

# Design Problems and Knowledge Management

## Electronic journal

Issue 5, June 2023

### **On the problem of uncertainty in the design of technical systems: Introduction**

*Yuri Spirochkin*

Published: 30 June 2023

This article is an introduction to the problem of uncertainty, familiar to designers of complex technical systems: aircraft, spacecraft, nuclear power plants, etc. The problem arises due to the limited a priori knowledge about the properties and behavior of the system being created in the course of future operation, with the possibility of previously not observed events that can initiate accidents, and extreme impacts of various origins. The possibility of operating conditions not taken into account in the design creates a risk of loss of a costly system, as well as a threat to the life and health of people and the environment when its structure is destroyed and, as a result, the stored energy and (or) hazardous technological substances are released. The uncertainty that arises in this way significantly complicates the search for the configuration, structural and functional parameters of the system that would guarantee the necessary safety.

The article contains an overview of existing theoretical and practical approaches to accounting for uncertainty. They are implemented mainly in the methods of probability theory. The use of statistical and Bayesian probabilistic estimates allows designers to reduce uncertainty in many design issues and thereby ensure controlled, very low levels of accidents and catastrophes of technical systems. But in the case of a complete lack of empirical knowledge about possible adverse events, probabilistic methods do not cope with the task of ensuring guaranteed safety. The analysis accompanying the overview and performed from the standpoint of designer makes it possible to identify the weakness of these methods and assess the prospects for finding new analytical tools to achieve further reduction of uncertainty in the design, including innovative projects.

## **К проблеме неопределенности при проектировании технических систем: введение**

*Ю.К. Спирочкин*

Эта статья представляет собой введение в проблему неопределенности, знакомую проектировщикам сложных технических систем: воздушных судов, космических аппаратов, ядерных энергетических установок и т.п. Проблема возникает из-за ограниченности априорных представлений о свойствах и поведении создаваемой системы в процессе будущей эксплуатации с возможностью заранее неизвестных событий, способных инициировать аварии, и экстремальных воздействий различной природы. Возможность реализации не учтенных в проекте условий работы создает риск потери дорогостоящей системы, а также угрозу для жизни и здоровья людей и окружающей среды при разрушении ее конструкции, когда происходит высвобождение накопленной энергии и (или) выход наружу опасных технологических веществ. Возникающая таким образом неопределенность существенно осложняет поиск конфигурации, конструктивных и функциональных параметров системы, которые гарантировали бы необходимую безопасность.

Статья содержит обзор существующих теоретических и практических подходов к учету неопределенности. Они воплощены, в основном, в методах теории вероятности. Применение статистических и байесовских вероятностных оценок позволяет снизить неопределенность во многих задачах проектирования и обеспечить тем самым контролируемые, весьма низкие уровни аварий и катастроф технических систем. Но при полном отсутствии эмпирических знаний о возможных неблагоприятных событиях вероятностные методы не справляются с задачей обеспечения гарантированной безопасности. Анализ, сопровождающий обзор и выполненный с позиции проектировщика, позволяет выявить слабость этих методов и оценить перспективы поиска новых аналитических средств, с помощью которых можно было бы добиться дальнейшего снижения неопределенности при выполнении проектов, в том числе инновационных.

\* \* \*

Человеческие представления об окружающем мире содержат значительную долю неопределенности. При этом само понятие неопределенности расплывчато. Его содержание занимало умы многих мыслителей, начиная от Анаксимандра, и смысл, вкладываемый ими в эту философскую категорию, варьировался (Беглярова 2008). В практическом отношении неопределенность означает отсутствие или недостаток точных и достоверных знаний о чем-либо, т.е. противоположность определенности.

В производственной деятельности неопределенность связана с недостаточными знаниями обо всех факторах, действующих в течение жизненного цикла производимой продукции, результатах тех или иных рабочих операций и будущем состоянии продукции при ее использования по назначению в среде, подверженной изменениям. Проблема неопределенности свойственна и такой области производственной деятельности, как проектирование технических систем. Воздушные суда, космические аппараты, ядерные установки и другие сложные, насыщенные энергией транспортные и инфраструктурные объекты создаются для надежной и эффективной работы в установленных проектом условиях эксплуатации. При этом они должны удовлетворять требованиям безопасности в более широком диапазоне условий, включающем возможные аварийные ситуации. Разработка проекта системы основывается на предположениях о ее поведении во всем указанном диапазоне. Такие предположения базируются, в свою очередь, на знаниях,

полученных теоретически, а также экспериментально на прототипах создаваемой системы, предшествующих образцах, физических и математических моделях. Однако даже при солидном обосновании проектировщики сталкиваются с неопределенностью, которая обуславливается:

- 1) наличием в системе и процедурах ее использования скрытых дефектов, способных проявиться в процессе работы и привести к нарушению нормальной эксплуатации;
- 2) влиянием на рабочие процессы множества трудно учитываемых факторов и недостаточно точной информацией о свойствах каждого конкретного элемента системы в условиях массового производства, из-за чего прогнозирование результата управляющих действий возможно лишь с некоторой погрешностью, которую ограничивают соответствующими проектными данными;
- 3) неконтролируемым изменением условий эксплуатации, с возможностью выхода их параметров за установленные проектом пределы;
- 4) возникновением аварийной ситуации, в которой система может подвергаться непрогнозируемым воздействиям и вести себя непредсказуемым образом;
- 5) не до конца понимаемым влиянием человеческого фактора в лице эксплуатационного персонала и других лиц, вовлеченных в жизненный цикл системы или оказавшихся в зоне ее действия.

Материальные потери, вызванные нарушением функционирования летательного аппарата или атомной станции при проявлении какой-либо из этих составляющих неопределенности, а также угрозы для жизни и здоровья людей и окружающей среды, когда развитие ситуации приводит к разрушению конструкции с высвобождением накопленной в энергии и (или) выходом наружу опасных технологических веществ, могут быть неприемлемыми. Очевидно, что неопределенность, способная вылиться в такие неблагоприятные последствия, должна быть либо устранена полностью, либо сведена к минимуму.

Стремление к снижению неопределенности присуще человеку – по-видимому, в этом отражается фундаментальное свойство живой материи: ее способность уменьшать энтропию и тем самым управлять своим будущим. В XVI-XVIII веках, благодаря трудам Кардано<sup>1</sup>, Паскаля<sup>2</sup>, Ферма<sup>3</sup>, Гюйгенса<sup>4</sup>, Якоба Бернулли<sup>5</sup>, де Муавра<sup>6</sup>, Даниила Бернулли<sup>7</sup> и др. появились и получили развитие методы учета неопределенности в разных сферах жизни общества (Bernstein 1996). Был создан логический аппарат для количественного описания и оценки неопределенности: *теория вероятностей*. Основание этой теории, приложимой к широкому диапазону деятельности – от азартных игр до предпринимательства и государственных мероприятий, составляют накапливаемые статистические данные. Но с самого начала стала очевидна и хрупкость такой конструкции: при отсутствии статистики вероятностные оценки представляются невозможными. Принципиальное решение проблемы предложил преп. Томас Байес<sup>8</sup>, который интерпретировал вероятность как *степень уверенности* в истинности какого-либо суждения: первоначальная оценка вероятности может иметь априорный характер, а затем, по мере получения релевантной информации, может быть уточнена, т.е.

---

<sup>1</sup> Girolamo Cardano, 1501-1576.

<sup>2</sup> Blaise Pascal, 1623-1662.

<sup>3</sup> Pierre de Fermat, 1601-1665.

<sup>4</sup> Christiaan Huygens, 1629-1695.

<sup>5</sup> Jakob Bernoulli, 1654-1705.

<sup>6</sup> Abraham de Moivre, 1667-1754.

<sup>7</sup> Daniel Bernoulli, 1700-1782.

<sup>8</sup> Thomas Bayes, 1702-1761.

трансформирована в апостериорную оценку. Так вошли в оборот два различающихся понятия: *статистическая вероятность* и *байесовская вероятность*.

В XIX веке были обоснованы математические функции, аппроксимирующие статистику по ряду типов событий, характеризующихся неопределенностью: распределение Гаусса<sup>9</sup> (называемое также распределением Гаусса-Лапласа<sup>10</sup> или нормальным распределением; первоначально же соответствующая функция была введена де Муавром), гамма-распределение (генезис которого прослеживается от Лапласа), распределение Пуассона<sup>11</sup>, логнормальное распределение (среди его авторов называют Гальтона<sup>12</sup> и Макалестера<sup>13</sup>) и ряд других. Поиск функций, наиболее адекватно описывающих стохастические вариации природных, техногенных и социальных явлений, продолжился в XX веке. К наиболее значимым вероятностно-статистическим аппроксимациям, полученным в этот период, относятся родственные друг другу степенные законы, связываемые с именами Парето<sup>14</sup>, Эсту<sup>15</sup>, Ауэрбаха<sup>16</sup>, Ципфа<sup>17</sup> и Мандельброта<sup>18</sup>, а также распределения Райса<sup>19</sup> и Вейбулла<sup>20</sup>. Свойства некоторых распределений, имеющих важное прикладное значение, исследуют и в наши дни – см., например, (Newman 2005).

Вероятностные оценки неопределенности лежат в основе современных методов проектирования технических систем – наряду с детерминистическим подходом и отчасти подкрепляя его. Вероятностные и вероятностно-детерминистические методы сформировали нынешнюю парадигму проектирования, для которой характерны следующие целевые показатели безопасности: вероятность аварии не более  $10^{-6}$ , а катастрофы –  $10^{-7}$  (Spirochkin 2023).

Принцип снижения неопределенности, трактуемой в рамках теории вероятности, заключается в превращении неопределенности в измеримый *риск*. Понятие риска было введено в оборот в начале XVIII века де Муавром, который предложил в качестве его меры произведение величины потери (денежной суммы) на вероятность потери (Bernstein 1996). Последующие определения в различных публикациях и регулирующих документах варьируются. Так, иногда риск ассоциируется лишь с вероятностью того или иного исхода деловой операции (Knight 1921). Российский национальный стандарт (ГОСТ Р 51897-2011), идентичный международному документу ISO Guide 73:2009, трактует риск как «следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей» и содержит примечание, что «риск часто представляют в виде последствий возможного события ... и соответствующей вероятности». Согласно федеральному закону РФ «О техническом регулировании»<sup>21</sup>, риск представляет собой вероятность причинения вреда жизни или здоровью людей, имуществу и окружающей среде с учетом тяжести этого вреда. В наиболее общем, «компромиссном» виде риск, связанный с каким-либо возможным неблагоприятным событием, характеризуют количественными оценками вероятности этого события и размера вызываемого им ущерба.

<sup>9</sup> Johann Carl Friedrich Gauß, 1777-1855.

<sup>10</sup> Pierre-Simon de Laplace, 1749-1827.

<sup>11</sup> Siméon Denis Poisson, 1781-1840.

<sup>12</sup> Francis Galton, 1822-1911.

<sup>13</sup> Donald McAlister, 1854-1934.

<sup>14</sup> Vilfredo Federico Damaso Pareto, 1848-1923.

<sup>15</sup> Jean-Baptiste Estoup, 1868-1950.

<sup>16</sup> Felix Auerbach, 1856-1933.

<sup>17</sup> Georg Kingsley Zipf, 1902-1950.

<sup>18</sup> Benoît B. Mandelbrot, 1924-2010.

<sup>19</sup> Stephen Oswald Rice, 1907-1987.

<sup>20</sup> Waloddi Weibull, 1887-1979.

<sup>21</sup> В редакции от 28.11.2018 № 449-ФЗ.

Вероятностный подход к учету неопределенности обладает несомненной практической пользой, но не охватывает все содержание этого фундаментального феномена и является ограниченным. Статистическая вероятность применима при прогнозировании регулярно повторяющихся, в том числе массовых, событий и только тогда, когда имеется статистика, т.е. накоплена информация по подобным событиям. При проектировании технических систем использование вероятностных оценок наиболее оправдано для моделирования первой и второй из указанных выше составляющих неопределенности. Но даже при наличии статистики представления о будущем, исходя из прошлого опыта, могут быть ошибочными. Согласно критическому положению Рассела<sup>22</sup> об индуктивных выводах (Russel 1912), перефразированному позже Поппером<sup>23</sup> в виде философской притчи об «умном индюке» – см., например, (Dédale 2013), прогноз будущих событий методом индукции на основе предшествующих эмпирических данных не может быть достаточно надежным. Возможны непредсказуемые изменения, не выводимые из статистики. Существует непреодолимый эпистемологический «барьер» (выявленный ранее Юнгом<sup>24</sup> и Кантом<sup>25</sup>) для формирования достоверных суждений, базируясь на статистических оценках, – как, впрочем, и на байесовской вероятности, ибо для ее получения в апостериорном виде требуется предыдущий, хотя бы однократный опыт.

При прогнозировании событий, не вызывающих сомнений в возможности их вероятностного описания на основе имеющейся статистики, но подчиняющихся распределениям, отличным от нормального, могут возникать проблемы другого рода, так же осложняющие практическую деятельность. Так, переменная, распределенная по степенному закону с показателем степени  $\alpha$ , имеет определенное среднее значение только, если  $\alpha > 2$ , и конечную дисперсию, если  $\alpha > 3$  (Newman 2005). Для распределения магнитуд землетрясений, как и интенсивности ряда других природных и социальных явлений, подчиняющихся степенному закону и способных оказать непосредственное влияние на безопасность технических систем, свойственны значения показателя степени  $2 < \alpha < 3$ . Поэтому существует возможность возникновения событий типа «черный лебедь» (Taleb 2007), характеризующихся непредсказуемым масштабом. В эту категорию событий могут попадать перечисленные нами составляющие неопределенности с третьей по пятую. Любые технические и организационные мероприятия, направленные на минимизацию риска, которые базируются на каких-либо ограниченных значениях интенсивности подобных событий, не гарантируют полную защиту.

Источником неопределенности, не поддающимся анализу с помощью теории вероятности, является полное отсутствие знаний о том, что можно ожидать. Представление о неопределенности, скрывающейся за границами знаний, было образно выражено Шекспиром<sup>26</sup>, сказавшим устами Гамлета: «Есть многое на свете, друг Горацио, что и не снилось нашим мудрецам»<sup>27</sup>. Похожий смысл присутствует и в ставшем знаменитым высказывании Дональда Рамсфельда: «Есть известные «известные», что-то, о чем мы знаем, что мы это знаем. Мы также знаем, что есть известные неизвестные, то есть, мы знаем, что есть некоторые вещи, которые мы не знаем. Но еще существуют

---

<sup>22</sup> Bertrand Arthur William Russell, 1872-1970.

<sup>23</sup> Karl Raimund Popper, 1902-1994.

<sup>24</sup> David Hume, 1711-1776.

<sup>25</sup> Immanuel Kant, 1724-1804.

<sup>26</sup> William Shakespeare, 1564-1616.

<sup>27</sup> В переводе Н. Полевого.

неизвестные неизвестные – нечто, о чем мы не знаем, что мы это не знаем»<sup>28</sup>. В своей книге он сформулировал эту мысль более четко: «Есть много вещей, о которых мы совершенно не подозреваем – фактически, есть вещи, о которых мы настолько не осведомлены, что даже не подозреваем, что не знаем о них» (Rumsfeld 2010). Неопределенность, вызванная отсутствием знаний, выступает как субъективный феномен, «защищенный» от проникновения в него упомянутым ранее эпистемологическим «барьером». Субъективная сторона присутствует в каждой из пяти рассмотренных нами составляющих неопределенности, но более всего она свойственна трем последним.

Востребованные экономикой подходы к обращению с неопределенностью, получившие развитие на рубеже XIX и XX веков, включали выделение в этом феномене объективного аспекта, связанного с риском (который является *измеримым*), в то время как неопределенность сводилась к *неизмеримому* показателю, который возрастает с увеличением количества видов риска или потенциальных потерь (Willett 1901). Неопределенность связывалась также с отсутствием представлений обо всех возможных исходах деловой операции (Knight 1921). Такие подходы служили обоснованием практических методов снижения неопределенности и минимизации возможного ущерба в социально-экономических системах, действующих на основе свободного предпринимательства. К основным методам, широко применяемым и в настоящее время, относятся (Knight 1921): «консолидация» (группирование) случаев потенциальных потерь (институциональным воплощением является страхование) и «специализация» (осуществляемая путем выбора людей, способных взять на себя ответственность за решения в условиях неопределенности, с отделением этой функции от стабильной и предсказуемой части бизнеса).

Первый из этих методов широко используют в промышленности и транспортной сфере, в том числе при производстве и эксплуатации гражданских воздушных судов (Wells and Chadbourne 2007). В 1965 году был впервые застрахован космический аппарат: геосинхронный спутник Intelsat-1, а в настоящее время все операторы, осуществляющие космические запуски с территории США, обязаны по закону страховать свою ответственность для каждой миссии (Zisk 2022). Во второй половине XX века вошло в практику страхование в области ядерной энергетики – см., например, (U.S.NRC 2022). Однако для инновационной промышленной деятельности, связанной, например, с созданием и использованием сложных технических систем, для которых характерны экстремальные условия работы и высокая цена потенциальных потерь, профиль рисков (как предмета страхования) оказывается либо плохо определенным, либо полностью неизвестным. Он может изменяться по мере расширения области, охватываемой инновациями и появления новых типов технических систем (что характерно, например, для космонавтики и перспективной ядерной энергетики). При страховании такой деятельности возникают значительные трудности, в том числе, связанные с высокими требованиями к квалификации андеррайтеров (которые должны обладать необходимыми техническими знаниями для оценки рисков). В космонавтике страховщикам приходится применять индивидуальный подход к каждому проекту (Malinowska 2017). В наиболее сложных случаях используют метод «специализации», а также прибегают к разделению неопределенности и риска.

Типичным примером «специализации» как метода минимизации возможного ущерба в условиях неопределенности, связанной с инновационной проектной деятельностью, можно считать существование в авиационной промышленности СССР

---

<sup>28</sup> Дональд Рамсфельд (Donald Rumsfeld) произнес это в 2002 году, будучи министром обороны США, на брифинге для прессы в Пентагоне; цитируется по (Rumsfeld 2010).

особых конструкторских бюро (ОКБ), создававших новые образцы летательных аппаратов, в то время как их серийное производство было возложено на «обычные», работающие «по плану», авиационные промышленные предприятия. Почти легендарным стал пример личностной «специализации», относящийся к советскому лунному проекту, который предусматривал создание ракеты Н-1 и аппарата для высадки человека на спутник Земли. При составлении перечня основных технических параметров этого аппарата, определяющих его будущую конструкцию, возник вопрос о посадочном устройстве, а механические свойства лунной поверхности в то время были совершенно неизвестны. Мнения планетологов разошлись: одни полагали, что поверхность Луны похожа на гранитные скалы, другие – что она представляет собой рыхлую пыль в несколько десятков метров толщиной и т.д. Затянувшимся спорам положил конец С.П. Королёв<sup>29</sup> в свойственной ему решительной манере. На одном из совещаний он написал в блокноте: «Луна – твердая», подписался: «С. Королёв», поставил дату, вырвал листок из блокнота и передал сотруднику, которому предстояло непосредственно руководить проектированием лунного посадочного модуля (Галлай 1985).

Разделение неопределенности на субъективную (неизмеримую, не поддающуюся анализу) составляющую, и объективную проекцию в виде риска применимо в инновационном бизнесе, а также при планировании и внедрении новшеств в области обороны и сдерживания (Cocron and Aronhime 2022). Такое разделение основывается на интуитивном (но, как правило, подтверждаемом) предположении относительно обратно пропорциональной зависимости между вероятностью неблагоприятных событий и размером потерь. Действия, успех которых вызывает сомнения, предпринимаются в области, характеризуемой малыми потерями, но высокой ожидаемой вероятностью их возникновения, при этом фактически проводится исследование неопределенности.

При использовании как «специализации», так и разделения, вероятности неблагоприятных событий остаются неизвестными, а внимание уделяется только размерам потенциального ущерба, которые можно пытаться минимизировать с помощью технических или организационных мер.

\* \* \*

Подводя итог обзору существующих подходов к проблеме неопределенности при проектировании, можно сделать следующие выводы:

1. В целях гарантированного обеспечения безопасности создаваемой технической системы имеющаяся неопределенность в отношении условий ее будущей эксплуатации, изменений состояния и реакции на воздействия должна быть сведена к минимуму.
2. Основным способом снижения неопределенности является получение как можно более полных и достоверных знаний о состоянии системы по завершении ее создания, среде, в которой ей предстоит работать, и взаимном влиянии системы и среды. Эти сведения позволяют прогнозировать срок службы системы и результаты любых эксплуатационных событий с точностью, отвечающей нынешнему уровню науки и техники.
3. Однако часто, а в инновационных проектах – как правило, полные и достоверные знания такого рода отсутствуют, соответственно неопределенность существует и может быть высокой. Существующие подходы к обращению с неопределенностью

---

<sup>29</sup> Королёв, Сергей Павлович (1907-1966), один из основных создателей советской ракетно-космической техники, председатель Совета главных конструкторов, руководитель предприятия, известного ныне как ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва».

позволяют снизить ее, но все они (как по отдельности, так и в совокупности) обладают ограниченной применимостью. Ни один из применяемых методов не позволяет оценить уровень неопределенности, когда нет никакой информации о будущих условиях эксплуатации, и тем более управлять этим уровнем, чтобы создать контролируемо надежное и безопасное изделие.

4. То, что у неопределенности есть разные источники (или составляющие), и в ней можно выделить субъективную и объективную части, свидетельствует о неоднородности этого феномена. Представляется целесообразным выявить структуру неоднородности и попытаться проанализировать составляющие ее элементы – возможно на этом пути можно найти новые подходы к управлению неопределенностью, которые окажутся более перспективными, чем обращение с феноменом, рассматриваемым как нечто целое.
5. Данная статья содержит текущие результаты исследований по проблеме неопределенности при проектировании. Приведенные выше положения могут уточняться и корректироваться по мере продолжения работы, рассмотрения новых данных и анализа дополнительных аспектов, пока не вошедших в поле зрения автора.

### Библиография

- Bernstein PL (1996) *Against the gods: The remarkable story of risk*. Wiley, New York
- Cocron A and Aronhime L (2022) Risk, uncertainty and innovation. *NATO Review*. Opinion, analysis and debate on security issues, 14 April 2022. <https://www.nato.int/docu/review/articles/2022/04/14/risk-uncertainty-and-innovation/index.html>. Accessed 2023-02-06
- Dédale JP (2013) Why a paradigm shift is needed. IAEA International Experts' Meeting on Human and Organizational Factors in Nuclear Safety in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. Vienna, Austria, May 21-24, 2013. Conference ID: 45441 (I2-CN-212). [https://www-pub.iaea.org/iaeameetings/IEM5/IEM5\\_Jean%20Paries\\_Dedale\\_France.pdf](https://www-pub.iaea.org/iaeameetings/IEM5/IEM5_Jean%20Paries_Dedale_France.pdf). Accessed 2022-03-29
- Knight FH (1921) *Risk, uncertainty and profit*. Houghton Mifflin Company, The Riverside Press Cambridge; Boston and New York
- Malinowska K (2017) Risk assessment in insuring space endeavours: a legal approach. *Air & Space Law* 42(3):329-348
- Newman MEJ (2005). Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. *Contemporary Physics* 46(5):323-351
- Rumsfeld D (2010) Known and unknown: Authors note. From pages XIII-XVI. *The Rumsfeld Papers*. December 2010. <https://papers.rumsfeld.com/about/page/authors-note>. Accessed 2022-11-30
- Russell B (1912) *The problems of philosophy*. Home University Library, 1912; Oxford University Press paperback, Oxford (UK), 1959
- Spirochkin Y (2023) *Human factors and design*. Springer, Singapore
- Taleb NN (2007) *The Black Swan. The impact of the highly improbable*. Random House, New York
- U.S.NRC (2022) *Backgrounder on nuclear insurance and disaster relief*. United States Nuclear Regulatory Commission. NRC Library, Last reviewed/updated: April 11, 2022. <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/nuclear-insurance.html>. Accessed 2022-06-29

- Wells TA and Chadbourne BD (eds.) (2007) Introduction to aviation insurance and risk management. Third Edition. Krieger Publishing Company, Malabar, Fla
- Willett AH (1901) The economic theory of risk and insurance. The Columbia University Press (Reprint for the S. S. Huebner Foundation for Insurance Education, University of Pennsylvania, by Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Illinois, 1951)
- Zisk R (2022) The space insurance landscape. Payload, October 31, 2022. <https://payloadspace.com/the-space-insurance-landscape>. Accessed 2023-03-20
- Беглярова АЛ (2008) Понятие неопределенности в философии и лингвистике. Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 2: Филология и искусствоведение, 2008, № 3, с. 51-54
- Галлай МЛ (1985) С человеком на борту. – М.: Советский писатель
- ГОСТ Р 51897-2011/ISO Guide 73:2009 Руководство ИСО 73:2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2012