

УДК 614.83:519.688
 ББК 05.26.03
<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2019-16-3-78-93>

ISSN 1812-5220
 © Проблемы анализа риска, 2019

Тематика неопределенности в публикациях журнала «Проблемы анализа риска»¹

Е. Ю. Колесников,
 ФГБОУ ВО «Поволжский
 государственный
 технологический университет»,
 424000, Россия, г. Йошкар-Ола,
 пл. Ленина, д. 3

Аннотация

В статье рассматривается проблема неопределенности в различных разделах анализа риска, ее происхождение, методы количественной оценки в области анализа техногенного риска. Выполнен анализ статей, опубликованных на страницах журнала «Проблемы анализа риска», в той или иной степени посвященных тематике неопределенности.

Ключевые слова: риск и неопределенность, методы количественной оценки неопределенности.

Для цитирования: Колесников Е.Ю. Тематика неопределенности в публикациях журнала «Проблемы анализа риска» // Проблемы анализа риска. Т. 16. 2019. № 3. С. 78—93, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2019-16-3-78-93>

A topic of uncertainty in the publications of the journal “Issues of Risk analysis”

Evgeny Yu. Kolesnikov,
 Volga State University of
 Technology,
 424000, Russia, Yoshkar-Ola,
 Lenin Square, 3

Annotation

In article the uncertainty problem in various sections of risk analysis, its origin, methods of quantitative assessment in the field of the analysis of technogenic risk is considered. The analysis of articles published on the pages of the “Issues of Risk analysis” magazine in a varying degree devoted to subject of uncertainty is made.

Keywords: risk and uncertainty, methods of quantitative assessment of uncertainty.

For citation: Kolesnikov Evgeny Yu., A topic of uncertainty in the publications of the journal “Issues of Risk analysis” // Issues of Risk Analysis. Vol. 16. 2019. No. 3. P. 78—93, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2019-16-3-78-93>

Содержание

Введение

1. Понятие неопределенности, ее происхождение и классификация
2. Техногенный риск и неопределенность
3. Методы количественной оценки неопределенности параметров техногенного риска
4. Анализ статей по теме неопределенности, опубликованных на страницах журнала

Заключение

Литература

¹ Статья подготовлена Е. Ю. Колесниковым по заказу редакции. Мнение редакции может не совпадать с изложенной в статье позицией автора.

Введение

Неопределенность относится к числу основных научных проблем. Не будет преувеличением сказать, что она является антитезой знания, поскольку под натиском научного поиска *terra incognita* неопределенности отступает, расширяя горизонты научной картины мира. Следует различать качественный и количественный аспекты неопределенности, каждый из которых важен и имеет свои особенности выражения и оценки [1.11].

Особой научной проблемой является соотношение между понятиями «неопределенность» и «риск». Совершенно очевидно, что в качественном смысле эти понятия близки и тесно переплетаются. Анализируя исследования данной проблемы ретроспективно, трудно переоценить влияние опубликованной в 1921 г. монографии Фрэнка Найта (Knight F.) "Risk, uncertainty and profit" (имеется русский перевод [2.1]). Достаточно сказать, что и сегодняшняя трактовка этого соотношения в области экономических наук практически идентична найтовской [1.19].

Что касается риска аварийного, безусловный приоритет принадлежит отчету "WASH-1400" о безопасности коммерческих ядерных реакторов [2.2], разработанному группой проф. Расмуссена в 1975 г. В нем впервые, уже в 1972 г., в самом начале работы над отчетом, была поставлена в повестку дня проблема наличия неопределенности оценок риска аварий, указаны ее источники, сделаны первые попытки ее количественной оценки. Следует подчеркнуть, что в области риска аварийного (техногенного) акценты расставлены несколько иначе, неопределенность здесь рассматривается по большей части как мера разброса величины параметров риска, являющихся результатами расчетов.

Важность проблемы неопределенности для техногенного риска демонстрирует история с серией отчетов [2.3—2.5] специального комитета Национальной академии наук США, созданного по решению Конгресса. Данному комитету было поручено проанализировать методологию анализа и оценки экологического риска. В первом же своем отчете, датированном 1983 г., комитет заключил, что проблема наличия и количественной оценки неопределенности является ключевой для названной методологии. Более того, спустя 26 лет, в отчете 2009 г.

этот комитет констатировал, что проблема неопределенности оказалась настоящим «крепким орешком» и по-прежнему ожидает своего решения.

Не будет преувеличением сказать, что в поле зрения современной отечественной науки проблема неопределенности занимает слишком малое место, совершенно не подобающее ее значимости. Это резко контрастирует с положением дел в мировой науке. На «международном» английском языке опубликованы десятки монографий (в основном по теме неопределенности в экономико-социальной сфере), множество научно-исследовательских отчетов (см. например, [2.3—2.11] — малая толика!), сотни научных статей, защищено немало диссертаций, выходят специализированные научные журналы: "International Journal for Uncertainty Quantification", "Journal of Uncertainty Analysis and Applications", "SIAM/ASA Journal on Uncertainty Quantification" и др. Данную ситуацию весьма красноречиво демонстрирует различное по полноте содержание статей Википедии на английском (Uncertainty) и русском (неопределенность) языках.

Отечественный журнал «Проблемы анализа риска» (ПАР) в этом отношении является отрадным исключением — число публикаций на его страницах, посвященных проблематике неопределенности, со временем возрастает. Более того, соотношение понятий «неопределенность» и «риск» неоднократно становилось главной темой его выпусков.

В первой части библиографического списка к данной статье нами отражены работы, опубликованные ПАР по данной тематике, начиная с 2004 г. (просим прощения у авторов, чьи статьи, если таковые имеются, по нашей невнимательности в список не попали). В четвертом разделе настоящей статьи будет сделана попытка проанализировать эти работы.

1. Понятие неопределенности, ее происхождение и классификация

Неопределенность — понятие многогранное и многоаспектное, характерное для любой научной области. В прошлом неоднократно предпринимались попытки дифференцировать ее типы и источники, завершившиеся в целом общепринятой классификацией. Ставший уже каноническим подход

к пониманию происхождения неопределенности изложен, например, в [2.7]:

1) в конце 80-х гг. прошлого века пришло понимание [2.8], что существует два принципиально различных источника неопределенности:

- первый из них связан с изменчивостью свойств изучаемого объекта как во времени, так и в пространстве. Это так называемая *aleatory*, или стохастическая неопределенность. Она же — *вариативность, изменчивость* свойств феноменов нашего мира. Важно отметить, что *aleatory* объективна, принципиально неустранима и не зависит от познающего субъекта;

- второй обусловлен фактором субъективным — недостаточностью (неполнотой, неточностью, неоднозначностью) имеющихся знаний о свойствах изучаемого объекта. Данная разновидность неопределенности сначала была названа эпистемологической (*epistemological*), позже термин сократился до *epistemic* (*эпистемической*). В отличие от стохастической неопределенности эпистемическая неопределенность после получения нового знания может быть уменьшена. Касаясь проблемы эпистемической неопределенности, авторы отчета [2.7] предлагают различать случаи *частичного знания* (когда мы отдаем себе отчет в том, что мы не знаем, а неопределенность, хотя бы качественно, может быть оценена) и *полного незнания* (когда мы даже не догадываемся о том, что не знаем). Очевидно, что во второй ситуации эпистемическая неопределенность является принципиально не только неопределимой, но и неустранимой. В [2.12] для этого типа неопределенности предложен специальный термин *indeterminacy* (*неопределимость*).

Наличие принципиально неустранимой неопределенности эквивалентно утверждению, что неопределенность является атрибутом любого параметра объекта, оцениваемого количественно [1.11]. В силу этого величина такого параметра не может быть корректно задана точечным числом (в противном случае будет иметь место *скрытая* неопределенность).

Как известно, моделирование является ядром современной науки, причем не только в естественной и инженерной областях, но и в исследованиях социально-экономических систем и явлений. Разнообразие применяемых моделей превеликое

множество, однако их объединяющим началом является упрощение — модель всегда проще оригинала (по количеству учитываемых особенностей, действующих факторов и т. д.). В силу данного обстоятельства, согласно международному словарю по метрологии [2.13], любая модель, что называется, по определению обладает принципиально неустранимой внутренней (*intrinsic*) неопределенностью.

Рассматривая классификацию типов неопределенности, следует указать, что с моделированием связаны два ее основных типа — *модельный* и *параметрический* [1.16]:

- модельная неопределенность, помимо *intrinsic*, обусловлена еще и альтернативностью используемых моделей. Совершенно обычной является ситуация, когда для описания одного и того же явления, объекта разными авторами разрабатываются различные модели, конкурирующие между собой. Совершенно очевидно, что даже при задании идентичных исходных данных результаты моделирования по таким моделям будут различаться;

- параметрический тип неопределенности заключается в том, что математические модели содержат ряд параметров, которые следует задавать количественно, выражая числом. В силу вышеуказанных обстоятельств (*aleatory, epistemic*) величине подавляющей части параметров модели обоснованно можно приписать лишь некоторый диапазон, интервал. В этом суть параметрической неопределенности.

Наряду с двумя названными важное значение имеет еще один тип неопределенности — терминологический [2.7]:

- терминологическая неопределенность (*ambiguity*) обусловлена не только нечеткими, неоднозначными формулировками используемых терминов и понятий, но и различным их толкованием специалистами. Последнее связано с различным менталитетом людей — из-за разницы не только в полученном базовом образовании, но и в стандартах и стереотипах среды, в которой они живут и работают. Некоторые авторы называют этот тип неопределенности *коммуникативным*, акцентируя внимание на неопределенности, возникающей в процессе передачи знаний от человека к человеку.

Еще одним типом неопределенности является вычислительный [1.29]:

- вычислительная неопределенность практически всегда сопровождает результаты современного математического моделирования. Происходит это оттого, что аналитические решения модельных уравнений доступны в очень редких случаях. Значительно чаще решения по расчетным моделям получают на ЭВМ методами приближенных вычислений с сопутствующей неопределенностью, аккумулирующей неточности неизбежного округления чисел с плавающей запятой, отбрасывания членов ряда, прерывания итерационных вычислений и т. д.

Отметим, что в исследованиях неопределенности социально-экономических систем идентифицированы иные ее подтипы, являющиеся частными случаями приведенных выше четырех ее основных типов.

2. Техногенный риск и неопределенность

Как известно, алгоритм расчета риска, позволяющий выразить его числом, который удовлетворил бы если не всех, то хотя бы большую часть специалистов по риск-анализу, к настоящему времени, к сожалению, отсутствует. Предложены лишь определения риска достаточно общего типа, например:

- риск — сочетание вероятности события и его последствий [2.14];
- как количественная мера риск есть функция двух переменных — частоты и последствий нежелательного события: $\text{риск} = f(F, C)$, где F — частота; C — последствия [2.15].

При общей схожести эти два толкования риска различаются:

- а) первое опирается на *вероятность* события, второе говорит о его частоте (что, вообще говоря, совсем не одно и то же);
- б) второе толкование предполагает учет только нежелательных последствий (эквивалентных причинению того или иного вида ущерба).

Таким образом, уже на этом, самом первом шаге налицо терминологическая неопределенность.

Объектная и предметная области риск-анализа весьма обширны и охватывают едва ли не все сферы деятельности человека. Дело в том, что нежелательные последствия недетерминированно могут наступить при любой его активности — от личных взаимоотношений до глобальной политики, от прожи-

вания вблизи опасного производственного объекта до инвестиций в акции, при посещении торгового центра и авиапутешествии. А коль скоро нежелательные последствия возможны, но не обязательно наступят, риск имеет место быть.

Сферой нашего профессионального интереса уже много лет является неопределенность при оценке техногенного, точнее — аварийного и пожарного рисков, поэтому в дальнейшем сосредоточимся на этой, относительно узкой области риск-анализа.

Принятие тезиса, что стратегической целью теории анализа техногенного риска является разработка инструментария для максимальной объективизации оценивания техногенных опасностей, означает, что важнейшей его задачей является минимизация субъективного, личного фактора эксперта. Анализ результатов сравнительного эксперимента ASSURANCE [2.16], как и других ему подобных, показал, что в рамках действующей методологии количественная оценка техногенного риска (КОР) до сих пор остается своего рода искусством, в котором индивидуальность, как и положено в искусстве, играет значительную роль [1.7]. Именно это обстоятельство не позволяет многим специалистам относить риск-анализ к области классической науки (*hard science*). Следовательно, как уже было отмечено во введении, совершенствование методов анализа и количественной оценки неопределенности параметров риска является ключевой проблемой данной методологии.

Подчеркнем, что в области анализа техногенного риска неопределенность имеет два принципиально различных аспекта — качественный и количественный. Совершенно аналогичным образом трактуется неопределенность (измерительная) в современной метрологии (см. международное Руководство по выражению измерительной неопределенности [2.17] или русский перевод предшествующего его издания [2.18]):

- качественный аспект неопределенности означает, что любой результат количественной оценки техногенного (пожарного, аварийного, экологического) риска принципиально нельзя выражать точным числом (любая таковая его оценка есть не что иное, как грубое нулевое приближение);
- количественный аспект неопределенности указывает на способы выражения и оценки

диапазона величины параметра, который ему может быть обоснованно приписан на основании всего объема имеющейся информации (подобно метрологии).

Важнейшему этапу количественной оценки неопределенности (КОН) параметров техногенного риска должен предшествовать этап ее качественного анализа [1.11]. Дело в том, что в каждом конкретном случае факторы, обуславливающие наличие неопределенности решаемой задачи, рассматриваемого объекта или феномена техносферы, сугубо различны. Их идентификация и является задачей этапа качественного анализа неопределенности (КАН).

Таким образом, в области техногенного риска неопределенность в качественном смысле означает, что в силу наличия ряда обстоятельств (часть из которых неустранима в принципе, остальные могут быть либо устранены, либо уменьшено их влияние) результаты количественной оценки величины любого параметра всегда представлены некоторым диапазоном. Количественный аспект неопределенности заключается в обоснованном выборе способа, который используется, чтобы этот диапазон корректно оценить, и собственно получении такой оценки.

3. Методы количественной оценки неопределенности параметров техногенного риска

Очевидно, что необходимость учета неопределенности при моделировании явлений природы, функционировании сложных машин и тем более социально-экономических систем была понятна исследователям давно. Однако необходимый для этого математический инструментарий отсутствовал, поэтому не вызывает удивления «бешеная» популярность метода Монте-Карло, изобретенного в конце 40-х гг. прошлого века. Менее чем через 20 лет Лотфи Заде предложил свои нечеткие числа (fuzzy sets), которые также быстро нашли широчайшее применение в самых разных областях. В наше время быстро набирают популярность интервальные методы, предложившие хорошую альтернативу двум названным методам в задании величины неопределенных параметров и методах обращения с ними.

В области техногенной безопасности проблема количественной оценки неопределенности впервые

была поставлена в повестку дня в 1972 г., в самом начале работы группы проф. Расмуссена над проектом “WASH-1400”. С тех пор, судя по количеству ежегодно публикуемых научных работ, во всем мире ведется интенсивный научный поиск путей ее решения. Для выполнения КОН используют качественные, полуколичественные и количественные методы. С классической точки зрения последние принято делить на вероятностные и детерминированные, хотя в последнее время предложен и ряд гибридных методов выполнения КОН (см. например, [2.19—2.24]).

Понятию *вероятности*, являющемуся краеугольным для методологии анализа риска, подавляющая часть публикуемых научных работ по данной теме внимания не уделяет. По-видимому, считается, что она понимается людьми на интуитивном уровне (примерно как *время*). Отчасти так оно и есть, поскольку, согласно Математическому энциклопедическому словарю [2.25], теория вероятностей есть набор формализованных процедур над вероятностями и их функциями распределения. Сами значения вероятностей в конкретной задаче принимаются на основании соображений либо интуитивных, либо общего типа — например симметрии. Важную роль в теории вероятностей играют так называемые предельные теоремы — закон больших чисел, центральная предельная теорема, теоремы Бернулли и Лапласа [2.25].

Как известно, существуют три основные трактовки вероятности:

- классическая — частотная, выросшая из теории азартных игр;
- аксиоматическая, предложенная А. Н. Колмогоровым;
- субъективная, основанная на формализации суждений (например, в версии Сэвиджа (Savage) [2.26]).

Как известно, классическая механика, построенная на детерминистических принципах, вполне успешна при описании работы простых механизмов, в которых число учитываемых действующих факторов невелико, а остальными можно пренебречь. Триумфом детерминизма можно назвать небесную механику Кеплера, позволяющую, например, на несколько веков вперед рассчитать затмения планет с точностью до секунд.

Вероятностный подход основан на постулировании применимости вероятностных законов. Само понятие закона означает, в частности, устойчивость каких-то соотношений между параметрами. В случае вероятностных закономерностей это проявляется как статистическая устойчивость явлений, когда при увеличении объема выборки выборочное среднее, например, стремится к величине математического ожидания.

В таких научных областях, как:

- теория азартных игр (когда игральные кости и карточные колоды изготовлены «честно»);
 - статистическая физика, описывающая поведение ансамблей большого числа одинаковых частиц;
 - квантовая физика —
- вероятностный подход доказал свою состоятельность. В его рамках предсказывают усредненные значения некоторых параметров, обладающие устойчивостью.

Подчеркнем, что для успешности вероятностного описания объекта очень важна «одинаковость» составляющих его частей (молекул, граней кубика и т. д.). Только при этом условии можно рассчитывать на проявление закономерностей, т. е. на выполнение требований научного подхода.

Укажем на одно важное обстоятельство — в русском языке слово «случайный» часто трактуется расширительно (как синоним слову недетерминированный). В строгом математическом (и физическом) смысле случайной называется величина, подчиняющаяся вероятностным закономерностям. Между тем довольно часто встречаются величины, не являющиеся ни детерминированными, ни случайными. В силу недетерминированности их величину точно предсказать не представляется возможным, однако одновременно они не проявляют и важнейшего свойства статистической устойчивости. Специальный термин для подобных недетерминированных, но и не случайных величин, отсутствует [2.27].

Между тем, как показывает анализ, далеко не все объекты риск-анализа удовлетворяют требованию статистической устойчивости. Это касается как объектов экономических (или инвестиционных проектов), так и опасных объектов техносферы. Любой конкретный объект обладает совокупностью родовых свойств (собственно и позволяющих его идентифицировать) и индивидуальных особенностей.

По-видимому, важно именно количественное соотношение величины тех и других. Следовательно, для выполнения задач анализа и оценки риска реальных объектов более адекватным, чем классический вероятностный подход, математическим формализмом являются его расширения — аппарат интервальных или нечетких вероятностей.

Возвращаясь к способам выполнения КОН, отметим, что вероятностный подход наиболее широко применяется при выполнении КОР объектов ядерного цикла [1.7]. Происходит это по ряду причин:

- во-первых, так сложилось исторически, еще со времени отчета "WASH-1400";
- во-вторых, имеется удобный инструмент статистического моделирования — метод Монте-Карло, предложенный фон Нейманом и Станиславом Уламом в 1946 г.;
- в-третьих, номенклатура элементов ядерных реакторов относительно невелика, в наличии информативные базы данных о параметрах их надежности.

Свойства же реальных опасных производственных объектов широкой номенклатуры таковы, что ни они сами, ни их технологические блоки не образуют генеральных совокупностей. Стало быть, статистической устойчивостью эти свойства не обладают. А это непосредственно означает, что условия применимости вероятностного подхода к выполнению КОН параметров техногенного риска подобных объектов отсутствуют [1.29].

Классической альтернативой вероятностному способу выполнения КОН параметров техногенного риска служит детерминистический подход, подразумевающий оценку границ диапазона, в котором может меняться величина оцениваемого параметра риска. Разработаны следующие разновидности детерминистического оценивания неопределенности параметров риска:

- коэффициента неопределенности;
- граничных значений;
- интервальный.

Важно подчеркнуть, что в детерминистической постановке оцениваются только границы диапазона неопределенности величины параметра, никаких утверждений или оценок о ее поведении внутри интервала не делается [1.29].

В последнее время выполнение не только КОР, но и любых инженерных расчетов в интервальной

постановке обрело большие перспективы. Обусловлено это тем, что способы подавления присущих ему недостатков реализованы в виде специальных процедур, входящих в пакеты интервального анализа (например, INTLAB — интервального приложения к MATLAB). Именно эти недостатки долгое время препятствовали широкому использованию интервальных вычислений. Определенной вехой в этом смысле является опубликование в ноябре 2017 г. Международным союзом чистой и прикладной химии (IUPAC) Периодической таблицы элементов [Д. И. Менделеева], в которой атомные массы ряда элементов представлены интервальными числами [2.27].

Интервальное число — суть выражение интервального типа неопределенности, подразумевающей, что истинная (точечная) величина находится где-то между его нижней и верхней границами, более ничего не известно.

Интервальный расчет позволяет получить количественную оценку неопределенности результата непосредственно, поскольку неопределенность в данном случае характеризуется шириной его интервала.

4. Анализ статей по теме неопределенности, опубликованных на страницах журнала

Десять наших работ из первой части библиографического списка посвящены анализу соотношения между понятиями «неопределенность» и «риск», выполнению КОР в интервальной постановке, вопросам качественного анализа неопределенности данной процедуры, количественной оценке неопределенности параметров пожарного (аварийного) риска, нормированию интервальных метрик аварийного риска.

Авторы большей части остальных статей исследуют вопросы анализа и управления риском при наличии неопределенности в финансовой области (инвестиционные риски), промышленной безопасности, безопасности критически важных объектов, методы уменьшения неопределенности в военном деле (при создании средств радиоэлектронной борьбы). Несколько работ Е. А. Кузьмина посвящены неопределенности социально-экономических систем — ее классификации, методам количественной оценки и управления ею.

Начнем с обзора статей, посвященных неопределенности при оценке и управлению риском опасных производственных объектов как наиболее близкой нам тематике. Именно данному вопросу посвящена краткая рецензия В. И. Авдийского [1.1] на статью А. И. Гражданкина и А. С. Печеркина — хронологически первой обнаруженной нами публикации ПАР, затрагивающей проблему неопределенности риска. В своем отзыве Владимир Иванович излагает традиционную трактовку соотношения между понятиями «неопределенность» и «риск», предложенную Ф. Найтом.

В своей объемной статье [1.12] М. Н. Тихонов и М. И. Рылов исследуют неопределенность при оценке рисков объектов ядерной энергетики. Они отмечают, что в рамках вероятностного анализа безопасности (ВАБ) обычно КОР выполняется лишь для двух «проектных» сценариев аварии — наиболее вероятного и с наибольшим ущербом. При этом так называемые запроектные аварии, характеризующиеся тяжелыми последствиями, но крайне маловероятные, остаются вне рассмотрения.

Говоря о неопределенности риска аварий, авторы дифференцируют два ее типа — детерминистический и вероятностный. По-видимому, они имеют в виду способ выполнения КОН, ибо сама неопределенность, что называется, по определению не может быть детерминированной. К сожалению, в статье отсутствует авторское толкование модельной и параметрической неопределенности, поэтому проанализировать предложенные ими способы оценки неопределенности не представляется возможным.

Трудно согласиться с мнением М. Н. Тихонова и М. И. Рылова о том, что «неопределенность может отождествляться с нечеткими мерами», «квантификация риска через неопределенность достижима в нечетких возможностных мерах и мерах правдоподобия...». На наш взгляд, надо четко отграничивать факторы неопределенности (ее источники), собственно и генерирующие неопределенность (в качественном смысле) и оценку разброса величины параметров риска — суть количественной оценки неопределенности.

Говоря об интервальных оценках, авторы имеют в виду только доверительные интервалы, т. е. не выходят за рамки вероятностного подхода. Напрасно, поскольку интервальный анализ смог предложить

хороший инструментарий для решения множества задач, в том числе трудно решаемых в рамках классического математического анализа [2.28].

Наряду с оценкой неопределенности в вероятностной постановке авторы допускают привлечение аппарата нечетких чисел и полагают, что их объединение стало бы большим подспорьем. Предложенный авторами подход к анализу источников неопределенности в области аварийного риска, ее классификации заслуживает упрека в некоторой самоограниченности — библиографический список статьи содержит только русскоязычную литературу. Между тем можно порекомендовать ряд отличных монографий по рассматриваемой проблеме на английском, например [2.29—2.31], в которых она рассмотрена гораздо шире.

Статья А. В. Рыбакова с соавторами [1.28] рассматривает вопросы учета неопределенности при оценке промышленной безопасности опасных производственных объектов (ОПО). Авторы указывают на скрытую неопределенность точечных значений, традиционно используемых для задания величины различных параметров, например параметров надежности критически важных элементов ОПО.

Выход из ситуации они видят в замене скалярных значений величин нечеткими числами с нормированными функциями принадлежности. К сожалению, в статье не содержится пояснений, почему именно центр тяжести «фигуры» предложено выбирать в качестве комплексного показателя мониторинга ОПО.

Своей предметной областью несколько отличается от прочих статья В. В. Алексеева и Е. И. Карасевой [1.14], посвященная учету неопределенности при оценке риска в самых разных областях — от операционной банковской прибыли до наркотизации населения. Несколько необычна используемая авторами терминология:

- «синтез вероятности событий» — возможно, имеется в виду «синтез наилучших оценок вероятности событий»;
- «статистическая оценка выступает как мнение еще одного эксперта» — применение статистического анализа экспертных суждений возможно только при выборке весьма значительного объема — так, международный стандарт ISO 6658 [2.31] по оценке запаха на основе экспертных оценок требует участие не менее чем 50 специалистов.

С качественным анализом факторов, влияющих на решение трудных проблем типа наркотизации населения или распространения коррупции, можно согласиться, а с их вероятностной трактовкой — едва ли, разве лишь в субъективной трактовке вероятности.

Авторы двух статей [1.23] и [1.26] по учету неопределенности при проектировании средств радиоэлектронной борьбы защищают тезис о том, что всякая унификация и стандартизация ведут к сокращению неопределенности. Не станем его оспаривать.

В своей интересной статье [1.20] Виталий Николаевич Цыгичко рассматривает вопросы управления безопасностью критически важных объектов (КВО) в условиях неопределенности. Качественное многообразие КВО, принципиальная неполнота информации об их внутреннем состоянии и внешней среде делают нетривиальной задачу поиска универсальных алгоритмов наилучшего управления безопасностью подобных объектов. Ее сложность заключается в обосновании для каждого конкретного КВО такой суммы затрат на обеспечение его безопасности, при которой эти затраты находились бы в оптимальном соотношении с возможным ущербом.

Автор пишет, что с учетом наличия альтернативности поведения объектов в условиях неопределенной внутренней и внешней среды критерием их безопасности избран риск [в своем количественном смысле, как результат расчета]. Может быть, чтобы оттенить количественный аспект, предпочтительнее использовать понятия *показатель риска*, *уровень риска* и т. п.?

Как известно, риск является функцией вероятности причинения ущерба заданной величины. Совершенно очевидно, что если «под риском нарушения безопасности КВО понимать вероятность реализации потенциальных угроз критическим элементам его инфраструктуры при существующей системе защиты», то в качестве его оценки можно получить только функцию, аргументами которой являются либо интервалы, либо нечеткие числа.

Для снятия неопределенности при оценке угроз КВО В. Н. Цыгичко предлагает применять испытанный консервативный подход — постулировать, что в изучаемом периоде угроза КВО

непрерывно реализуется, причем именно в самом слабо защищенном месте. Он указывает, что большая неопределенность при оценке риска безопасности КВО связана с неизвестными источниками риска (разновидность эпистемической неопределенности «мы знаем, что мы не знаем»).

Между тем излагаемый им в разделе 3 статьи метод обоснования управленческих решений в условиях неполноты информации касается иного случая — когда фактор известен, но неизвестна его величина (причем принято, что она должна меняться непрерывно и заполнять интервал без лакун).

По-видимому, предлагаемую автором аксиоматику следовало бы дополнить четвертой аксиомой о постулировании равномерного распределения величины внутри интервалов. Этот тезис, известный как постулат Томаса Байеса, сам он при жизни так и не решился опубликовать [2.33]. Вряд ли можно назвать его естественным всегда и везде.

Наибольшее число (12) опубликованных в ПАР статей по теме неопределенности совершенно ожидаемо посвящено экономической области, проанализируем их в хронологическом порядке (за исключением пяти работ Е. А. Кузьмина, заслуживающих особого рассмотрения).

В. М. Аньшин с соавторами (ГУ ВШЭ) исследуют неопределенность инвестиционного риска. В статье [1.2] они отмечают, что всего через несколько лет после своего появления метод Монте-Карло уже применялся для оценки неопределенности инвестиционного проекта. Однако, как известно, метод статистического моделирования требует постулирования вида распределения вероятности «случайного» параметра. И в этом кроется серьезная методологическая проблема — в случае нового, инвестиционного проекта — а на каких, собственно, основаниях (имеется ли необходимая статистическая устойчивость)?

В рассматриваемой статье задача оптимального распределения ограниченного ресурса по инвестиционным портфелям решена авторами в точечной постановке (средствами MS Excel). В своей второй статье [1.3], вышедшей год спустя, для решения той же задачи авторы привлекли аппарат алгебры нечетких чисел. Уже во введении к статье они совершенно четко и ясно обосновали неадекватность вероятностного способа КОН в задаче оценки инвес-

тиционного риска. Они указали, что разработанный Л. Заде и его последователями формализм позволяет оперировать нечеткими числами, выполнять над ними математические операции, расчеты по предложенным моделям. Добавим, что не следует только поддаваться магии чисел и забывать об их происхождении — в основе этих чисел лежат экспертные (субъективные) высказывания людей.

В качестве очевидного достоинства обеих статей следует назвать наличие в их концовке примеров выполнения оценок предложенными авторами способами.

Ю. Д. Кононов и Д. Ю. Кононов исследуют в [1.5] инвестиционные риски в области ТЭК. Не совсем понятна сама постановка задачи — с одной стороны, авторы говорят об интервальном задании «комбинации внешних условий», с другой — используют их статистическое моделирование: «комбинация условий формируется случайным образом с помощью известной процедуры статистических испытаний (метод Монте-Карло)». К сожалению, из статьи не удастся понять, как авторы совместили эти разные подходы, а, кроме того, алгоритм выполнения расчетов также спрятан в ссылочных статьях.

В. В. Архипова в работе [1.13] оценивает деятельность хозяйствующего субъекта строительной отрасли в условиях рыночной стихии («риска и неопределенности»). По-видимому, автор неявно полагает, что оба эти понятия интуитивно понятны любому читателю и нет необходимости давать им определения.

Дискуссионным представляется предложение В. В. Архиповой назвать «критерием шанса» соотношение

$$1 - R_{\text{общ}}, \text{ в котором } R_{\text{общ}} = R_{\text{внеш}} \times K_{\text{внеш}} + R_{\text{вн}} \times K_{\text{вн}},$$

где $K_{\text{вн}}$, $K_{\text{внеш}}$ — коэффициенты значимости, а показатели риска $R_{\text{внеш}}$, $R_{\text{вн}}$ «могут быть оценены качественно (в баллах) и количественно (в денежном выражении)»:

- во-первых, если показатели риска выразить в рублях, их нельзя будет вычитать из 1;
- во-вторых, оценка в баллах называется полуколичественной.

К сожалению, автор не поясняет, чем принципиально «качественная» оценка риска строительной фирмы (табл. 1) отличается от ее «количественной»

оценки (табл. 2). В обоих случаях используются экспертные оценки вероятности событий и неких параметров, оставшихся без объяснения.

Статья [1.17] Эдуарда Аркадьевича Фиякселя с коллегами из ГУ ВШЭ (Н. Новгород) посвящена оценке риска венчурных проектов. Авторы сравнивают венчурное инвестирование со стратегиями биржевого спекулянта и находят между ними немало общего. Устойчивое выражение «в условиях риска и неопределенности» используется без толкования и в этой статье, из чего можно сделать вывод, что идея Ф. Найта о соотношении риска и неопределенности в экономической литературе стала базовым, интуитивным понятием. Тем более странно встретить в статье тезис «общепринятое в мире финансов понимание неопределенности было сформулировано классиком современных финансов Асватом Дамодораном» (нашим современником).

Согласимся с авторами в том, что механистическое описание сложных социально-экономических систем, как и вероятностные подходы, обречены на неудачу. Есть немалые надежды на принципиально новый взгляд на них как на фрактальные структуры. Авторы пишут, что некое самоподобие биржевых процессов наталкивает некоторых аналитиков на соображения о существовании в них фрактальных структур.

Вот только всегда ли оправданы рассуждения по аналогии? Будут ли справедливы закономерности, обнаруженные Мальденбротом при изучении длины береговой линии, или закономерности электрической активности сердца применительно к экономическим результатам деятельности технологического стартапа?

В статье [1.27] С. Д. Кожевникова, Д. С. Шутько и С. Ю. Шутько изучают роль управленческого фактора в успешности бизнеса. Толкование соотношения между неопределенностью и риском у авторов идентично найтовскому, что и продемонстрировано во введении к статье. Толкование вероятности — субъективное, у неопределенности они предполагают наличие количественного аспекта, единица измерения — рубль. Авторы полагают, что риск (обусловленный наличием риск-факторов) в экономической области объективен, однако его объективная оценка невозможна (любой показатель риска неизбежно субъективен).

Сравнивая управленческие практики ведущих мировых нефтедобывающих компаний, авторы статьи утверждают, что в условиях неопределенности наиболее успешен стиль управления, «который основан на гибком сценарном планировании и развитии, с высокой степенью автономии подразделений».

Свой обзор публикаций ПАР по теме неопределенности в экономической области завершим анализом пяти статей Е. А. Кузьмина. Следует отметить, что тематикой неопределенности данный автор занимается очень активно (хотя его последняя публикация в ПАР и датирована августом 2015 г.).

Статьи Е. А. Кузьмина отличает широчайший диапазон цитируемых литературных источников — от трудов русских экономистов середины XIX столетия до статей современных американских специалистов, среди них работы на нескольких иностранных языках (английском и немецком).

Проанализируем представления Е. А. Кузьмина о неопределенности социально-экономических систем, изложенные им в пяти опубликованных в ПАР статьях. Чтобы яснее и без искажений донести смысл идей Е. А. Кузьмина, нам придется активно прибегнуть к цитированию.

Начнем с самой ранней публикации в ПАР [1.9], посвященной исследованию устойчивости экономического субъекта в непростых рыночных условиях. Посчитав, что одного понятия *неопределенности* недостаточно, автор вводит дополнительное к нему понятие *определенности*, придавая обоим количественный смысл. Далее в статье формулируется «единый универсальный принцип определения устойчивости и степени отклонения траектории развития от устойчивого состояния. Принцип заключается в следующем утверждении: положение любого социально-экономического объекта является (сопоставительно) устойчивым тогда и только тогда, когда внутренняя неопределенность объекта меньше внешней неопределенности». Ниже в статье приведена математическая интерпретация данного неравенства, в которой «кумулятивные внешняя и внутренние неопределенности» выражены («исчислены») через их энтропию. Фактически неопределенность отождествлена здесь с энтропией.

Кумулятивная внутренняя энтропия имеет, например, такое слагаемое, как «неопределенность

выбора принятия управленческих решений» (автор предполагает каким-то образом вычислить его энтропию). Весовые коэффициенты предложено рассчитывать через «вероятность (частоту) событий или альтернатив».

Приходится признать дискуссионной саму идею «измерять» или «исчислять» неопределенность социально-экономических систем в единицах энтропии. Как известно, впервые это понятие было использовано в термодинамике для описания поведения макроскопических систем, состоящих из большого числа микрообъектов (молекул). Трактовку энтропии в физике (статистическая физика, термодинамика) и теории информации (К. Шеннон) объединяет понятие вероятности, на которой они и основаны. А коль скоро вероятность в своем классическом толковании (по крайней мере на уровне хозяйствующих субъектов) неприменима, здесь нет места и энтропии.

Тем более спорно измерять энтропией «вариационную» неопределенность, обусловленную будущими (неизвестными) изменениями в законодательстве.

Дискуссионен и такой тезис статьи: «условно гармоничное развитие организационно-экономической системы характеризуется тождеством всех видов (типов) неопределенности, за исключением, по-видимому, вариационной, так как ее природа предполагает смену порядка в системе». Даже если предположить, что когда-либо удастся отыскать инструмент для количественной оценки столь разных факторов неопределенности, почему они должны оказаться «тождественными»?

В хронологическом порядке второй следует статья [1.10]. В ней Е. А. Кузьмин развивает свои представления о выражении неопределенности социально-экономической системы через ее энтропию (информационную). Он приводит основное уравнение К. Шеннона, связывающее вероятность сигнала и его информационную емкость. Однако подход Шеннона к измерению информации непригоден для измерения смыслов. Например, количество информации во фразе «я согласна», переданной азбукой Морзе, для того, кому она адресована, намного больше количества бит, заключенных в соответствующем наборе точек и тире... Анало-

гично пока не поддается измерению ежесекундный массив важнейшей экономической информации.

Таким образом, многие логические построения автора основаны на спорных допущениях. Довольно трудно согласиться с приписыванием автором физику Рудольфу Клаузиусу в его работе 1856 г. понятия эквивалентной стоимости.

Цикл статей Е. А. Кузьмина продолжает работа [1.15], посвященная принципам управления неопределенностью. Рассуждая о свойствах такого управления, автор рассматривает верификацию принципов управления. По-видимому, в рассматриваемом случае важнее их валидация, поскольку в случае социально-экономической системы более всего нас интересует практический результат управляющих действий.

Весьма неожиданна идея автора о том, что неопределенность не всегда желательна только уменьшать.

Из текста статьи не удалось понять, каким образом «закон сохранения информации выявляет условие константного баланса истинных знаний, что вкупе с их реальной ограниченностью позволяет обозначить один из ключевых принципов — принцип предельности неопределенности».

Обратимся к анализу следующей статьи Е. А. Кузьмина [1.18], посвященной интервальной неопределенности. Определение этого понятия находим в монографии [2.28] С. П. Шарого — одного из ведущих отечественных специалистов по интервальному анализу: «интервальная неопределенность — это состояние неполного (частичного) знания об интересующей нас величине, когда известна лишь ее принадлежность некоторому интервалу, т. е. когда мы можем указать лишь границы возможных значений этой величины (пределы ее изменения)». Подчеркнем здесь гносеологический аспект интервальной неопределенности.

Введение к статье автор начинает фразой «интервальность является неотъемлемым свойством параметрических систем, функционирующих в стохастическом пространстве». Поясним дискуссионность данного тезиса: а) свойства систем объективны (онтология), интервальность — способ их описания (гносеология); б) о вероятностном описании процессов в экономике мы уже неоднократно говорили выше.

Тезис автора «именно наличие диапазона вероятностей свершения каждой альтернативы в их ансамбле приводит к появлению размерной величины энтропии» также вызывает вопросы:

1) ансамбль альтернатив означает, что их совокупная вероятность равна 1 (полная группа событий). Если вероятность каждой альтернативы задать интервально, это требование уже не будет выполнено;

2) не вполне ясно, что автор называет размерной энтропией.

Еще один тезис «безусловно, диапазон может быть как сплошным и прерывистым, так и точечным» ошибочен, т.к. важнейшим качеством интервального числа (интервала) является его выпуклость (сплошность): интервал есть отрезок числовой оси [2.28].

Оценивать ширину интервалов параметров, характеризующих свойства социально-экономических систем, Е. А. Кузьмин предлагает в вероятностной постановке, что также представляется спорным.

Завершающая цикл статья [1.22] посвящена анализу взаимоотношения понятий риска и неопределенности в экономической области, устойчивости и экономической безопасности субъектов хозяйственной деятельности.

Основываясь на пяти статьях Е. А. Кузьмина, опубликованных в ПАР, в целом его представления о неопределенности социально-экономических систем можно охарактеризовать следующим образом: это некий вымышленный «мир», в котором неопределенность является «сущностью», обладающей инерционностью, упругостью (делающей возможным волновые процессы в ней), различной плотностью, обратными связями. Этот «мир» построен на двух спорных основаниях (сами по себе они истинны, но для другой объектной области):

1) постулате выполнимости вероятностных законов;

2) теории информации К. Шеннона.

Заключение

Проблема неопределенности во всех областях научного знания — ее источников, типов, способов описания и количественной оценки, с неизбежностью будет привлекать к себе все возрастающее внимание исследователей. Теперь, с появлением новых инструментов, эта задача отчасти облегчена. Усилиями

зарубежных и отечественных специалистов, в том числе авторов статей, опубликованных на страницах журнала «Проблемы анализа риска», она становится немного яснее. А в этом и заключается главное предназначение науки — сделать наш мир более понятным, управляемым и безопасным.

Литература [References]

Часть 1. Статьи, опубликованные в журнале «Проблемы анализа риска»

- 1.1. Авдийский В.И. Отзыв на статью А.И. Гражданкина, А.С. Печеркина «О влиянии «управления комплексным риском» на рост угроз техногенного характера» // Проблемы анализа риска. Т. 2. 2005. №3. С. 279—280. [Avdiysky V.I. Review on the paper A.I. Grazdankin, A.S. Pechorkin "About Influence of "Complex Risk Management" on Growth of Technological Threats" // Issues of Risk Analysis. Vol. 2. 2015. No. 3. P. 279—280. (Russia).]
- 1.2. Аньшин В.М., Демкин И.В., Царьков И.Н., Никонов И.М. Анализ подходов к распределению ресурсов по проектам портфеля в условиях неопределенности // Проблемы анализа риска. Т. 4. 2007. №3. С. 207—221. [Anshin V.M., Dyomkin I.V., Tsarkov I.N., Nikonov I.M. A Review of Approaches to Resource Allocation in Project Portfolio Management under Uncertainty // Issues of Risk Analysis. Vol. 4. 2007. No. 3. P. 207—221. (Russia).]
- 1.3. Аньшин В.М., Демкин И.В., Царьков И.Н., Никонов И.М. Применение теории нечетких множеств к задаче формирования портфеля проектов // Проблемы анализа риска. Т. 5. 2008. №3 С. 8—21. [Anshin V.M., Dyomkin I.V., Tsarkov I.N., Nikonov I.M. On Application of Fuzzy Set Theory to the Problem of Project Portfolio Selection // Issues of Risk Analysis. Vol. 5. 2008. No. 3. P. 8—21. (Russia).]
- 1.4. Колесников Е.Ю. Об оценке неопределенности результатов анализа техногенного риска // Проблемы анализа риска. Т. 9. 2012. №4. С. 8—46. [Kolesnikov E.Yu. About estimation of uncertainty of the results of technological Risk Analysis // Issues of Risk Analysis. Vol. 9. 2012. No. 4. P. 8—46. (Russia).]
- 1.5. Кононов Ю.Д., Кононов Д.Ю. Влияние характера неопределенности на инвестиционные риски и конкурентоспособность крупномасштабных проектов и вариантов развития систем // Проблемы анализа риска. Т. 9. 2012. №4. С. 48—53. [Kononov Yu.D.,

- Kononov D. Yu. Impact Of The Uncertainty Character On Investment Risks And Competitiveness Of Large-Scale Projects And Options Of System Development // Issues of Risk Analysis. Vol. 9. 2012. No. 4. P. 48—53. (Russia).]
- 1.6. Колесников Е. Ю. Количественное оценивание неопределенности техногенного риска. Часть 1 // Проблемы анализа риска. Т. 10. 2013. № 2. С. 48—71. [Kolesnikov E. Yu. The quantitative assessment of technogenic risk uncertainty. Part 1 // Issues of Risk Analysis. Vol. 10. 2013. No. 2. P. 48—71. (Russia).]
- 1.7. Колесников Е. Ю. Количественное оценивание неопределенности техногенного риска. Часть 2 // Проблемы анализа риска. Т. 10. 2013. № 3. С. 8—31. [Kolesnikov E. Yu. The quantitative assessment of technogenic risk uncertainty. Part 2 // Issues of Risk Analysis. Vol. 10. 2013. No. 3. P. 8—31. (Russia).]
- 1.8. Колесников Е. Ю. Анализ техногенного риска: проблемы и неопределенности // Проблемы анализа риска. Т. 10. 2013. № 5. С. 14—21. [Kolesnikov E. Yu. Analysis of technogenic risk: problems and uncertainty // Issues of Risk Analysis. Vol. 10. 2013. No. 5. P. 14—21. (Russia).]
- 1.9. Авдийский В. И., Кузьмин Е. А. Критериальные условия проявления устойчивости в экономике: индикативный параметр неопределенности // Проблемы анализа риска. Т. 10. 2013. № 6. С. 10—22. [Avdiysky V. A., Kuzmin E. A. Criteria conditions display stability in economy: indicative uncertainty parameter // Issues of Risk Analysis. Vol. 10. 2013. No. 6. P. 10—22. (Russia).]
- 1.10. Кузьмин Е. А. Шкалирование и оптимизация неопределенности в вопросах принятия управленческих решений // Проблемы анализа риска. Т. 11. 2014. № 1. С. 50—62. [Kuzmin E. A. Scaling And Optimization Of Uncertainty Regarding Management Decisions // Issues of Risk Analysis. Vol. 11. 2014. No. 1. P. 50—62. (Russia).]
- 1.11. Колесников Е. Ю. Качественный анализ неопределенности пожарного риска. Сценарий аварии «Пожар пролива растворителя» // Проблемы анализа риска. Т. 11. 2014. № 1. С. 74—91. [Kolesnikov E. Yu. Quantitative analysis of fire risk uncertainty. Case study “solvent spillage fire” scenario // Issues of Risk Analysis. Vol. 11. 2014. No. 1. P. 74—91. (Russia).]
- 1.12. Тихонов М. Н., Рылов М. И. После Чернобыля и Фукусимы-1: выявление и оценка неопределенностей и маловероятных рисков с катастрофическими последствиями // Проблемы анализа риска. Т. 11. 2014. № 2. С. 24—49. [Tikhonov M. N., Rylov M. I. After Chernobyl and Fukushima-1: revelation and evaluation of uncertainties and improbable risks with catastrophic consequences // Issues of Risk Analysis. Vol. 11. 2014. No. 2. P. 24—49. (Russia).]
- 1.13. Архипова В. В. Общий показатель уровня риска строительной организации как критерий оценки деятельности региональных строительных фирм в условиях риска и неопределенности (на примере Рязанской области) // Проблемы анализа риска. Т. 11. 2014. № 2. С. 70—75. [Arkhipova V. V. The general indicator of the risk level of the construction organization as criterion of the estimation of activity of regional building firms in the conditions of risk and uncertainty (on the example of the Ryazan Region) // Issues of Risk Analysis. Vol. 11. 2014. No. 2. P. 70—75. (Russia).]
- 1.14. Алексеев В. В., Карасева Е. И. Синтез и анализ вероятности событий по нечисловой неточной и неполной экспертной информации // Проблемы анализа риска. Т. 11. 2014. № 3. С. 22—31. [Alexeev V. V., Karaseva E. I. Synthesis and analysis of probabilities of events by non-numeric, inaccurate and incomplete expert information // Issues of Risk Analysis. Vol. 11. 2014. No. 3. P. 22—31. (Russia).]
- 1.15. Кузьмин Е. А. Принципы управления неопределенностью // Проблемы анализа риска. Т. 11. 2014. № 4. С. 52—69. [Kuzmin E. A. Principles of management uncertainty // Issues of Risk Analysis. Vol. 11. 2014. No. 4. P. 52—69. (Russia).]
- 1.16. Колесников Е. Ю. Количественная оценка неопределенности пожарного риска. Сценарий аварии «Пожар пролива ЛВЖ» // Проблемы анализа риска. Т. 11. 2014. № 4. С. 70—84. [Kolesnikov E. Y. Uncertainty quantification of fire risk. Case study: scenario of accident “Solvent Spillage Fire” // Issues of Risk Analysis. Vol. 11. 2014. No. 4. P. 70—14. (Russia).]
- 1.17. Фияксель Э. А., Локтев С. В., Чапрак Н. В. Теория хаоса — новая парадигма оценки риска венчурных проектов // Проблемы анализа риска. Т. 11. 2014. № 5. С. 80—87. [Fiyaksel E. A., Loktev S. V., Chaprak N. V. Chaos theory is a new paradigm of risk assessment venture projects // Issues of Risk Analysis. Vol. 11. 2014. No. 5. P. 80—87. (Russia).]
- 1.18. Кузьмин Е. А. Логика интервальной неопределенности // Проблемы анализа риска. Т. 11. 2014. № 6. С. 44—59. [Kuzmin E. A. Logic of Interval Uncertainty // Issues of Risk Analysis. Vol. 11. 2014. No. 6. P. 44—59. (Russia).]

- 1.19. Быков А. А. Неопределенность и риск: взаимоотношение понятий // Проблемы анализа риска. Т. 12. 2015. № 4. С. 4—5. [Bykov A. A. Uncertainty and risk: relationship of concepts // Issues of Risk Analysis. Vol. 12. 2015. No. 4. P. 4—5. (Russia).]
 - 1.20. Цыгичко В. Н. Управление рисками нарушения безопасности КВО при неполной информации // Проблемы анализа риска. Т. 12. 2015. № 4. С. 18—27. [Tsygichko V. N. Managing security risks under incomplete information // Issues of Risk Analysis. Vol. 12. 2015. No. 4. P. 18—27. (Russia).]
 - 1.21. Колесников Е. Ю. Интервально-матричный метод количественной оценки пожарного риска на примере склада жидкого аммиака // Проблемы анализа риска. Т. 12. 2015. № 4. С. 28—41. [Kolesnikov E. Yu. Interval-matrix method of fire risk quantitative assessment on the example of liquid ammonia storage // Issues of Risk Analysis. Vol. 12. 2015. No. 4. P. 28—41. (Russia).]
 - 1.22. Кузьмин Е. А. К вопросу о цикличности и проекционности неопределенности // Проблемы анализа риска. Т. 12. 2015. № 4. С. 42—55. [Kuzmin E. A. On the issue of Uncertainty Cyclicity and Projectionness // Issues of Risk Analysis. Vol. 12. 2015. No. 4. P. 42—55. (Russia).]
 - 1.23. Дмитриев А. В., Бывших Д. М., Корячко Т. В. Нивелирование неопределенности при программном планировании развития техники радиоэлектронной борьбы методами стандартизации // Проблемы анализа риска. Т. 12. 2015. № 4. С. 56—63. [Dmitriev A. V., Byvshich D. M., Korytko T. V. The Leveling of the Uncertainties Inherent in Software Development Planning Electronic Warfare Equipment by Standardization Methods // Issues of Risk Analysis. Vol. 12. 2015. No. 4. P. 56—63. (Russia).]
 - 1.24. Колесников Е. Ю. О нормировании интервальных значений аварийного риска (риска ЧС) // Проблемы анализа риска. Т. 13. 2016. № 2. С. 66—71. [Kolesnikov E. Y. About rationing interval values of emergency risk (risk of emergencies) // Issues of Risk Analysis. Vol. 13. 2016. No. 2. P. 66—71. (Russia).] <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2016-13-2-66-71>
 - 1.25. Колесников Е. Ю., Колодкин В. М. О способах расчета метрик аварийного риска при наличии неопределенности // Проблемы анализа риска. Т. 13. 2016. № 5. С. 20—34. [Kolesnikov E. Y., Kolodkin V. M. On how to calculate disaster risk metrics in the presence of uncertainty // Issues of Risk Analysis. Vol. 13. 2016. No. 5. P. 20—34. (Russia).] <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2016-13-5-20-34>
 - 1.26. Боев А. С., Бывших Д. М., Ярыгин Ю. Н. Компенсация факторов неопределенности при обосновании задач радиоэлектронной борьбы в операциях (боевых действиях): методический аспект // Проблемы анализа риска. Т. 13. 2016. № 5. С. 36—42. [Boev A. S., Byvshich D. M., Yarygin Y. N. Compensation of Uncertainties in Justifying the Tasks of Electronic Warfare in Operations (Combat Acts): methodical aspect // Issues of Risk Analysis. Vol. 13. 2016. No. 5. P. 36—42. (Russia).] <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2016-13-5-36-42>
 - 1.27. Кожевникова С. Д., Шутько Д. С., Шутько С. Ю. Субъективные аспекты принятия решений в условиях риска и неопределенности в бизнес-сегменте Upstream // Проблемы анализа риска. Т. 14. 2017. № 1. С. 56—63. [Kozhevnikova S. D., Shutko D. S., Shutko S. Y. Subjective aspects of decisionmaking under conditions of risk and uncertainty in the Upstream business segment // Issues of Risk Analysis. Vol. 14. 2017. No. 1. P. 56—63. (Russia).] <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2017-14-1-56-63>
 - 1.28. Рыбаков А. В., Сорокин А. Д., Кочетков В. В., Арефьева Е. В. Комплексная оценка риска возникновения аварии на опасных производственных объектах на основе аппарата нечетких множеств и логико-вероятностного подхода // Проблемы анализа риска. Т. 15. 2018. № 1. С. 18—25. [Rybakov A. V., Sorokin A. D., Kochetkov V. V., Aref'eva E. V. Integrated Accident Risk Assessment for Hazardous Industrial Facilities Based on Fuzzy Logic and Logic-Probability Approach // Issues of Risk Analysis. Vol. 15. 2018. No. 1. P. 18—25. (Russia).] <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2018-15-1-18-25>
 - 1.29. Колесников Е. Ю. Интервальная оценка неопределенности параметров аварийного и пожарного рисков // Проблемы анализа риска. Т. 15. 2018. № 6. С. 74—79. [Kolesnikov E. Yu. An interval assessment of the uncertainty of fire and emerging risk parameters // Issues of Risk Analysis. Vol. 15. 2018. No. 6. P. 74—79. (Russia).] <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2018-15-74-79>
- ## Часть 2. Прочие источники
- 2.1. Найт Ф. Х. Риск, неопределенность, прибыль. М.: Дело, 2003. 360 с. [Knight, F. H. Risk, uncertainty and profit. The Riverside press, 2003. 381 p. (Russia).]
 - 2.2. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Reactor Safety Study — An Assessment of Accident Risk in Commercial

- Nuclear Power Plants. WASH-1400 (NUREG-75/014). Main report, 1975. 226 p.
- 2.3. US National Research Council. Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. National Academy Press, Washington, D. C., 1983.
 - 2.4. US National Research Council. Science and judgment in risk assessment. Washington, D.C.: National Academy Press, 1994. 650 p.
 - 2.5. US National Research Council. Science and decisions. Advanced risk assessment. Washington, D.C.: National Academy Press, 2009. 403 p.
 - 2.6. Guidelines for developing quantitative safety risk criteria. Center for Chemical Process Safety — John Wiley & Sons, 2009. 250 p.
 - 2.7. Risk and Uncertainty as a Research Ethics Challenge. National Committees for Research Ethics in Norway. Publication № 9. Oslo, 2009. 42 p.
 - 2.8. IAEA Safety series № 100. Evaluating the reliability of prediction made using environmental transfer models — IAEA. Vienna, 1989. 105 p.
 - 2.9. Treatment of Parameter and Model Uncertainty for Probabilistic Risk Assessments. EPRI. Palo Alto, CA, 2008. 176 p.
 - 2.10. Draft guidance document on characterizing and communicating uncertainty in exposure assessment. IPCS, World health organization, 2006.
 - 2.11. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Guidance on the Treatment of Uncertainties Associated with PRAs in Risk-Informed Decision Making (NUREG-1855).
 - 2.12. Van Asselt M. B. A. Uncertainty in decision support: from problem to challenge. ICIS working paper 199-E006 / University of Maastricht. The Netherlands, 1999.
 - 2.13. International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. JCGM, 2008. 104 p.
 - 2.14. ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска. Термины и определения. [GOST R 51897-2002. Management of risk. Terms and definitions. (Russia).]
 - 2.15. Декларация Российского научного общества анализа риска «О предельно допустимых уровнях риска» // Проблемы анализа риска. Т. 3. 2006. № 2. С. 162. [The Declaration “On Maximum Permissible Risk Levels” by the Russian Scientific Society for Risk Analysis // Issues of Risk Analysis. Vol. 3. 2006. No. 2. P. 162. (Russia).]
 - 2.16. The ASSURANCE project (Assessment of Uncertainties in Risk Analysis of Chemical Establishments). Final summary report. RISO National Laboratory, Roskilde, Denmark, 2002. 52 p.
 - 2.17. JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. 134 p.
 - 2.18. Руководство по выражению неопределенности измерений. Пер. с англ. / Науч. ред. проф. В. А. Слаев. 135 с. СПб.: ОНТИ ГП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», 1999. [Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement ISO, Switzerland, 1999. (Russia).]
 - 2.19. Arunraj N. S., Saptarshi Mandal, Maiti J. Modeling uncertainty in risk assessment: An integrated approach with fuzzy set theory and Monte Carlo simulation // Accident Analysis and Prevention 55 (2013). P. 242— 255.
 - 2.20. Jiang C., Long X. Y., Han X., Tao Y. R., Liu J. Probability-interval hybrid reliability analysis for cracked structures existing epistemic uncertainty // Engineering Fracture Mechanics. 112— 113. 2013. P. 148—164.
 - 2.21. Mokhtarian M. N., Sadi-Nezhad S., Makui A. A new flexible and reliable interval valued fuzzy VIKOR method based on uncertainty risk reduction in decision making process: An application for determining a suitable location for digging some pits for municipal wet waste landfill // Computers & Industrial Engineering. 78. 2014. P. 213— 233.
 - 2.22. Hao Zhang, Hongzhe Dai, Michael Beer. Wei Wang Structural reliability analysis on the basis of small samples: An interval quasi-Monte Carlo method // Mechanical Systems and Signal Processing. 37. 2013. P. 137—151.
 - 2.23. Jinglai Wu, Yunqing Zhang, Liping Chen, Zhen Luo. A. Chebyshev interval method for nonlinear dynamic systems under uncertainty // Applied Mathematical Modelling. 37. 2013. P. 4578— 4591.
 - 2.24. Jinglai Wu, Zhen Luo, Nong Zhang, Yunqing Zhang. A new uncertain analysis method and its application in vehicle dynamics // Mechanical Systems and Signal Processing. 50—51. 2015. P. 659—675.
 - 2.25. Математический энциклопедический словарь / Под ред. Ю. В. Прохорова. М.: Советская энциклопедия, 1988. 847 с. [Mathematical Encyclopedic Dictionary. Ed. Yu. V. Prokhorova. M.: Soviet Encyclopedia, 1988. 847 p. (Russia).]
 - 2.26. Savage L. J. The foundation of statistics 2nd revised edition. New York: Dover publications, 1972. 356 p.
 - 2.27. Колесников Е. Ю. Иллюзия точности // Химия и жизнь. 2018. № 8. С. 35—37. [Kolesnikov E. Yu. Illusion

- of accuracy // Chemistry and Life. 2018. No. 8. P. 35—37. (Russia).]
- 2.28. Шарый С.П. Конечномерный интервальный анализ (2017) URL: <http://www.nsc.ru/interval> (Дата обращения: 05.01.2018). [Shary S.P. Finite Interval Analysis (2017) URL: <http://www.nsc.ru/interval> (the date of appeal: 05.01.2018) (Russia).]
- 2.29. Morgan M.G., Henrion M. Uncertainty: a guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis. Cambridge University press, 1990. 344 p.
- 2.30. Uncertainty in industrial practice: a guide to quantitative uncertainty management / Ed. by Etienne de Rocquigny, Nicolas Devictor, Stefano Tarantola. John Wiley & Sons, 2008. 366 p.
- 2.31. Ayyub B. M. Uncertainty Modeling and Analysis in Engineering and the Sciences / Bilal M. Ayyub, George J. Klir Chapman & Hall / CRC Taylor & Francis Group, 2006. 380 p.
- 2.32. ГОСТ ISO 6658-2016. Органолептический анализ. Методология. Общее руководство. [GOST ISO 6658-

2016 Organoleptic analysis. Methodology. A general guide (Russia).]

- 2.33. Худсон Д. Статистика для физиков. М.: Мир, 1967. 242 с. [Hudson D. Statistics for physicists. M.: Mir, 1967. 242 p. (Russia).]

Сведения об авторе

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

Количество публикаций: более 80, в том числе монографий, учебников и учебных пособий — 9

Область научных интересов: методология анализа технологического риска, анализ и количественная оценка неопределенности

Контактная информация:

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

Тел.: +7 (8362) 268-68-92

E-mail: e.konik@list.ru

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 04.01.2019

Дата принятия к публикации: 11.01.2019

Дата публикации: 28.06.2019

The author declare no conflict of interest.

Came to edition: 04.01.2019

Date of acceptance to the publication: 11.01.2019

Date of publication: 28.06.2019