органом в пределах своей компетенции и направленные на установление, изменение и отмену правовых норм»².

Наряду с понятием нормативного правового акта, существует понятие *нормативного документа*, каковым является любой документ, устанавливающий правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности и/или их результатов³. К числу НД относятся стандарты, своды правил, технические условия и т.д. Юридическая сила нормативных документов меньше, чем НПА, поскольку они могут носить рекомендательный характер.

Объединяющим началом для НД и НПА является то обстоятельство, что они разрабатываются коллективом профессионалов, проходят соответствующую экспертизу и процедуру утверждения. И это выгодно отличает их от произведений научной и учебной литературы, которые, как показывает опыт, могут быть совершенно разного качества.

Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ дал одно из самых удачных на сегодня развернутое толкование риска [техногенного]: «*риск — вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда*»⁴.

В свою очередь, российский стандарт (НД), гармонизированный со стандартом МЭК, предложил более лаконичную трактовку понятия риска (риска технологических систем): «*риск — это сочетание*

вероятности события и его последствий»⁵. Такая трактовка техногенного риска является общей для целой группы отечественных НД, посвященных анализу и оценке техногенного риска.

Таким образом, техногенный риск (дословно «рожденный техникой») — оценочное понятие для оценки опасности всего многообразия ситуаций, возникающих в процессе функционирования объектов техносферы и чреватых причинением ущерба людям, компонентам природной среды и материальным ценностям.

2. Виды и разновидности техногенного риска

Обычно техногенный риск рассматривают в довольно узком смысле, применительно к техногенным чрезвычайным ситуациям (авариям, взрывам и пожарам, выбросам и сбросам опасных веществ). В представленной статье это понятие трактуется шире. Мы проанализируем два его вида и шесть разновидностей.

Как известно, объекты техносферы могут функционировать в двух режимах: штатном и аварийном. При этом в обоих случаях они, как правило, причиняют определенный ущерб среде обитания человека, его здоровью и благополучию, а также благополучию других биологических видов:

1. Аварийный режим (режим техногенной чрезвычайной ситуации) на объектах техносферы, как правило, характеризуется скоротечностью и высокими уровнями воздействия, его опасность оценивается техногенным риском первого вида, имеющим три разновидности:

- риск техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС);
- аварийный риск;
- пожарный риск (в части оценки опасности взрывов и пожаров на производственных объектах).

2. Штатный, безаварийный режим работы объектов техносферы, сопровождающийся: выбросом и сбросом загрязняющих веществ; образованием твердых производственных (ТПрО) и коммунальных (ТКО) отходов; энергетическим загрязнением среды (тепловым, акустическим, электромагнитным, радиоактивным). Перечисленные негативные факторы обычно

² <http://pravo.minjust.ru> (дата обращения: 15.02.2024).

³ ГОСТ 1.1-2002 «Межгосударственная система стандартизации. Термины и определения».

⁴ ФЗ РФ от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

⁵ ГОСТ Р 51901.1-2002 Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем (МЭК 60300-3-9:1995 Управление надежностью. Часть. 3. Руководство по применению. Раздел 9. Анализ риска технологических систем).

имеют относительно незначительные уровни, однако действуют они на протяжении длительного времени и способны причинить среде обитания определенный ущерб. Опасность этого режима работы объектов техносферы характеризует второй вид техногенного риска, также имеющий три разновидности:

- 1) профессиональный риск;
- 2) риск здоровью населения;
- 3) экологический риск.

Первые три разновидности техногенного риска используются для анализа и количественной оценки опасности ситуаций, когда на некоторой территории из-за нештатного поведения технического объекта возникает обстановка, «которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и/или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей»⁶. Развитие событий в подобных ситуациях обычно характеризуется быстротечностью и значительным масштабом. Типичные представители подобных ситуаций: аварийный (залповый) выброс опасного вещества из технологического оборудования; взрыв и/или неконтролируемое горение опасного вещества вне специального очага.

Четвертая, пятая и шестая разновидности техногенного риска оценивают негативное воздействие объектов техносферы на здоровье персонала, популяционное здоровье (здоровье населения) и биоту в режиме их штатного функционирования. В частности, понятие профессионального риска используется для оценки опасности производственной среды для персонала технических (производственных, коммунальных, транспортных и т.д.) объектов. Эта опасность создается либо уже имеющимися в наличии в рабочей зоне вредными факторами (что может привести со временем к профессиональным заболеваниям), либо потенциальными опасными факторами возможной травмоопасной ситуации, чреватой получением работниками травмы.

Предназначение понятий риска здоровью населения и экологического риска — оценка вреда (ущерба) человеческой популяции и прочим биологическим видам, причиняемого долговременными выбросами и сбросами в окружающую среду загрязняющих

химических, биологических и радиоактивных веществ, размещением твердых отходов, при оказании на нее хронического воздействия физической природы (создание шума, вибрации, электромагнитного излучения и т.д.). Несмотря на то, что создаваемые при этом уровни вредных факторов обычно относительно невелики из-за большой продолжительности их действия, величина причиняемого ущерба может быть значительной.

3. Современное состояние методологии анализа и оценки разновидностей техногенного риска

Проанализируем, насколько совершенна проработка всех шести вышеназванных разновидностей техногенного риска с методологической точки зрения, включая методическую базу выполнения их анализа и количественной оценки, изложенную в действующих НД и НПА.

3.1. Риск техногенной чрезвычайной ситуации

Федеральный закон⁷ толкования риска ЧС не содержит, а согласно российскому стандарту риск чрезвычайной ситуации — это мера опасности чрезвычайной ситуации, сочетающая вероятность возникновения чрезвычайной ситуации и ее последствия⁸. Кроме того, этот стандарт вводит понятия количественных показателей:

а) индивидуального риска ЧС — количественного показателя риска чрезвычайной ситуации, определяемого как вероятность гибели на рассматриваемой территории за год отдельного человека в результате воздействия всей совокупности поражающих факторов источников чрезвычайной ситуации;

б) социального риска ЧС — количественного показателя риска чрезвычайной ситуации, определяемого как вероятность гибели на рассматриваемой территории за год одновременно более чем десяти человек в результате возможного воздействия всей совокупности поражающих факторов источников чрезвычайной ситуации. Следует отметить, что такая

⁶ ФЗ РФ от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

⁷ ФЗ РФ от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

⁸ ГОСТ Р 55059-2012 БЧС. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Термины и определения.

трактовка социального риска не соответствует международному риск-ориентированному подходу, согласно которому социальный риск принято оценивать функцией, т.е. зависимостью вероятности причинения определенного ущерба от величины этого ущерба (как это и реализовано для показателя социального аварийного риска), поскольку многолетняя практика убедительно показывает, что вероятность причинения любых видов ущерба тем ниже, чем больше величина ущерба;

в) коллективного риска ЧС — *количественного показателя риска чрезвычайной ситуации, определяемого как математическое ожидание числа погибших в результате возможного воздействия всей совокупности поражающих факторов источников чрезвычайной ситуации на рассматриваемой территории за год;*

г) потенциального территориального риска ЧС — *количественного показателя риска чрезвычайной ситуации, определяемого как вероятность возникновения за год на рассматриваемой территории всей совокупности поражающих факторов источников возможной чрезвычайной ситуации с уровнем, который может привести к гибели людей и причинению материального ущерба;*

д) экономического риска ЧС — *количественного показателя риска чрезвычайной ситуации, определяемого как математическое ожидание случайной величины материального ущерба от чрезвычайной ситуации на рассматриваемой территории за год.*

Таким образом, с точки зрения методологии, для этой разновидности техногенного риска введено понятие риска ЧС, сочетающее вероятность и последствия, а для его количественной характеристики — пять показателей.

Методическая основа (методы) процедуры выполнения количественных оценок относительно подробно разработана только для показателя индивидуального риска ЧС, который согласно ГОСТ Р 22.2.02-2015 есть сумма соответствующих показателей техногенных ЧС и природных ЧС в определенной точке территории⁹. В свою очередь, показатель $R_T(x, y)$ индивидуального риска техногенных ЧС в любой точке территории рассчитывается по соотношению:

⁹ ГОСТ Р 22.2.02-2015 «Оценка риска чрезвычайной ситуации при разработке проектной документации объектов капитального строительства».

$$R_T(x, y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M P_i \times P_{ij} \times P_{гибij}(x, y), \quad (1)$$

где:

P_i — вероятность (условная) возникновения техногенной ЧС от i -го источника (аварии). Этот параметр приведен в приложение Б стандарта как доля аварий, сопровождающихся ЧС, для списка из 12-ти укрупненных видов производств. При этом метод определения вероятности самой аварии в стандарте не указан;

P_{ij} — вероятность (условная) реализации j -го сценария ЧС от i -го источника (указание о методе присвоения параметру численного значения в стандарте отсутствует);

$P_{гибij}(x, y)$ — вероятность гибели отдельного человека в определенной точке селитебной территории при возникновении техногенной ЧС от i -го источника при реализации j -го сценария ЧС. Стандарт приводит ссылки на методики вычисления этого параметра, разработанные различными ведомствами для достаточно полного перечня поражающих факторов (воздушной взрывной волны, волны прорыва гидротехнических сооружений, летящих обломков или осколков, теплового излучения, пожара, пролива, огненного шара, факельного горения), ионизирующего излучения, токсического действия аварийных выбросов. В этом перечне не хватает только сценария «пожар-вспышка».

Величину показателя $R_{II}(x, y)$ индивидуального риска природных ЧС в любой точке (x, y) территории рекомендовано рассчитывать по формуле:

$$R_{II}(x, y) = \sum_{i=1}^N P_{IIi}(x, y), \quad (2)$$

где $R_{IIi}(x, y)$ — значения индивидуального риска при реализации i -ой природной опасности, приведенные в приложении В стандарта для основных видов природных ЧС (оползней, селей, лавин, наводнений и ураганов).

Остальные четыре введенных показателя риска ЧС пока методически не разработаны и остаются на уровне определений.

Подводя итоги, следует признать, что методологический аспект риска техногенных ЧС в целом проработан относительно неплохо:

а) толкование этого понятия учитывает оценку как последствий негативного события (хотя эти последствия трактуются очень сужено, только как летальный исход для людей), так и возможность их

наступления (с помощью вероятностей сопутствующих событий), в итоге количественные показатели риска имеют размерность вероятности;

б) методическая база относительно полно разработана только для одного показателя риска из пяти;

в) указания на выполнение анализа и количественной оценки неопределенности полученных результатов оценки риска техногенных ЧС в НПА и НД отсутствуют. При этом очевидно, что неопределенность результата количественных оценок в этом случае несколько больше в связи с использованием укрупненных справочных данных.

Проблема количественной оценки последствий (ущерба) является общей методологической проблемой для всех разновидностей техногенного риска. Ей будет посвящен отдельный раздел в завершающей части статьи.

3.2. Риск аварии (аварийный риск)

Основополагающий в области промышленной безопасности закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ¹⁰ толкования риска аварии не дает. Соответствующее определение имеется в Руководстве по безопасности: *риск аварии — мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на опасном производственном объекте и соответствующую ей тяжесть последствий*¹¹. Очевидно, что такое толкование дает опасности аварии исключительно качественную характеристику, поскольку «возможность» корректно количественно оценить в настоящее время невозможно.

Для целей количественного оценивания риска в области промышленной безопасности используются понятия *показателей риска* (потенциального, индивидуального, социального и других):

а) потенциальный территориальный риск (или потенциальный риск) — частота реализации поражающих факторов аварии в рассматриваемой точке на площадке опасного производственного объекта и прилегающей территории;

б) индивидуальный риск — ожидаемая частота поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых поражающих факторов аварии;

в) социальный риск (или риск поражения группы людей) — зависимость частоты возникновения сценариев аварий F , в которых пострадало на определенном уровне не менее N человек, от этого числа N . Характеризует социальную тяжесть последствий (катастрофичность) реализации совокупности сценариев аварии и представляется в виде соответствующей F/N -кривой.

Алгоритм и расчетные соотношения, а также необходимый справочный материал для оценки величины указанных показателей аварийного риска содержатся в Руководстве по безопасности¹²:

а) потенциальный аварийный риск в любой точке территории оценивается суммой произведений частоты реализации в течение года сценариев развития аварии на условную вероятность гибели незащищенного человека от воздействия их поражающих факторов и на коэффициент защищенности имеющихся средств защиты;

б) индивидуальный аварийный риск рекомендовано оценивать суммой по всем областям нахождения человека в течение года произведений величины потенциального риска в этой области на вероятность нахождения в ней этого человека;

в) социальный риск рекомендовано представлять в виде графика ступенчатой функции зависимости частоты реализации сценариев аварии от числа N погибших.

Наряду с Руководством по безопасности, Ростехнадзором утверждена целая серия прочих НД, конкретизирующих расчетные алгоритмы оценки показателей аварийного риска для различных конкретных сценариев аварии.

Таким образом, с точки зрения методологии понятие риска аварии определено очень обобщенно, как мера опасности, характеризующая возможность вызывания аварией различных последствий.

В отношении методической базы этой разновидности техногенного риска можно сказать следующее:

а) показатели аварийного риска разработаны достаточно основательно. В НПА и НД предложены расчетные математические модели, приведен необходимый справочный материал. Для оценки вероятности взрывопожароопасных сценариев аварии и величины

¹⁰ ФЗ РФ от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

¹¹ Руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утв. приказом Ростехнадзора от 03.11.2022 № 387.

¹² Руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утв. приказом Ростехнадзора от 03.11.2022 № 387.

их поражающих факторов Руководство по безопасности отсылает к НД МЧС России;

б) для количественной характеристики возможности возникновения аварии и причинения ею ущерба вперемешку используются понятия частоты и вероятности, что с математической точки зрения неудовлетворительно, поскольку частота события есть частный факт (подробнее об этом ниже, в соответствующей части статьи);

в) хотя в преамбуле многих НПА и НД по промышленной безопасности, рассматривающих последствия аварии, перечисляются несколько видов ущерба (гуманитарный, материальный, экологический, ущерб государству и др.), действующие на сегодняшний день показатели аварийного риска учитывают только гуманитарный, причем лишь гибель людей;

г) в отношении анализа и количественной оценки неопределенности полученных результатов в Руководстве по безопасности дана лишь общая рекомендация, о том, что это следовало бы делать. Какие-либо рекомендации о том, как именно это делать, отсутствуют полностью. Однако даже само упоминание необходимости анализа и количественной оценки неопределенности показателей риска заслуживает всяческого одобрения, поскольку пока это редкость для отечественной методологии техногенного риска.

3.3. Пожарный риск

Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ дает пожарному риску определение довольно общего качественного свойства как «*мере возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей*»¹³. Российский стандарт, являющийся аутентичным переводом соответствующего стандарта ISO, предлагает иную формулировку, более близкую к международной трактовке техногенного риска: «*пожарный риск — сочетание вероятности реализации этого события (или сценария) и его последствий, часто выражаемый в виде произведения вероятности и величины последствий*»¹⁴. Некоторая недосказанность приведенного определения заключается в том, что, поскольку сценариев пожара/взрыва может быть несколько, следовало бы указать, как агрегировать величины пожарных рисков для них.

¹³ ФЗ РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент «О требованиях пожарной безопасности».

¹⁴ ГОСТ Р 51901.10-2009/ISO/TS/16732:2005 «Менеджмент риска. Процедуры управления пожарным риском на предприятии».

Для возможности выполнения количественных оценок пожарной опасности в ст. 2 закона № 123-ФЗ введено понятие расчетных величин пожарного риска, которым даны крайне неудачные определения:

- *индивидуальный пожарный риск — пожарный риск, который может привести к гибели человека в результате воздействия опасных факторов пожара* (как уже было отмечено выше, риск, в отличие от опасных факторов пожара, не может привести к гибели, он является лишь оценочной категорией);

- *социальный пожарный риск — степень опасности, ведущей к гибели группы людей в результате воздействия опасных факторов пожара* (аналогично, опасность — качественная оценка воздействия (фактического или предполагаемого) опасных факторов).

Порядок их определения изложен в НПА «Методика определения расчетных величин пожарного риска...» (далее Методика)¹⁵. Название этого документа не должно вводить в заблуждение. Это полноценный нормативно-правовой акт, утвержденный приказом МЧС России и зарегистрированный Минюстом РФ (кроме того, порядок расчета пожарных рисков утвержден специальным постановлением Правительства РФ¹⁶). Таким образом, расчетные величины пожарного риска, по сути, являются его показателями и по своему назначению близки к показателям аварийного риска.

Подход Методики к трактовке расчетных величин пожарного риска несколько удачнее. Она полагает, что «риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте характеризуется числовыми значениями индивидуального и социального пожарных рисков» и вместо дефиниций этих понятий приводит расчетные соотношения для их вычисления.

Для людей, находящихся в зданиях или на территории объекта, предварительно предполагается вычислить еще одну расчетную величину потенциального риска, равную в каждой точке территории (помещении здания) сумме по всем сценариям взрыва/пожара произведений частоты реализации сценария на условную вероятность гибели человека от воздействия его поражающих факторов.

¹⁵ Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: утв. МЧС России 10.07.2009 (в редакции приказа МЧС России от 14.12.2010 № 649 «О внесении изменений в приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404»).

¹⁶ Постановление Правительства РФ от 22.07.2020 № 1084 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска».

Расчетная величина индивидуального пожарного риска определенного работника согласно Методике оценивается частотой его поражения опасными факторами пожара, взрыва в течение года и рассчитывается как сумма по всем локациям его нахождения в течение года на территории объекта (в помещениях здания) произведений величины потенциального риска в этой локации на вероятность нахождения работника в ней.

Расчетную величину социального пожарного риска работников объекта Методика приравнивает к частоте возникновения событий (по-видимому, имеются в виду сценарии взрыва/пожара), ведущих к гибели десяти и более человек. Этот фрагмент документа непонятен, поскольку таковых сценариев может быть несколько, а о суммировании их частот ничего не сказано. Подобное суммирование частот сценариев Методика предполагает при оценке расчетной величины социального пожарного риска людей на селитебной территории вокруг объекта¹⁷.

Характеризуя в целом методическую базу анализа и количественной оценки пожарного риска, следует констатировать:

а) предложенные подходы к количественной оценке показателей потенциального и индивидуального аварийных рисков и соответствующих расчетных величин пожарного риска практически совпадают, для расчета рекомендовано использовать симбиоз понятий частоты и вероятности событий;

б) одновременно подходы принципиально различаются для оценки социального риска. Действующий же подход к оценке расчетной величины социального пожарного риска игнорирует — общеизвестный факт, что вероятность события причинения ущерба зависит от величины ущерба и убывает с ростом величины ущерба;

в) в НПА МЧС России описан достаточно полный перечень возможных сценариев взрыва/пожара на производственных объектах, приведены аналитические (инженерные) математические модели для оценки величины их поражающих факторов и необходимый справочный материал;

г) в отношении анализа и количественной оценки неопределенности расчетных величин пожарного риска ситуация совершенно удручающая. В НПА МЧС России

¹⁷ Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: утв. МЧС России 10.07.2009 (в редакции приказа МЧС России от 14.12.2010 № 649 «О внесении изменений в приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404»).

отсутствует даже упоминание о ее наличии, что с современной точки зрения является просто нонсенсом.

3.4. Профессиональный риск

Трудовой кодекс России дает следующее определение: «профессиональный риск — вероятность причинения вреда жизни и/или здоровью работника в результате воздействия на него вредного и/или опасного производственного фактора при исполнении им своей трудовой функции с учетом возможной тяжести повреждения здоровья»¹⁸, полностью соответствующее международному подходу к оценке техногенного риска.

Методов оценки профессионального риска в настоящее время существует множество. Рекомендации для работодателя по их выбору утверждены приказом Минтруда России¹⁹. Несколько забегаю вперед, заметим, что с методической точки зрения риск-ориентированный подход в области охраны труда на сегодняшний день разработан значительно хуже, нежели в области пожарной и промышленной безопасности. Главной причиной этого является отсутствие соответствующих математических моделей, позволяющих прогнозировать:

- вероятность наличия и величину (интенсивность) опасных/вредных факторов в рабочей зоне (области нахождения работника);
- условную вероятность получения человеком травм и профессиональных заболеваний под их воздействием.

Это вынуждает Минтруд России в основном рекомендовать к использованию качественные или полуквантитативные методы экспертной оценки.

Перечисляя рекомендуемые методы оценки профессионального риска, приказ Минтруда России ссылается на российские стандарты²⁰.

Первый из них, разработанный на основании стандарта МЭК 31010:2019, содержит описание около трех десятков различных методов (в стандарте они названы технологиями) оценки риска и не учитывает специфику охраны труда, в чем заключается его серьезный методологический изъян.

¹⁸ Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 г. № 197-ФЗ.

¹⁹ Рекомендации по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков. Утв. приказом Минтруда России от 28.12.2021 № 926.

²⁰ ГОСТ Р 58771-2019 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска»; ГОСТ Р 12.0.010-2009 «Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков».

ГОСТ Р 12.0.010-2009 разработан в России рабочей группой, состоящей из представителей федерации независимых профсоюзов России, Российского Союза Промышленников и Предпринимателей и ООО «Экожилсервис». Под риском в нем понимается «сочетание (произведение) вероятности (или частоты) нанесения ущерба и тяжести этого ущерба», а под оценкой риска «количественное или качественное определение значения показателя риска»²¹. Данный стандарт посвящен именно профессиональному риску, поскольку в нем рассматриваются следующие виды ущерба:

- а) ухудшение состояния здоровья работника и/или его потомства;
- б) нарушение функционального состояния организма;
- в) прогнозируемое сокращение предстоящей продолжительности жизни;
- г) нарушение психосоциального благополучия (удовлетворенности работой, семьей, доходами и здоровьем).

А для количественной их оценки предложен ряд разнородных показателей:

- количество и тяжесть профессиональных заболеваний;
- продолжительность временной утраты трудоспособности (ВУТ);
- сумма пособий по временной нетрудоспособности (рублей);
- количество случаев стойкой утраты профессиональной трудоспособности;
- степень утраты профессиональной трудоспособности в процентах;
- сумма расходов на обеспечение по социальному страхованию по этому виду экономической деятельности.

С математической точки зрения ГОСТ Р 12.0.010-2009 разработан неудовлетворительно. Для «дискретных» (счетных) видов ущерба расчет риска (профессионального) предложено выполнять по соотношению:

$$R = \sum_{i=1}^N P_i \cdot U_i, \quad (3)$$

где:

P_i — вероятность (частота) причинения работнику ущерба i -го вида;

²¹ ГОСТ Р 12.0.010-2009 «Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков».

U_i — величина ущерба i -го вида;

N — общее число возможных видов ущерба.

К сожалению, ввиду множества перечисленных этим стандартом видов ущерба, показатели которых имеют различную размерность (или не имеют ее вовсе: б) и г)), применение соотношения (3) в общем случае является невозможным.

Ввиду полного отсутствия адекватных математических моделей, позволяющих прогнозировать как величину ущерба здоровью работников от воздействия имеющихся вредных и опасных производственных факторов, так и вероятность их причинения, для оценки параметров P_i , U_i , N стандарт рекомендует использовать статистическую информацию или экспертные оценки.

Подводя итог, следует констатировать, что разработка методологии количественной оценки профессионального риска в настоящее время находится в самом начале пути:

- а) в принципиальном плане, методологически, понятие профессионального риска определено через вероятность и величину ущерба, предложен его количественный показатель;
- б) рекомендованный метод количественной оценки этого показателя неудовлетворителен, крайне слабо методически разработан;
- в) аналогично ситуации с пожарным риском, в области профессионального риска какие-либо упоминания о наличии неопределенности, анализе ее происхождения и количественной оценке отсутствуют. О неопределенности речь идет лишь в ГОСТ Р 58771-2019, посвященном техногенному риску в целом.

3.5. Риск ущерба здоровью населения

Проанализируем современные методологические основы следующей разновидности техногенного риска — риска здоровью населения (также используется альтернативный термин — для здоровья населения). По-видимому, можно относительно точно датировать начало разработки этой методологии в России, если вести отсчет с совместного постановления²². Отметим,

²² Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 10.11.1997 № 25 и Главного государственного инспектора РФ по охране природы от 10.11.1997 № 03-19/24-3483 «Об использовании методологии оценки риска для управления качеством окружающей среды и здоровья населения в Российской Федерации».

что из действующих НПА ни основной в этой области Закон от 17.03.1999 № 52-ФЗ, ни постановление Правительства от 03.03.2018 № 222 толкования понятию *риск для здоровья человека* не дают, однако, наряду с методиками расчета риска, оно в них неоднократно упоминается²³.

Ряд определений ключевых понятий этой научной области можно найти в НД Р 2.1.10.1920-04 (далее Руководство по оценке риска), заслуживающем особого внимания:

- *риск для здоровья* — вероятность развития угрозы жизни или здоровью человека либо угрозы жизни или здоровью будущих поколений, обусловленная воздействием факторов среды обитания;

- *индивидуальный риск* — оценка вероятности развития неблагоприятного эффекта у экспонируемого индивидуума, например, риск развития рака у одного индивидуума из 1 тыс. лиц, подвергавшихся воздействию. При оценке риска, как правило, оценивается число дополнительных по отношению к фону случаев нарушений состояния здоровья, т.к. большинство заболеваний, связанных с воздействием среды обитания, встречается в популяции и при отсутствии анализируемого воздействия;

- *ущерб (вред) здоровью человека* — наблюдаемое или ожидаемое нарушение состояния здоровья человека или состояния здоровья будущих поколений, обусловленное воздействием факторов среды обитания. Ущерб характеризуется медико-социальной значимостью наблюдаемых или ожидаемых негативных последствий для жизни или здоровья человека и/или будущих поколений, а также частотой случаев негативных последствий и их стоимостными оценками;

- *популяционный риск* — агрегированная мера ожидаемой частоты вредных эффектов среди всех подвергшихся воздействию людей (например, четыре случая заболевания раком в год в экспонируемой популяции);

- *оценка риска для здоровья* — процесс установления вероятности развития и степени выраженности неблагоприятных последствий для здоровья человека

*или здоровья будущих поколений, обусловленных воздействием факторов среды обитания*²⁴.

Анализ показывает, что из всего спектра вредных воздействий со стороны объектов техносферы на популяционное (здоровье населения) в настоящее время более всего исследовано влияние токсичных химических веществ с учетом их комбинированного, многосредового поступления в организм человека из атмосферного воздуха и воздуха помещений, питьевой воды и водоемов, а также из почвы (при ее случайном заглатывании) и с пищей.

Руководство по оценке риска является объемным документом, подробно описывающим современные методологические подходы к анализу и количественной оценке риска популяционному здоровью населения, обусловленному воздействием химических веществ (отдельно канцерогенных и неканцерогенных). В нем последовательно изложен алгоритм выполнения процедуры, введен ряд количественных показателей риска, приведены некоторые расчетные соотношения, описаны сопутствующие методические проблемы, содержится обширный справочный материал. Документ написан ведущими российскими специалистами на базе многолетнего зарубежного и отечественного опыта выполнения подобных работ и отражает состояние знания в этой области на начало текущего столетия.

Величина риска здоровью на концептуальном уровне оценивается вероятностью дополнительной заболеваемости среди экспонируемой популяции, которая, в свою очередь, находится как отношение числа прогнозируемых дополнительных случаев в год к численности этой популяции. В этом отношении несколько диссонирует определение понятия *ущерб здоровью человека*, возможность реализации которого охарактеризована числом случаев причинения этого ущерба, а величина оценена не только в стандартном натуральном выражении, но и в стоимостном, что является очень важной новеллой, которая будет рассмотрена далее.

В укрупненном изложении — по версии Руководства по оценке риска — анализ риска здоровью включает:

- оценку риска;
- управление риском;
- информирование (населения) о риске.

²³ ФЗ РФ от 17.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»; постановление Правительства РФ от 03.03.2018 № 222 «Об утверждении Правил установления санитарно-защитных зон и использования земельных участков, расположенных в границах санитарно-защитных зон».

²⁴ Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

В свою очередь, рекомендованный алгоритм оценки риска содержит четыре этапа:

- 1) идентификация опасности;
- 2) оценка зависимости «доза-эффект»;
- 3) оценка экспозиции;
- 4) характеристика риска (служащая «мостиком»

между анализом и управлением риском).

В тексте Руководства по оценке риска неоднократно указывается на крайнюю сложность исследуемой проблемы, обусловленную полифакторностью (широчайшим спектром факторов, оказывающих воздействие на здоровье человека). Это обстоятельство во многом определяет значительную неопределенность получаемых количественных оценок, на что неоднократно указано в тексте Руководства по оценке риска.

Анализ показывает, что методология выполнения количественных оценок риска здоровью лучше всего проработана для канцерогенных веществ, особенно для т.н. беспороговых канцерогенов, вызывающих генотоксичные эффекты. В подобных случаях Руководство по оценке риска вводит показатель дополнительного канцерогенного риска CR:

$$CR_i = LADD_i \cdot SF_i, \quad (4)$$

где:

CR_i — дополнительный канцерогенный риск, вызываемый i -ым веществом;

$LADD_i$ (*Lifetime Average Daily Dose*) — среднесуточная доза, мг/кг-сут., (комбинированного поступления в организм человека: перорально, ингаляционно и через кожу);

SF_i — фактор наклона i -го вещества, мг/кг-сут⁻¹, зависимости «доза-эффект».

Отметим, что соотношение (4) применимо только для такого диапазона доз $LADD$, для которого установлена линейная зависимость «доза-эффект».

Для неканцерогенных веществ (коих значительно больше) используется иной количественный показатель — коэффициент опасности HQ , являющийся отношением:

$$HQ_i = \frac{AD_i}{RfD_i}; \text{ или } HQ_i = \frac{AC_i}{RfC_i}, \quad (5)$$

где:

AD_i — средняя доза, мг/кг-сут., поступления i -го вещества в организм человека;

RfD_i — референтная доза, мг/кг-сут., суточное воздействие i -го химического вещества в течение всей жизни, устанавливаемое с учетом всех имеющихся современных научных данных и, вероятно, не приводящее к возникновению неприемлемого риска для здоровья чувствительных групп населения;

AC_i — средняя концентрация, мг/м³ (мг/дм³ — в воде) i -го вещества в окружающей среде;

RfC_i — референтная концентрация, мг/м³ (мг/дм³ — в воде), концентрация i -го вещества в окружающей среде, при которой его воздействие в течение всей жизни, устанавливаемое с учетом всех имеющихся современных научных данных, вероятно, не приводит к возникновению неприемлемого риска для здоровья чувствительных групп населения.

В условиях одновременного поступления нескольких химических веществ одним и тем же путем (например, ингаляционным или пероральным) либо одновременного воздействия нескольких веществ с однонаправленным действием (обладающим эффектом суммации) предложено рассчитывать индекс опасности:

$$HI = \sum_i HQ_i. \quad (6)$$

К сожалению, показатели HQ и HI далеко не во всех случаях позволяют спрогнозировать величину риска для здоровья населения, поскольку для очень большого числа химических веществ установить аналитические зависимости «доза-эффект» не представляется возможным. Дословно — п. 7.4.14 Руководства по оценке риска гласит: «...если коэффициент опасности превышает единицу, то вероятность возникновения вредных эффектов у человека возрастает пропорционально увеличению HQ , однако точно указать величину этой вероятности невозможно». Эта формулировка не вполне корректна, поскольку «пропорциональность» означает линейную зависимость, которой на самом деле в данном случае нет.

Подводя итоги, следует указать на неплохую методологическую проработанность этой разновидности техногенного риска для случая воздействия канцерогенных веществ, а для неканцерогенных, в части методов оценки среднесредовых концентраций, маршрутов поступления химических веществ в организм человека, величины суточных доз, а также вызываемых ими вредных эффектов для здоровья населения, но не собственно количественной оценки риска.

Руководство по оценке риска стало методической основой для разработки целой серии документов — Методических рекомендаций, утвержденных главным санитарным врачом РФ. В них изложены методы оценки риска здоровью населения, обусловленного вредными факторами химической и физической природы: токсичными веществами в атмосферном воздухе и питьевой воде; транспортным шумом и электромагнитными полями. Проанализируем их кратко.

Химические вещества в атмосферном воздухе. Самыми недавними из названных методических рекомендаций являются МР 2.1.10.0156-19, рассматривающие оценку риска причинения ущерба популяционному здоровью, вызываемого загрязнением атмосферного воздуха химическими веществами²⁵. В нем методические подходы Руководства по оценке риска к количественной оценке риска здоровью населения, обусловленного канцерогенами, оставлены без изменений, а касательно неканцерогенов они получили некоторое развитие. Вызывает некоторое недоумение используемая в МР 2.1.10.0156-19 формулировка «оценка риска и ущерба здоровью», поскольку понятие риска уже включает в себя оценку вероятности и величины ущерба от негативного события (воздействия).

Для количественных оценок риска здоровью населения, создаваемого неканцерогенными токсикантами в атмосферном воздухе, расчетные соотношения не представлены, вместо этого приведена таблица с интервальными значениями (см. табл.).

В приложениях 1 и 2 к МР 2.1.10.0156-19 только для четырех веществ: озона, диоксида азота и двух фракций взвешенных веществ ($PM_{2,5}$ и PM_{10}), приведены значения относительного риска RR (отношения риска возникновения какого-либо заболевания у лиц, подвергавшихся воздействию изучаемого фактора, к риску заболевания у лиц, не подвергавшихся этому воздействию), отдельно для кратковременных и долгосрочных воздействий, полученные по результатам эпидемиологических исследований.

В заключение следует отметить, что достигнутый уровень методической разработанности этой части методологии оценки риска здоровью населения пока совершенно неудовлетворителен.

²⁵ МР 2.1.10.0156-19 Методические рекомендации «Оценка качества атмосферного воздуха и анализ риска здоровью населения в целях принятия обоснованных управленческих решений в сфере обеспечения качества атмосферного воздуха и санитарно-эпидемиологического благополучия населения».

Химические вещества в питьевой воде. Методические рекомендации МР 2.1.4.0032-11 с научной и методической точки зрения разработаны значительно лучше. Основания для принятых допущений в них указаны явно и предложен подход (хотя и спорный) к оценке агрегированного риска здоровью населения, обусловленного содержащимися в питьевой воде химическими веществами²⁶.

Разработчики документа указали, что содержащиеся в нем расчетные соотношения основаны исключительно на априорных принципах (например, на общефизиологическом законе Вебера-Фехнера либо на токсикологических, подобных используемым моделях при обосновании величины ПДК). Апостериорные данные (результаты эпидемиологических исследований) не использовались.

МР 2.1.4.0032-11 различают три вида вредных эффектов для популяционного здоровья, вызываемых химической загрязненностью питьевой воды:

- канцерогенные;
- ольфакторно-рефлекторные;
- санитарно-токсикологические.

Подход к количественной оценке риска здоровью, вызываемого канцерогенными веществами, совершенно аналогичен таковому в Руководстве по оценке риска по соотношению (4). Однако предложенный метод количественной оценки эффектов второй группы (рефлекторной реакции человека на окраску, запах, мутность или кислотно-щелочной привкус питьевой воды) неудачен, поскольку фактически он оценивает не вероятность причинения ущерба здоровью, а вероятность отказа человека от употребления загрязненной питьевой воды вследствие ее ненадлежащего запаха, цвета, мутности или кислотно-щелочного привкуса.

В основу предложенных количественных соотношений для расчета величины пробит-функции положен закон Вебера-Фехнера:

а) для цветности воды:

$$Pr = -3,33 + 0,67 \cdot Ц, \quad (7)$$

где Ц — цветность питьевой воды в градусах (0–1000°), оцениваемой визуально по специальной шкале или фотоколориметрически;

²⁶ МР 2.1.4.0032-11. Методические рекомендации «Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности».

Таблица. Классификация уровней риска

Table. Classification of risk levels

Уровень риска	Коэффициент опасности HQ вещества	Индекс опасности HI группы веществ с однонаправленным действием	Годовой риск неканцерогенных медико-социальных эффектов
Высокий	> 3,0	> 6,0	> 1,1·10 ⁻³
Настораживающий	1,1–3,0	3,1–6,0	1,1·10 ⁻⁴ –1,1·10 ⁻³
Допустимый	0,1–1,0	1,1–3,0	1,1·10 ⁻⁶ –1,1·10 ⁻⁴
Минимальный	< 0,1	< 1,0	< 10 ⁻⁶

б) мутности:

$$Pr = -3 + 0,25 \cdot M, \quad (8)$$

где M — мутность питьевой воды (размерность не указана);

в) водородному показателю (кислотно/щелочной привкус):

$$Pr = 4 - pH, \quad pH < 7; \quad (9)$$

$$-11 + pH, \quad pH > 7.$$

Значение вероятности находится далее по величине Pr стандартным образом;

г) что касается вероятности отказа от питья воды с запахом, для ее оценки дана таблица, в которой пяти градациям интенсивности запаха в баллах поставлено в соответствие пять значений вероятности.

В завершение описания алгоритма оценки «риска здоровью» по ольфакторно-рефлекторным эффектам питьевой воды предписано обосновать «суммарный риск», величине которого следует присвоить наибольшее значение из результатов оценки факторов а)–г).

Метод МР 2.1.4.0032-11 количественной оценки риска для здоровья населения, обусловленного неканцерогенными химическими веществами в питьевой воде, ссылается на вероятностный принцип обоснования величин ПДК. Как известно, в его основе лежит экспериментальное обоснование значения концентрации C_{lim} , мг/дм³, являющейся пороговой для исследуемого токсического эффекта. В качестве ПДК принимают:

$$ПДК = \frac{C_{lim}}{K_3}, \quad (10)$$

где K_3 — коэффициент запаса, который для разных веществ равен 10 или 100.

Авторы документа постулировали, что на графике «доза-эффект» (эффект приравнен к доле экспонируемой популяции, у которой достоверно обнаружена патология, вызываемая данным токсикантом) величине C_{lim} соответствует «эффект» 0,16 (т.е. 16%). В итоге для количественной оценки риска здоровью населения, вызываемого содержащимся в питьевой воде в концентрации C_i , мг/дм³, неканцерогенным токсикантом, ими предложено соотношение, фактически означающее использование беспороговой модели:

$$Risk_i = 1 - e^{-\frac{\ln 0,84 \cdot C_i}{ПДК_i \cdot K_3}}, \quad (11)$$

где ПДК_i — предельно-допустимая концентрация, мг/дм³, i-го вещества в питьевой воде.

Еще один принятый разработчиками МР 2.1.4.0032-11 постулат, позволивший им обойти требование Руководства по оценке риска о том, что суммарный риск неканцерогенных веществ должен оцениваться только в группах однотипного токсического воздействия, заключается в том, что «на уровне малых доз и концентраций (менее 15 ПДК или RfC), характерных для современного качества питьевой воды, неканцерогенные эффекты для всех веществ проявляются однотипно неспецифически». С учетом этого для количественной оценки суммарного риска $Risk_{\Sigma}$ здоровью населения, обусловленного содержащимися в питьевой воде неканцерогенными химическими веществами, ими предложена формула:

$$Risk_{\Sigma} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Risk_i), \quad (12)$$

которая в случае $Risk_i < 0,001$ для всех i может быть упрощена:

$$Risk_{\Sigma} \approx \sum_{i=1}^n Risk_i \quad (13)$$

Окончательно агрегированный риск здоровью населения из-за химического загрязнения питьевой воды рекомендовано оценивать при помощи интегрального показателя ИП опасности питьевой воды:

$$ИП = \frac{Risk_k}{ПЗ_k} + \frac{Risk_p}{ПЗ_p} + \frac{Risk_n}{ПЗ_n}, \quad (14)$$

где:

$Risk_k$ — суммарный канцерогенный риск;

$ПЗ_k$ — приемлемое значение канцерогенного риска;

$Risk_p$ — суммарный риск рефлекторно-ольфакторных эффектов;

$ПЗ_p$ — приемлемое значение рефлекторно-ольфакторных эффектов;

$Risk_n$ — суммарный риск неканцерогенных веществ;

$ПЗ_n$ — приемлемое значение неканцерогенного риска.

Приемлемые значения всех трех видов риска приведены в МР 2.1.4.0032-11.

Укажем, что в целом описанный подход к интегральной оценке риска здоровью населения, связанного с загрязненностью питьевой воды, вызывает сомнение из-за трактовки риска рефлекторно-ольфакторных эффектов, о чем было сказано выше.

Методические рекомендации²⁷ посвящены оценке риска здоровью населения, обусловленного физическими факторами: транспортным шумом и электромагнитными полями. С методической точки зрения они близки, поскольку основаны на общих принципах, используемых в ЕС и США («гармонизированы с международными документами»).

Транспортный шум. МР 2.1.10.0059-12 указывают, что длительный транспортный шум (автотранспортных потоков, железнодорожных поездов и самолетов) способен вызывать целую гамму негативных эффектов от нарушений сна до инфаркта миокарда. Укрупненно эти эффекты объединены в три группы, описывающие воздействие на:

- слуховой аппарат;
- сердечно-сосудистую систему;
- нервную систему.

Разработчики МР 2.1.10.0059-12 сообщают, что рекомендованные ими расчетные соотношения для количественной оценки риска здоровью населения реализуют пороговый принцип и основаны на

²⁷ МР 2.1.10.0059-12. Методические рекомендации «Оценка риска здоровью населения от воздействия транспортного шума».

апостериорных данных (результатах эпидемиологических исследований).

Интенсивность акустического воздействия предложено оценивать эквивалентным уровнем средневзвешенного суточного шума, дБА:

$$L_{сут} = \frac{1}{24} \left(16 \cdot 10^{\frac{L_{день}}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{ночь}}{10}} \right), \quad (15)$$

где:

$L_{день}$ — эквивалентный уровень средневзвешенного дневного шума, дБА;

$L_{ночь}$ — эквивалентный уровень средневзвешенного ночного шума, дБА.

В качестве количественной оценки негативного эффекта здоровью (ущерба) населения из-за транспортного шума принята частота случаев возникновения негативных эффектов дискомфорта либо дополнительной заболеваемости на фоне естественного старения организма. Оценка суммарного риска нарушений сердечно-сосудистой системы (сс), нервной системы (нс) и органов слуха (сл) основана на эволюционных математических моделях развития этих неблагоприятных эффектов под воздействием шума и выполняется решением соответствующих рекуррентных уравнений:

$$R_{t+1}^{сл} = R_t^{сл} + \left(0,0118 \cdot R_t^{сл} + 0,001 \cdot \left\langle \frac{L_{сут} \cdot (1 - R_t^{сл})}{50} - 1 \right\rangle \right) \cdot C, \quad (16a)$$

$$R_{t+1}^{сс} = R_t^{сс} + \left(0,052 \cdot R_t^{сс} + 0,015 \cdot \left\langle \frac{L_{сут} \cdot (1 - R_t^{сс})}{58,5} - 1 \right\rangle \right) \cdot C, \quad (16б)$$

$$R_{t+1}^{нс} = R_t^{нс} + \left(0,0074 \cdot R_t^{нс} + 0,0016 \cdot \left\langle \frac{L_{сут} \cdot (1 - R_t^{нс})}{43} - 1 \right\rangle \right) \cdot C, \quad (16в)$$

где:

R_{t+1}^a — риск нарушения a -той системы органов ($a = \text{сл, сс, нс}$) для следующего момента времени (временного шага $t + 1$);

R_t^a — риск нарушения этой системы органов на предыдущем временном шаге (на момент времени t);

$R_t^{\text{сг}}$ — суммарный риск развития нарушений различной тяжести органов слухового аппарата (шум в ушах, кондуктивная нейросенсорная потеря слуха, потеря слуха), вызванных шумом, на момент времени t ;

$R_t^{\text{сс}}$ — суммарный риск развития нарушений различной тяжести сердечно-сосудистой системы (повышение кровяного давления, гипертензивная болезнь сердца, ишемическая болезнь сердца, стенокардия, инфаркт миокарда), вызванных шумом, на момент времени t ;

$R_t^{\text{нс}}$ — суммарный риск развития нарушений различной тяжести нервной системы (нервное напряжение, расстройство сна, когнитивные нарушения, вегетососудистая дистония), вызванных шумом, на момент времени t ;

$L_{\text{сут}}$ — эквивалентный уровень средневзвешенного суточного шума, дБА, в исследуемый период времени t ;

C — эмпирический коэффициент, равный единице для временного шага — один год и 0,0833 для временного шага — один месяц;

$\langle Y \rangle$ — скобки Келли, принимающие значения: $\langle Y \rangle = 0$ при $Y < 0$ и $\langle Y \rangle = Y$ при $Y \geq 0$.

В МР 2.1.10.0059-12 приведены начальные значения риска (в начале воздействия транспортного шума) для трех названных систем органов: $R_0^{\text{сл}} = 0,023$; $R_0^{\text{сс}} = 0,007$; $R_0^{\text{нс}} = 0,02855$.

Таким образом, решение уравнений (16а–16в) позволяет спрогнозировать значение суммарного риска нарушений здоровья различной степени тяжести для каждой из этих трех систем органов в любой момент времени в будущем, которое определяется значением риска и уровнем шума в предыдущий момент времени.

В завершение алгоритма количественную оценку риска воздействия транспортного шума на здоровье населения (развития заболеваний органов кровообращения, нервной системы и органов слуха) предложено осуществлять с использованием показателя агрегированного риска по формуле (12).

Электромагнитные поля. Прежде оценки воздействия на человека электромагнитных полей (ЭМП) МР 2.1.10.0061-12 делит их на восемь частотных диапазонов: от сверхнизких НЧ (0–30 кГц) до крайне высоких КВЧ (30–300 ГГц). Далее в таблицах 2, 3 и Приложениях

2, 3 со ссылками на опубликованные работы приводятся сведения об обнаруженных их авторами негативных эффектах для здоровья людей при воздействии ЭМП различных частот, длительностей и интенсивностей²⁸.

С учетом того обстоятельства, что на момент разработки методических рекомендаций считались доказанными лишь эффекты в отношении возникновения лейкозов у детей под воздействием ЭМП населенных мест и формирования опухолей головного мозга (менингиом, глиом) при длительном (более 10 лет) интенсивном (более одного часа в день) использовании сотовых телефонов, при оценке риска здоровью населения под влиянием ЭМП в качестве ущерба МР 2.1.10.0061-12 рассматривают именно эти три нозологические формы.

Аналогично транспортному шуму для оценки вероятности возникновения лейкозов, глиом и менингиом при длительном воздействии ЭМП предложено решать рекуррентные уравнения, основанные на пороговой модели:

а) вероятность заболевания глиомой (число случаев на 100 тыс. чел.):

$$P_{t+1}^G = P_t^G + \left[\left(-2,43 \cdot 10^{-5} \cdot C_t^3 + 2,6 \cdot 10^{-3} \cdot C_t^2 - 0,072 \cdot C_t + 0,48 \right) + 0,03 \cdot \left\langle \frac{I_t^H}{0,075} - 1 \right\rangle \right] \cdot C; \quad (17a)$$

б) вероятность заболевания менингиомой (число случаев на 100 тыс. чел.):

$$P_{t+1}^M = P_t^M + \left(0,02 \cdot P_t^M + 6 \cdot 10^{-5} \cdot \left\langle \frac{I_t^H}{0,075} - 1 \right\rangle \right) \cdot C; \quad (17б)$$

в) вероятность заболевания лейкозом (число случаев на 100 тыс. чел.):

$$P_t^L = \left(-9,12 \cdot 10^{-7} \cdot C_t^4 + 1,68 \cdot 10^{-4} \cdot C_t^3 - 9,2 \cdot 10^{-3} \cdot C_t^2 + 0,1 \cdot C_t + 2,8 \right) \cdot \left[1 + 0,075 \cdot e^{-0,035 \cdot C_t} \cdot \left(0,2 \cdot \left\langle \frac{I_t^L}{0,1} - 1 \right\rangle + 1,5 \cdot \left\langle \frac{I_t^H}{0,075} - 1 \right\rangle \right) \right]; \quad (17в)$$

²⁸ МР 2.1.10.0061-12 Методические рекомендации «Оценка риска здоровью населения при воздействии переменных электромагнитных полей (до 300 ГГц) в условиях населенных мест».

где:

P_{t+1}^a — вероятность заболевания ($a = г, м, л$) для следующего момента времени (временного шага $t+1$);

P_t^a — вероятность заболевания ($a = г, м, л$) на предыдущем временном шаге (на момент времени t);

$P_t^г$ — вероятность заболевания глиомой, вызванного ЭМП, на момент времени t ;

$P_t^м$ — вероятность заболевания менингиомой, вызванного ЭМП, на момент времени t ;

$P_t^л$ — вероятность заболевания лейкозом, вызванного ЭМП, на момент времени t ;

I_t^H — интенсивность высокочастотного электромагнитного излучения, Вт/м², в исследуемый период времени t ;

I_t^L — магнитная индукция низкочастотного ЭМП, мТл;

C — эмпирический коэффициент, равный единице для временного шага — один год и 0,0833 для временного шага — один месяц.

В качестве ремарки отметим, что с физико-математической точки зрения уравнения (17а — 17в) оформлены не должным образом:

- толкование параметра C_t отсутствует;
- параметр I_t^H назван «напряженностью излучения» с нелепой размерностью $т/м^2$;

• параметр I_t^L — «напряженностью низкочастотного излучения» с размерностью мТ, что, впрочем, неудивительно для санитарных врачей.

Далее, следуя предложенному алгоритму, для расчета риска заболевания населения учитываемыми тремя нозологическими формами, «с учетом их тяжести» предложены соотношения:

$$P_t^г = 0,98 \cdot P_t^г; \quad (18a)$$

$$P_t^м = 0,95 \cdot P_t^м; \quad (18б)$$

$$P_t^л = 0,95 \cdot P_t^л. \quad (18в)$$

Вызывает удивление, что формула, аналогичная (4), для оценки агрегированного риска здоровью населения, вызванного электромагнитной нагрузкой, в МР 2.1.10.0061-12 не приведена, что можно было бы ожидать с учетом (18а–18в).

При этом расчетные соотношения для суммирования ЭМП различных частот в МР 2.1.10.0061-12 имеются.

Итого, в целом оценка такой разновидности техногенного риска как методологически, так и методически

разработана относительно неплохо (за исключением лишь риска здоровью населения из-за загрязненности атмосферного воздуха неканцерогенами):

а) понятие риска здоровью населения достаточно полно определено;

б) предложены показатели для его количественной оценки;

в) рекомендованы математические модели, позволяющие выполнять количественные оценки (расчеты) величины количественных показателей;

г) в части анализа и количественной оценки неопределенности получаемых результатов проанализированные НД противоречивы: с одной стороны, в них подробно рассмотрены источники этой неопределенности, возникающие на разных этапах процедуры, а с другой — имеется ряд серьезных недостатков.

Рассмотрим их на примере Руководства по оценке риска:

- во-первых, принципиально неверно, что у неопределенности указана только эпистемическая ее составляющая (параметрическая, модельная, вычислительная). Объективная, стохастическая неопределенность (параметрическая) вынесена за скобки и названа вариабельностью;

- во-вторых, в качестве одного из источников эпистемической неопределенности (субъективного типа) рассматриваются ошибки (модели, расчетов и т.п.). Это тоже неверно, поскольку понятие ошибки подразумевает знание правильного значения. Следовательно, неопределенность в подобных случаях отсутствует;

- в-третьих, количественную оценку неопределенности Руководство по оценке риска рекомендует выполнять в вероятностной постановке, используя методы статистического моделирования (Монте-Карло). Однако это фактически нереализуемо, поскольку требует обладания информацией о законах распределения вероятности величины параметров. Произвольное же их задание лишь умножит неопределенность.

3.6. Экологический риск

Обратимся теперь к анализу методологической и методической составляющих последней разновидности техногенного риска — риска экологического. Следует с сожалением констатировать, что из шести анализируемых нами его разновидностей с этой точки зрения понятие экологического риска разработано наихудшим образом.

Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ экологическому риску дано следующее толкование: «...это

вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера»²⁹. Очевидно, что оно не согласуется с международной трактовкой этого понятия, согласно которой экологический риск применяется для оценки негативного воздействия техносферы на объекты природной среды: из-за выбросов или сбросов в нее токсичных химических веществ или биологических агентов, размещения отходов, воздействия факторов физической природы (ионизирующих излучений, электромагнитных полей, тепловых потоков, виброакустических волн и т.п.) в повседневном штатном режиме ее функционирования. Иначе говоря, речь идет о хроническом долговременном воздействии с относительно небольшими интенсивностями. Воздействия же на компоненты природной среды экосистемы совершенно другого типа — кратковременные, с высокими интенсивностями, типичные для аварийных событий (или чрезвычайных ситуаций), принято оценивать рисками иного типа — аварийным или риском ЧС, учитывающими весь спектр причиняемого при этом ущерба, в том числе экологического.

Что касается документов, регламентирующих методы расчета экологического риска, приходится признавать, что в настоящее время в России вообще отсутствуют НПА, посвященные этому вопросу, если не считать постановление Правительства РФ³⁰, в котором это понятие также не упоминается. При этом введено шесть категорий «риска причинения ущерба» от низкого до чрезвычайно высокого (имеется в виду ущерб окружающей природной среде).

Категория риска причинения ущерба присваивается поднадзорному предприятию-природопользователю с учетом его категории I–IV, назначенной согласно другому постановлению Правительства России³¹, и некоторых особых обстоятельств, таких как его расположение в особо охраняемой природной территории

²⁹ ФЗ РФ от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

³⁰ Постановление Правительства Российской Федерации от 30.06.2021 № 1096 «О федеральном государственном экологическом контроле (надзоре)».

³¹ Постановление Правительства Российской Федерации от 31.12.2020 № 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий».

федерального значения, водоохранной зоне территориального моря и т.п. В свою очередь, категория предприятия-природопользователя присваивается ему на основании укрупненного признака — вида хозяйственной деятельности, и в некоторых случаях, объема используемого сырья или выпускаемой продукции. Главный недостаток подобного подхода состоит в том, что он:

- во-первых, не позволяет оценить фактическое воздействие, оказываемое этим объектом экологического надзора на природную среду и ее экосистемы;
- во-вторых, совершенно не стимулирует предприятия-природопользователи заниматься природоохранной деятельностью, поскольку предприятие не может изменить (понижить) присвоенную ему категорию риска.

Признанным мировым лидером в области анализа и оценки экологического риска является Агентство по охране окружающей среды США (US EPA). Деятельность по оценке рисков для природных объектов началась в США в 1970-е гг. XX века с принятием ряда важнейших федеральных законов: «О чистом воздухе» (1970); «О пестицидах, инсектицидах и т.п.» (1972); «О безопасности питьевой воды» (1974). На первоначальном этапе основным объектом изучения в области экологического риска были онкологические заболевания и прочие проблемы популяционного здоровья, вызываемые химическими веществами. Но постепенно фокус его внимания переместился на изучение распределения химических веществ в компонентах природной среды, путей их попадания в организм представителей биоты (особенно водной) и на учет факторов, влияющих на эти процессы.

Что касается России, то в настоящее время единственным отечественным нормативным документом в области анализа и оценки экологического риска является национальный стандарт ГОСТ Р 14.09-2005, разработанный на основе соответствующего Руководства US EPA. Под оценкой экологического риска стандарт подразумевает: «качественную и/или количественную оценку реальных или потенциальных воздействий загрязняющих веществ на растения и диких животных»³². При этом «воздействие» трактуется достаточно широко. В стандарте приведены примеры таких эффектов:

³² ГОСТ Р 14.09-2005 «Экологический менеджмент. Руководство по оценке риска в области экологического менеджмента».

- устойчивость водной экосистемы, включая композицию ее видов и трофическую структуру;

- достаточный рост и воспроизводство устойчивых популяций животных на участке и т.п., вызываемые «стрессором», под которым понимается «любой физический, химический или биологический объект, неблагоприятное воздействие которого на живой организм может вызвать нежелательный эффект».

При этом в стандарте описывается только воздействие токсичных для биоты химических веществ.

Важным понятием анализа и оценки экологического риска стандарт считает *концептуальную модель*, под которой он понимает математическую модель, объединяющую ряд рабочих гипотез о механизмах влияния стрессора на составляющие экосистемы исследуемого участка территории/акватории, включая такие аспекты, как:

- экологическое многообразие на участке;
- перечень учитываемых стрессоров (загрязняющих веществ) и их концентрации в компонентах природных сред на участке;

- механизмы поступления, распространения (рассеивания), деградации и поглощения загрязняющих веществ в атмосфере, воде и почве;

- механизмы экотоксичности стрессоров, в т.ч. пути их поступления в организм животных и/или растений;

- зависимости «воздействующий фактор — результат» (под которыми понимается широкий спектр эффектов, примеры которых приведены выше).

Приведенное описание состояния дел в области анализа и количественной оценки экологического риска показывает, что разработка их методологической и методической основы, особенно в части выполнения количественных оценок, в настоящее время находится лишь в самой зачаточной стадии, причем за рубежом.

Важным понятием анализа и оценки экологического риска стандарт считает *концептуальную модель*, под которой он понимает математическую модель, объединяющую ряд рабочих гипотез о механизмах влияния стрессора на составляющие экосистемы исследуемого участка территории/акватории, включая такие аспекты, как:

- экологическое многообразие на участке;

- перечень учитываемых стрессоров (загрязняющих веществ) и их концентрации в компонентах природных сред на участке;

- механизмы поступления, распространения (рассеивания), деградации и поглощения загрязняющих веществ в атмосфере, воде и почве;

- механизмы экотоксичности стрессоров, в т.ч. пути их поступления в организм животных и/или растений;

- зависимости «воздействующий фактор — результат» (под которыми понимается широкий спектр эффектов, примеры которых приведены выше).

Приведенное описание состояния дел в области анализа и количественной оценки экологического риска показывает, что разработка их методологической и методической основы, особенно в части выполнения количественных оценок, в настоящее время находится лишь в самой зачаточной стадии, причем за рубежом.

В качестве положительного момента можно указать на внимание, уделяемое методологией экологического риска проблеме неопределенности получаемых количественных оценок экологического риска. Хотя это касается исключительно качественного аспекта неопределенности — анализа ее источников (природы и происхождения неопределенности). Этот вопрос имеет достаточно давнюю историю. Еще в начале 1980-х гг. конгресс США поручил национальной академии наук проанализировать методологию экологического риска. Для решения поставленной задачи был создан специальный комитет US National Research Council (US NRC). После скрупулезного анализа состояния дел в своем первом отчете US NRC констатировал, что основным препятствием на пути дальнейшего развития методологии является нерешенность проблемы количественной оценки неопределенности, получаемой в рамках ее результатов³³. Причем, по мнению членов комитета, описанная проблема не нашла своего решения и в течение последующих 26-ти лет, на что было указано в третьем его отчете³⁴, датированном 2009 г.

³³ US National Research Council. Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. Washington, D.C.: National Academy Press, 1983.

³⁴ US National Research Council. Science and decisions. Advanced risk assessment. Washington, D.C. : National Academy Press, 2009. 403 p.

Далее перейдем к оценке возможности причинения объектами техносферы ущерба (возможности наступления негативных последствий) людям, компонентам окружающей среды (включая биоту) и имуществу как в штатных, так и в нештатных условиях функционирования этих объектов.

4. Способы оценки возможности наступления последствий (причинения ущерба)

В рамках риск-ориентированного подхода, когда речь идет о техногенном риске, последствия события принято оценивать именно величиной причиненного им ущерба. Результаты выполненного нами выше анализа методологических основ всех шести его разновидностей показывают, что в качестве меры возможности причинения ущерба большая их часть рассматривает *вероятность* этого события.

4.1. Вероятность как мера возможности причинения ущерба

Несмотря на широкую популярность понятия *вероятность* в самых разных сферах общественной жизни (от бытового общения до квантовой механики), до исчерпывающего его понимания пока еще далеко. Можно выделить четыре трактовки вероятности, различающиеся в зависимости от области их применения:

- математическую (аксиоматическую);
- физическую;
- инженерную, экономическую;
- субъективную (бытовую).

Математическая трактовка. Как известно, наиболее совершенная на сегодняшний день аксиоматическая концепция вероятности принадлежит А. Н. Колмогорову [1]. Она рассматривает вероятность в качестве меры на множестве элементарных событий и в этой связи является понятием чисто математическим, которое де-факто очень часто трактуют как физико-математическое (естественно-научное), для чего достаточно принять, что при многократном повторении ($N \rightarrow \infty$) опыта отношение m/N стремится к вероятности массового события, где m — число «благоприятных» исходов. Однако эта аксиома некорректна, поскольку:

- во-первых, она требует неявного домысливания, когда выборке событий (значений) всегда ограниченного объема придают свойства генеральной совокупности [2];

- во-вторых, постулирование стремления дисперсии выборочного среднего к нулю по мере бесконечного увеличения объема выборки, как доказывает множество фактов, в реальном мире объектов техносферы не является обоснованным (об этом ниже).

Таким образом, в области техносферной безопасности и социально-экономических явлений, в инженерном деле, математическая трактовка вероятности неприменима.

Физическая трактовка. Как известно, основной задачей науки является получение априорного знания. В рамках классической физики (механики), фундамент которой был заложен И. Ньютоном, безальтернативным подходом к прогнозированию поведения объекта (определению его состояния в последующие моменты времени) долгое время являлся динамический (детерминистический).

Ситуация радикально изменилась в 1860 г., когда впервые Дж. Максвелл при выводе закона распределения молекул идеального газа по скоростям использовал вероятностный, статистический подход. Этот подход применим исключительно к массовым явлениям, поскольку описывает некоторые свойства особых объектов — ансамблей, состоящих из большого числа объектов типа одинаковых молекул идеального газа в некотором макрообъеме.

Как выяснилось, определенный профиль скоростей газовых молекул является константой для любого равновесного термодинамического состояния и очень быстро восстанавливается при любом его нарушении. Таким образом, распределение вероятности величины скорости в этом случае является необъяснимым эмерджентным свойством системы молекул идеального газа, количество которых имеет порядок числа Авогадро (10^{23}).

Необъяснимость в данном случае не является чем-то необычным. По сути, все основные физические законы феноменологичны, на что впервые обратил внимание еще Эрнест Мах.

В последующем вероятностный подход в физике был развит Л. Больцманом и Дж. Гиббсом (считающимся создателем статистической физики). Согласно Больцману, вероятность пребывания термодинамической системы в состоянии с энергией E , Дж:

$$P \sim e^{-\frac{E}{kT}}, \quad (19)$$

где:

k — постоянная Больцмана, $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

T — температура в системе, К.

Позже Больцман обосновал истолкование энтропии термодинамической системы как величины, пропорциональной логарифму вероятности ее состояния. Таким образом, в классической физике вероятностный подход позволяет описать и спрогнозировать некоторые свойства систем, состоящих из огромного числа идентичных микрообъектов.

Некоторую модификацию понятие вероятности получило в рамках квантовой механики, в которой принято считать, что оно (точнее, плотность вероятности) применимо даже к отдельной микрочастице. Впрочем, здесь не будет противоречия со статистическим подходом, если рассматривать каждую такую частицу как систему, состоящую из большого числа частиц меньшего масштаба. Следует отметить, что среди физиков до настоящего времени не затихает дискуссия о природе вероятности в области квантово-механических явлений, т.е. явлений, масштаб которых по величине действия (произведение энергии на время) имеет порядок постоянной Планка: $6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

Подытоживая, мы видим, что физическая трактовка вероятности с достаточно высокой точностью позволяет описывать и прогнозировать некоторые свойства таких объектов, как ансамбли, состоящие из огромного числа идентичных частиц.

Инженерная и экономическая трактовки. Обе эти трактовки относятся к применению понятия вероятности к описанию и прогнозированию поведения реальных объектов техносферы и социума, существенно отличающихся своими свойствами от объектов, изучаемых физикой. Главное их отличие заключается в относительной уникальности каждого из них, делающей спорным применение к ним традиционных статистических подходов.

Использование здесь термина *инженерный* означает отсылку к инженерным методам расчета, отличающимся разумными упрощениями расчетной модели. Таковые упрощения позволяют с минимальными затратами вычислительных ресурсов получить приемлемую точность результата. Описанные нами в предыдущем разделе статьи методы оценки разновидностей техногенного риска, по сути, являются именно инженерными.

Автором инженерной, называемой также частотной трактовки вероятности считается Ричард фон Мизес, хотя схожие идеи нередко высказывались до него. Он полагал (первое издание книги вышло в 1928 г.), что

его толкование вероятности применимо для любых массовых явлений в термодинамике, генетике, страховании, теории азартных игр. Важнейшим понятием своей трактовки вероятности Р. фон Мизес назвал «коллектив» — результат многократного (в идеале — бесконечного) повторения опыта, а вероятностью — предел отношения m/N . Ключевой постулат трактовки вероятности Р. фон Мизесом — неограниченное стремление к нулю дисперсии относительной частоты m/N . Справедливость этого тезиса Р. фон Мизес доказывал, ссылаясь на многомиллионную статистику игорных домов Монте Карло [3]. Именно на этом тезисе традиционно построено изложение теории вероятности во всех учебниках.

Сделаем небольшое отступление. Теория вероятности в математической и частотной (инженерной) трактовках имеет дело со случайными массовыми событиями и процессами. При этом важно помнить, что трактовки случайного в математике и обыденной жизни (и техносферной безопасности) различаются. Если во втором случае случайными называют события с непредсказуемым исходом, то для математика случайным (синоним — стохастическим) является лишь то событие (число), которое подчиняется какому-либо распределению вероятности, — А. Н. Колмогоров: «математические объекты, не характеризующиеся вероятностью (не имеющие вероятностной меры), случайными не являются» [1]. В этой связи часто встречающиеся в техносфере недетерминированные, но не случайные события (числа) правильнее называть *неопределенными*.

Анализ показывает, что ключевой постулат частотной трактовки вероятности Р. фон Мизеса, по сути, эквивалентен существованию явления *статистической устойчивости* выборки, под которой обычно понимают стремление к нулю математического ожидания дисперсии выборочного среднего по мере неограниченного увеличения объема выборки.

И. Горбань уточняет, что на самом деле статистическая устойчивость выборки может быть определена по-разному: либо относительно ее среднего, либо среднеквадратического отклонения (СКО) [4]. Но это скорее математические нюансы.

Между тем важнейшим обстоятельством является то, что к настоящему времени накоплено достаточное количество фактов, позволяющих усомниться (в его точечной версии) в истинности ключевого

постулата (по сути, фундамента) частотной трактовки вероятности применительно к объектам и явлениям реального мира. Множество подобных фактов касательно выборок из различных областей науки и техники И. Горбань привел в своей монографии [4]. А. Вошинин в качестве возможных причин этого называет присутствие в них составляющих нестатистической природы, систематической погрешности, методических ошибок, ошибок округления и др. [5].

Указанное важное обстоятельство заставляет нас переосмыслить использование частотной трактовки вероятности как меры возможности причинения ущерба в рамках методологии анализа и оценки техногенного риска.

Для более адекватной оценки возможности реализации недетерминированных массовых событий реального мира, обладающих «ограниченной статистической устойчивостью», И. Горбанем разработана теория гиперслучайных чисел [4]. Согласно его толкованию, *гиперслучайная величина (процесс)* — это множество ансамблей случайных чисел (процессов) A , каждый из которых статистической устойчивостью обладает (а, следовательно, допускает частотную трактовку вероятности). Множество пределов относительных частот случайных чисел (процессов) этих ансамблей образует интервал между нижней $\inf(P(A/g))$ и верхней $\sup(P(A/g))$ границами (здесь g — условия проведения опыта).

Таким образом, И. Горбань, будучи физиком, видит основную причину ограниченной статистической устойчивости массовых объектов техносферы в изменениях (являющихся низкочастотным шумом) условий их функционирования. Он полагает, что «если зафиксировать условия g , гиперслучайные числа вырождаются в обычные случайные».

Однако применительно к процессам и явлениям, происходящим с массовыми объектами в техносфере, еще одной причиной ограниченной статистической устойчивости является значительный разброс их индивидуальных характеристик (даже таких однородных, на первый взгляд, как отрезки технологических трубопроводов). В этой связи, в отличие от молекул идеального газа, они образуют не единый статистический ансамбль (генеральную совокупность), а несколько субгенеральных совокупностей, элементы которых значительно ближе друг к другу по своим основным параметрам и/или условиям эксплуатации. И по этой причине частотные вероятности этих субгенеральных совокупностей

также образуют интервал: от $\inf(P(A/f))$ до $\sup(P(A/f))$ (здесь f — параметр, характеризующий совокупно их основные свойства и условия эксплуатации).

Не вдаваясь в анализ разброса f , можно учесть гиперслучайность A «по факту» (на основании анализа статистики событий) в интервальной постановке заданием параметров функций накопленной вероятности и плотности вероятности A вместо привычных скалярных интервальными числами (подробнее эта идея будет развита ниже).

Субъективная трактовка вероятности. На бытовом уровне понятие вероятность также используется, и довольно часто. Говорящий оценивает вероятность дождя или вероятность победы команды A над командой B и т.п. Ни одна из вышеописанных трактовок вероятности в таком случае непригодна, хотя бы потому, что ни о каких массовых событиях речь не идет. По сути, полуколичественно в баллах от 0 до 1, оценивается исключительно возможность реализации события. И это число является типичным результатом экспертной оценки.

История науки знает несколько попыток formalизовать методы интуитивной оценки индивидом субъективной вероятности любого события, наиболее известные из них принадлежат Л. Сэвиджу [6] и Бруно де Финетти [7]. В этой области принято говорить о вере индивида в реализацию события, подчеркивая иррациональные основания формирования им такой балльной оценки.

Разработанные для этой цели методы основаны на идее заключения условного пари, в котором индивид готов получить некоторую денежную сумму S при наступлении события E и выплатить сумму R в противном случае. В таком случае отношение $R/(R + S)$ характеризует субъективную оценку индивидом вероятности события E .

В теории субъективной вероятности разработано несколько логических правил, накладывающих ряд ограничений на высказывания, с тем чтобы формируемые значения вероятности отвечали общим требованиям ее исчисления (в частности, чтобы сумма вероятностей полной группы событий не превышала единицы).

4.2. Иные меры возможности причинения ущерба

Частота (ожидаемая частота) событий. Действующая в настоящее время методология анализа и количественной оценки некоторых разновидностей техногенного

риска предполагает при расчете их количественных показателей использование, наряду со значениями вероятности (условной вероятности) событий, значения средних частот их реализации в течение года.

С математической точки зрения использование понятия частоты без ряда явно сформулированных допущений для прогностических целей является ошибкой. Это обусловлено тем, что частота любого события — это всего лишь факт, зафиксированный в опыте для ограниченной группы объектов техносферы в течение оговоренного периода наблюдения. Если предположить, что данная целевая группа объектов принадлежит к одной генеральной совокупности, результаты экспериментов будут случайными числами, а если к разным генеральным совокупностям — гиперслучайными. Их статистическая обработка даст статистике — выборочное среднее, СКО и т.д. Математические правила оценки этих параметров для гиперслучайных чисел описаны в [4]. Представление всей совокупности этих параметров скалярным числом, как это делается в настоящее время, мягко говоря, некорректно.

Для того чтобы получить возможность прогнозирования на основании весьма ограниченной выборки значений частоты событий, полученных опытным путем, следует допустить, что:

- свойства наблюдаемой ограниченной группы объектов характерны для гораздо большей по объему группы объектов;
- эти свойства и условия эксплуатации объектов будут неизменными в течение неограниченного периода времени.

То есть, по сути, придать частоте события (значению, полученному в опыте) смысл вероятности как атрибутивного свойства данной группы объектов.

Теория возможности. Еще одной альтернативой понятию вероятности события является математическое понятие возможности в трактовке теории возможности, первая версия которой была предложена в 1978 г. Лотфи Заде в качестве одного из приложений своей теории нечетких множеств для оценки правдоподобности лингвистических переменных (экспертных суждений). В последующем усилиями ряда исследователей теория возможности получила свое дальнейшее развитие. Среди наиболее известных работ можно назвать монографию Д. Дюбуа и А. Прада [8], а также труды Ю. П. Пытьева, например [9].

Теория возможностей является построенной аксиоматически, аналогично математической версии — теорией вероятности. Она более приспособлена для оценки меры правдоподобности реализации массовых явлений, не обладающих статистической устойчивостью (гиперслучайных в трактовке И. Горбаня), т.е. событий с большей неопределенностью. В отличие от классической теории вероятности, в которой мерой правдоподобия реализации события A является точечное скалярное число $P(A)$ его вероятности, в теории возможности для этой цели используется два понятия: *возможность* события $Pos(A)$ и его *необходимость* $Nec(A)$, причем:

$$Nec(A) = 1 - Pos(\bar{A}). \quad (20)$$

4.3. Оценка возможности причинения ущерба с использованием интервальной вероятности

Как было установлено ранее, из-за своих индивидуальных различий массовые объекты реальной техносферы в большей части случаев не относятся к одной генеральной совокупности и потому не обладают статистической устойчивостью. Однако эту генеральную совокупность можно представить состоящей из бесконечного числа субгенеральных совокупностей, состоящих из практически идентичных массовых объектов (без индивидуальных различий), отличающихся от объектов соседней субгенеральной совокупности на бесконечно малую величину. При этом диапазон индивидуальных отличий является не только конечным, но и относительно небольшим, иначе идентификация этого массового объекта стала бы невозможной.

В таком случае можно полагать, что эти вновь образованные субгенеральные совокупности обладают статистической устойчивостью, а следовательно, пределу относительной частоты любого события для них в частотной трактовке может быть придан смысл его вероятности. По условию формирования субгенеральных совокупностей пределы относительных частот любого события для них образуют некоторый ограниченный интервал — отрезок числовой оси.

Если либо дедуктивно (на основании некоторых общих соображений), либо индуктивно (обработкой выборки статистическими методами) удастся обосновать справедливость для генеральной совокупности того или иного распределения вероятности, станет

возможным получение выгод, предоставляемых теорией вероятности:

- прогнозирование вероятности событий и их функций;
- вычисление статистик (статистических моментов);
- другое.

Отличие от классической теории вероятности будет заключаться в том, что параметры этих распределений (плотности вероятности, функции накопленной вероятности и иных) будут заданы не привычными точечными, а интервальными числами.

Проиллюстрируем сказанное на простейшем примере однопараметрического экспоненциального распределения (наиболее популярного в теории надежности технических систем), пригодного для так называемой «рабочей фазы» жизненного цикла ее элемента, для которой характерно постоянство величины интенсивности отказов. Вероятность отказа $P(t)$, год⁻¹, элемента технической системы при наработке t , ч, задается в данном случае соотношением:

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}, \quad (21)$$

где:

λ — интенсивность отказа элемента, ч⁻¹.

Задав интенсивность отказа λ интервальным числом $\lambda \in [3,2 \cdot 10^{-6}, 7,5 \cdot 10^{-6}]$ ч⁻¹, получим прогноз вероятности отказа $F(t)$ элемента при наработке $t = 7300$ ч/год, она прогнозируется на основании (21) интервальным числом $F(7300) \in [0,023; 0,053]$.

5. Методологические проблемы оценки величины последствий (ущерб)

Для первых трех рассматриваемых в этой статье разновидностей техногенного риска последствия (ущерб) в общем случае наиболее полны, поскольку могут включать в себя причинение ущерба людям, имуществу и окружающей среде (с учетом ущерба биоте), или, иначе говоря, иметь три составляющие:

- 1) гуманитарную (причинение вреда жизни и здоровью людей);
- 2) экологическую (загрязнение компонентов природной среды, ущерб биоте);
- 3) материальную (причинение вреда имуществу физических и юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу).

При этом количественная оценка гуманитарного компонента полного ущерба должна учитывать разные степени поражения людей — от причинения легких травм до летального исхода.

Для трех остальных разновидностей техногенного риска (профессионального, ущерба здоровью населения и экологического) последствия негативного события сводятся к одному из указанных трех компонентов полного ущерба.

Между тем, с методологической точки зрения в действующих подходах к исчислению величины полного ущерба при количественной оценке техногенного риска имеется немало нерешенных проблем. Это касается всех шести его разновидностей.

Главная из них заключается в том, что названные три составляющие полного ущерба не обладают аддитивностью (их нельзя складывать), поскольку НПА допускают различную их размерность, например:

а) гуманитарный ущерб предлагается оценивать прогнозируемым (или фактическим) числом погибших. Причем все сводится только к погибшим именно потому, что не получается суммировать число погибших с числом раненых (травмированных);

б) экологическую компоненту полного ущерба при ЧС отдельные методические документы предлагают оценивать площадью пораженной территории в км², или массой поступивших в окружающую среду загрязняющих веществ, т;

в) ущерб при оценке профессионального риска:

- общей длительностью временной нетрудоспособности (ВУТ), сут.;
- сокращением ожидаемой продолжительности предстоящей жизни (СОППЖ), год;
- нарушением функционального состояния организма.

Решение данной ключевой проблемы оценки полного ущерба заключается в достижении консенсуса относительно того, что все его компоненты должны быть монетизированы, т.е. выражены в денежном эквиваленте. В части экологической компоненты полного ущерба при ЧС, авариях и пожарах этот вопрос на сегодняшний день решен. Имеются соответствующие апробированные подходы и утвержденные методики. Самое сложное — это найти консенсус в профессиональном сообществе касательно оценки стоимости человеческой жизни. Если бы это удалось сделать на уровне российского законодателя (Федерального

собрания), дальнейшее значительно упростилось бы. Так, располагая легальной величиной стоимости жизни среднестатистического человека (СЖСЧ), без труда можно получить денежный эквивалент любой травмы. Это можно сделать, например, на основании механизма, утвержденного постановлением Правительства РФ, которым фактически определена степень утраты здоровья (и величины страховой выплаты), процентов, при получении работником любой травмы (перечень учитываемых видов травм занимает в постановлении Правительства РФ 19 страниц!)³⁵.

Альтернативный способ экономической оценки гуманитарного ущерба разработан Роспотребнадзором в 2011 г. применительно к оценке риска ущерба здоровью³⁶. Такой подход заключается в использовании показателя *цена риска потери здоровья* человеком *i*-ой возрастной группы населения из-за *j*-го вида заболевания или смерти. Этот показатель дифференцирован для пяти возрастных групп и учитывает две составляющие — объективную и субъективную. Объективная составляющая включает оценку:

- расходов на все виды лечения;
- расходов из фонда социального страхования;
- потери налоговых отчислений в бюджет и внебюджетные фонды;
- расходов на приобретение медицинских товаров и услуг (по-видимому, на стадии реабилитации);
- прочих расходов (не расшифровано).

Субъективная компонента цены риска призвана учесть субъективный дискомфорт индивида, интересы его близких и родственников. Задумано верно, но это скорее лишь пожелание, поскольку корректная, с относительно небольшой неопределенностью, оценка субъективной компоненты цены риска едва ли возможна.

Практика доказала нежизнеспособность предложенного подхода. Чтобы сделать эту схему работоспособной, необходимы объемные справочные материалы значений цены риска по всем заболеваниям,

дифференцированные не только по пяти возрастным группам, но и по всем субъектам России, поскольку межрегиональные различия очевидны, к тому же требующие ежегодной индексации для учета инфляции.

Второй серьезной методологической проблемой оценки полного ущерба негативного техногенного события (ЧС, взрыва/пожара) является отсутствие четкого перечня объектов, причиняемый ущерб которым подлежит учету. Нередко НПА и НД в преамбуле приводят довольно широкий перечень таких объектов. Например, Руководство по безопасности основной целью анализа риска аварий называет «установление степени аварийной опасности ОПО и/или его составных частей для заблаговременного предупреждения угроз причинения вреда жизни, здоровью людей, вреда животным, растениям, окружающей среде, безопасности государства, имуществу физических и юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу»³⁷. Таким образом, полный ущерб от аварии, по версии этого НД, наряду с тремя вышеназванными составляющими, должен содержать еще оценку ущерба (вреда):

- а) безопасности государства;
- б) причинения вреда жизни и здоровью биоты (флоре и фауне);
- в) имущественным интересам владельца ОПО и третьих лиц.

Не отрицая правильности их учета в принципе, следует четко признать, что поскольку в настоящее время *методы* экономической оценки названных видов ущерба отсутствуют, они не должны входить в число учитываемых. Их следует вынести на перспективу, только когда такая возможность появится в будущем.

Касательно оценки величины последствий имеется и ряд более частных проблем.

Заключение

Как показано в статье, с методологической точки зрения к настоящему времени разнородности техногенного риска в России разработаны неодинаково. В лидерах риски — пожарный и аварийный, а замыкает список риск экологический (несмотря на свою солидную историю). Однако и у ведущих его разновидностей

³⁵ Постановление Правительства РФ от 15.11.2012 № 1164 «Об утверждении Правил расчета суммы страхового возмещения при причинении вреда здоровью потерпевшего» (с изменениями и дополнениями) в редакции постановления Правительства РФ от 21.02.2015 № 150 с учетом решения Верховного Суда РФ от 12.07.2022 № АКПИ22-254.

³⁶ МР 5.1.0029-11 Методические рекомендации к экономической оценке рисков для здоровья населения при воздействии факторов среды обитания.

³⁷ Руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утв. приказом Ростехнадзора от 03.11.2022 № 387.

немало методологических проблем, касающихся как количественной оценки возможности наступления нежелательного события, так и оценки величины его последствий.

Из всего спектра альтернатив для оценки возможности событий автором предложено использование интервальной вероятности — способа, наиболее адекватного объектам реальной техносферы. Это позволит, в том числе, явно выразить и, что еще важнее, количественно оценить неопределенность, являющуюся атрибутом (неотъемлемым свойством) любых количественных оценок, в том числе показателей техногенного риска. В этом случае неопределенность количественно будет характеризоваться шириной интервального числа.

Подытоживая, следует заключить, что для успешной реализации риск-ориентированного подхода в области техносферной безопасности требуется серьезное совершенствование его методологических основ.

Список источников [References]

1. Колмогоров А. Н. Основные понятия теории вероятностей. М.-Л.: ОНТИ, 1936. 80 с. [Kolmogorov A. N. Basic concepts of probability theory. M.-L.: ONTI, 1936. 80 p. (In Russ.)]
2. Алимов Ю. И., Кравцов Ю. А. Является ли вероятность «нормальной» физической величиной? // Успехи физических наук. 1992. Т. 162. № 7. С. 149–182 [Alimov Yu. I., Kravtsov Yu. A. Is probability a “normal” physical quantity? // Successes of physical sciences. 1992;162(7):149–182. (In Russ.)]
3. Richard Von Mises Probability, Statistics and Truth 2nd ed. Dover Publications, Inc. New York, 1957. 257 p.
4. Горбань И. И. Случайность и гиперслучайность К.: Наукова думка, 2016. 291 с. [Gorban I. I. Randomness and hyper-randomness K.: Naukova Duma, 2016. 291 p. (In Russ.)]
5. Вошинин А. П. Интервальный анализ данных: развитие и перспективы // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2002. Т. 68. № 10. С. 118–126 [Voshchinin A. P. Interval data analysis: development and prospects // Industrial Laboratory. Materials Diagnostics. 2002;68(10):118–126. (In Russ.)]
6. Savage Leonard J. The Foundations of Statistics. New York, Wiley, 1954. 294 p.
7. De Finetti, Bruno Theory of probability. A critical introductory treatment. Chichester, John Wiley and Sons. 1979. 605 p.
8. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике / Д. Дюбуа, А. Прад; ред. пер. Орловский С. А.; пер. с фр. Тарасов В. Б. М.: Радио и связь. 1990. 286 с. ISBN 5-256-00184-1 [Dubois D., Prad A. Theory of possibilities. Applications to the representation of knowledge in computer science / D. Dubois, A. Prad; ed. trans. Orlovsky S. A.; trans. from fr. Tarasov V. B. M.: Radio and communications. 1990. 286 c. ISBN 5-256-00184-1]
9. Пытьев Ю. П. Возможность как альтернатива вероятности. Математические и эмпирические основы, применение / монограф. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 464 с. [Pyatiev Y. P. Possibility as an alternative to probability. Mathematical and empirical foundations, application / monograph. M.: FIZMATLIT, 2007. 464 p. (In Russ.)]

Сведения об авторе

Колесников Евгений Юрьевич: доктор технических наук, профессор высшей школы техносферной безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (ФГАОУ ВО «СПбПУ»), доцент
 Количество публикаций: более 110
 Область научных интересов: анализ и количественная оценка неопределенности параметров техногенного риска
 Scopus Author ID: 57212259662
 ORCID: 0000-0003-0833-6863
 SPIN-код: 9473–1733
 Контактная информация:
 Адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29
 e.konik@list.ru

Статья поступила в редакцию: 15.04.2024

После доработки: 11.10.2024

Одобрена после рецензирования: 15.10.2024

Принята к публикации: 18.10.2024

Дата публикации: 27.12.2024

The article was submitted: 15.04.2024

Received after reworking: 11.10.2024

Approved after reviewing: 15.10.2024

Accepted for publication: 18.10.2024

Date of publication: 27.12.2024