УДК 614+504.05

ОБЗОР МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К АНАЛИЗУ ТЕХНОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ РИСКОВ

OVERVIEW OF METHODOLOGICAL APPROACHES TO ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL AND NATURAL RISKS

Валерий Иванович Ларионов,

Анатолий Александрович Александров, Сергей Петрович Сущев

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Valeriy I. Larionov, Anatoliy A. Aleksandrov, Sergey P. Sushchev

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

e-mail: lar@esrc.ru

Аннотация. Отличительными особенностями современного этапа являются нарастание интенсивности и многообразия рисков и увеличение во всем мире масштабов потерь от опасных природных и техногенных процессов, что придает особую значимость задачам обеспечения безопасности населения и территорий и комплексной оценки рисков сложных распределенных природно-технических систем. Для решения указанных проблем необходимо создание единой научно обоснованной методологии моделирования и оценки рисков.

В статье проанализированы основные методы анализа риска, раскрыты их положительные и отрицательные моменты, приведена их классификация по методическим подходам, показано, что их комплексное использование позволяет более эффективно проводить анализ риска и принимать правильные решения.



Рассмотрены методические подходы к анализу рисков для создания программно-технического комплекса обеспечения природно-техногенной безопасности территорий Российской Федерации с использованием технологий искусственного интеллекта.

Обзор проведен на основе анализа, синтеза, обобщения информации и системного подхода к различным точкам зрения на проблему анализа техногенных и природных рисков, изложенных в научных статьях, монографиях, диссертациях, лекциях, докладах, учебниках, справочниках, а также в нормативно-правовых актах в области безопасности в чрезвычайных ситуациях.

В статье приведена функциональная схема оценки риска, позволяющая представать основные этапы идентификации опасности и оценки уязвимости. Даны определения и размерности основных количественных показателей риска (потенциальный территориальный, индивидуальный, коллективный, социальный, технический, экономический, материальный, экологический).

Проведено распределение методов оценки риска по методическим подходам (расчетно-аналитический, статистический, эвристический). Коротко изложено обобщенное содержание методических подходов, а также методов, которые они включают.

Для создания программных комплексов обеспечения природнотехногенной безопасности территорий Российской Федерации предлагается применять расчетно-аналитический подход, основанный на единой научнометодической базе, учитывающей как вероятности возникновения опасных процессов, так и вероятности сопротивления элементами риска опасным воздействиям.

Получены следующие результаты.

1. Современное развитие масштабов и сложности технических систем, глобальное изменение климата (потепление) диктуют необходимость повышения уровня мер по предупреждению чрезвычайных ситуаций.



Данную проблему можно решить за счет создания и внедрения программных средств с использованием технологий искусственного интеллекта.

- 2. Создание программных средств с использованием технологий искусственного интеллекта должно базироваться на использовании научных методов анализа риска.
- 3. Обзор методов анализа риска позволил выбрать расчетноаналитический подход, основанный на единой методической базе, в качестве основного для создания программного обеспечения.

Abstract. Distinctive features of the modern stage are escalation in risks' intensity and diversity and increase in losses from natural and technological hazards around the world. This put special emphasis on the critical tasks of ensuring people and territories safety and complex risk assessment for complicated distributed natural-engineering systems. It is necessary to create unique scientifically based methodology for simulation and risk assessment to solve such issues.

The article covers main methods of risk assessment, their advantages and disadvantages, their classification according to methodological approaches, shows that their complex use allows to perform more effective risk assessment and to make right decision.

Methodological approaches to risk assessment for the creation of software and hardware complex for ensuring natural and technological safety on Russian Federation territories via artificial intelligence technologies are analyzed.

The survey was conducted based on information analysis, synthesis, consolidation and system approach to various points of view on the issues of technological and natural risks analysis stated in scientific articles, monographs, thesis papers, lectures, reports, textbooks, manuals and also in statutory regulations in the field of safety in emergency situations.

The article presents the functional chart of risk assessment that allows to reveal major stages of hazard identification and vulnerability assessment.



Definitions and dimensions for the main quantitative risk indicators (potential territorial, individual, collective, social, technical, economic, material, ecological) are given.

Risk assessment methods were distributed according to methodological approaches (calculation and analytical, statistical, heuristic). The summary of methodological approaches as well as their methods were presented.

We suggest using calculation and analytical approach based on unified scientific and methodological basis to create software systems for ensuring the natural and technological safety on Russian Federation territories. We also should consider both probabilities of dangerous processes and probabilities of risk elements resistance to hazardous effects.

The following results were obtained.

- 1. The modern development of technical systems scale and complexity, global climate changes (warming) dictate the need to increase the level of emergency prevention. This problem can be solved via creation and implementation of software with artificial intelligence technologies.
- 2. The creation of software with artificial intelligence technologies should be based on the use of scientific methods of risk analysis.
- 3. The review of risk analysis methods allowed us to choose calculation and analytical approach based on unified scientific and methodological basis as the leading one for the software development.

Ключевые слова: риск, неопределенность, безопасность, оценка риска, моделирование, управление рисками, сложные технические системы, искусственные нейронные сети

Keywords: risk, uncertainty, safety, risk assessment, simulation, risk management, complex engineering systems, artificial neural networks

Возрастание масштабов и сложности современных технических систем приводит к росту числа техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС). Доля



техногенных чрезвычайных ситуаций, возникающих на территории Российской Федерации, составляет более 60 % от общего числа ЧС. Среди крупнейших аварий в новейшей истории России — аварии на шахтах и электростанциях, гибель воздушных и морских судов, пожары и обрушение зданий, количество пострадавших в которых исчисляется десятками тысяч человек, а материальный ущерб — миллиардами рублей. Так, ущерб окружающей среде от разлива топлива в Норильске (2020 г.) составил 148 млрд руб. В зонах возможного воздействия поражающих факторов при возникновении ЧС на промышленных объектах проживают свыше 80 млн человек.

Опасные природные явления, стихийные бедствия по интенсивности и продолжительности могут оказать негативное воздействие, превышающее по масштабу техногенные ЧС. Доля ущерба, вызываемого природными явлениями, составляет более 80 % от общего ущерба в ЧС на территории России за год. Глобальное изменение климата (потепление) приводит к увеличению частоты природных ЧС, таких как наводнения, ураганы, тайфуны, засухи, лесные пожары. В последние годы от наводнений в значительной степени пострадало население Дальнего Востока, Якутии, Ставропольского и Краснодарского краев.

Все это предопределяет необходимость долгосрочного прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций, мониторинга основных источников техногенной и природной опасности, проведения анализа риска на объектах и территориях, а также повышения эффективности мер по защите населения, в том числе на основе развития научных методов анализа техногенных и природных рисков. Риск — неотъемлемая часть любого процесса и количественная мера опасности, характеризующая возможность ее возникновения и тяжесть последствий. Для анализа риска применяют теоретические, статистические и эвристические подходы. Создание единой научно обоснованной методологии моделирования и оценки рисков позволит вывести практические задачи в различных областях деятельности



человека на уровень аналитико-методологических исследований, разрабатывать новые и совершенствовать существующие стратегии обеспечения безопасного и устойчивого развития сложных природнотехнических систем.

Сегодня наиболее эффективным является комплексный подход к анализу рисков, в том числе с применением методов теории искусственного интеллекта. С одной стороны, такой подход позволяет получать более полное представление о природно-технических системах на основе широкого применения математических методов для анализа рисков, а с другой стороны, требует снятия некоторых имеющихся неопределенностей.

Теория рисков довольно широко применяется для оценки последствий воздействия хозяйственной деятельности на окружающую природную среду, однако к настоящему времени нет единой теории и общепринятой терминологии для определения риска чрезвычайных ситуаций.

Традиционные методические подходы к анализу риска

Следует отметить, что проблемам анализа риска посвящена обширная отечественная и зарубежная научная литература, и термин «риск» имеет множество определений и толкований. В настоящей работе было принято определение, которое представляется авторам наиболее точным и корректным, которое интегрирует в единое целое понятия «опасность» и «уязвимость». Риск — количественная характеристика (мера) возможности реализации за определенное время конкретной опасности и ее последствий. При этом риск R(P, U) можно представить как функцию двух переменных: вероятности P наступления неблагоприятного события (рисковой ситуации) и математического ожидания возможных потерь (ущерба).

Однако при формировании критериев оценки уровня и факторов риска необходимо учитывать возрастающую интеграцию разных видов рисков, которая порождает наиболее опасные комплексные (системные риски). Комплексный риск как научная категория не имеет однозначного



некоторой толкования, ЧТО затрудняет ДО степени исследование комплексных рисков (идентификацию, оценку, моделирование) управление ими. Преобладает следующее определение комплексного риска: частота гибели (поражения) на рассматриваемой территории отдельного человека в результате возможного воздействия всей совокупности поражающих факторов источников чрезвычайной ситуации.

Анализ риска включает идентификацию опасности и непосредственную оценку риска [1]. При этом идентификация опасностей заключается в выявлении и описании всех источников опасностей (инициирующих событий) и сценариев их реализации. Оценка риска основана на анализе причин возникновения и условий развития аварий (катастроф), включает определение частот инициирующих и всех нежелательных событий и анализ последствий возможных воздействий факторов опасности на людей, имущество и окружающую природную среду. Функциональная схема оценки риска приведена на рисунке 1.

Анализ риска является основой управления рисками. При этом принимается решение о целесообразности проведения мероприятий защиты. С этой целью сравниваются расчетные результаты оценки риска с приемлемыми значениями. При анализе риска широко применяются программные средства.

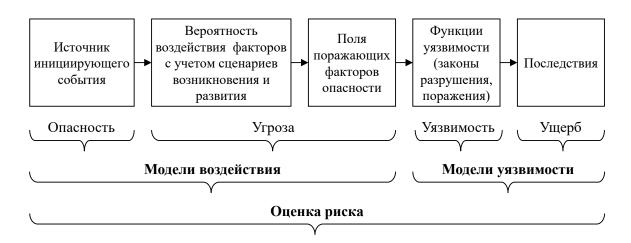


Рисунок 1. Функциональная схема оценки риска

Figure 1. Functional diagram of risk assessment



Риски можно классифицировать по следующим признакам:

- источник риска (природные, техногенные, экономические, социальные, технические и пр.);
 - элементы риска (природная среда, общество, техносфера);
 - продолжительность действия риска;
 - происхождение (вынужденные/добровольные);
- масштаб действия риска (индивидуальный, коллективный, территориальный, комплексный);
 - уровни риска (предельно допустимый, недопустимый, допустимый);
- управляемость риска (контролируемые, частично контролируемые, не контролируемые).

Все методы, применяемые российскими специалистами при анализе риска, укладываются в 3 основные группы: расчетно-аналитические (аналитические, теоретические), статистические (математикостатистические, вероятностные) и эвристические (экспертные) подходы (таблица 1) [2]. Предлагаемые подходы к исследованию рисков универсальны, поскольку применимы вне зависимости от их предметного содержания, специфики хозяйственной сферы и ситуации.

Таблица 1. Особенности методических подходов к исследованию природных и техногенных рисков

Table 1. Features of methodological approaches to the study of natural and man-made risks

Методичес- кий подход	Основа подхода	Достоинства (+) / недостатки (-)
Расчетно-	Моделирование с	1. Количественная оценка уровня риска (+).
аналитичес-	вероятностными	2. Приемлемая точность оценки (+).
кий	показателями,	3. Комбинирование со статистическими и
	определенными с	экспертными методами (+).
	большей или меньшей	4. Применимость отдельных методов только
	степенью точности/	в условиях полной определенности (-).
	достоверности	5. Снижение точности оценки за счет
		использование в некоторых случаях
		приближенной оценки вероятности (–).



Методичес- кий подход	Основа подхода	Достоинства (+) / недостатки (-)
Статистичес-	Изучение статистики	1. Количественная оценка уровня риска (+).
кий	потерь в аналогичных	2. Объективность, точность (+).
	ситуациях, определение	3. Комбинирование с теоретическими и
	частоты опасных	экспертными методами (+).
	событий	4.Необходимость фактического материала
		(обширной базы достоверных данных) (–).
Эвристичес-	Использование знаний	1. Применимость для оценки рисков во всех
кий	и опыта	сферах и областях в различных условиях
	квалифицированных	(отсутствие статистических данных,
	специалистов в данной	математических моделей, трудно
	предметной области.	формализуемая задача) (+).
	Предполагают сбор,	2. Не всегда достоверный результат,
	изучение и обобщение	субъективность (-).
	экспертных оценок	3. Затраты на проведение экспертизы (–).
		4. Необходимость разработки специальных
		методик для оценки некоторых видов риска
		(-).

Расчетно-аналитический подход базируется на математических моделях с применением теории вероятностей и позволяет количественно оценить риски при отсутствии достаточной базы статистических данных. При указанном подходе учитывается оценка как вероятности возникновения аварии и путей развития опасных процессов, так и масштаба негативного воздействия. Для этого анализируются деревья отказов и деревья событий, выбираются или определяются соответствующие функции уязвимости риска. Подробно теоретические методы изложены в работах [3–6].

Рассмотрим основные показатели рисков, характеризующие опасность для человека.

Потенциальный территориальный риск определяется как частота реализации в рассматриваемой точке с координатами (x, y) поражающего фактора интенсивностью, соответствующей гибели (поражению) человека:

$$R_{\Pi}(x,y) = \lambda \sum_{i} P(C_{i}) P_{i}[\Phi(x,y)], \tag{1}$$

где λ – частота аварий за год;



 $P(C_i)$ — вероятность реализации i-го сценария аварии (пожар, огненный шар, взрыв и др.);

 $P_i[\Phi(x, y)]$ — вероятность летального исхода при воздействии поражающего фактора Φ в точке (x, y) для i-го сценария аварии.

При определении потенциального территориального риска принимается, что в каждой точке (x, y) человек находится с вероятностью, равной единице. Соединяя изолиниями точки с одинаковыми значениями риска, получают поля потенциального территориального риска.

Коллективный риск на площадке с координатами (x, y) вычисляется по формуле

$$R_{\text{\tiny KOII}}(x,y) = R_{\text{\tiny II}}(x,y)N(x,y)P_{t}, \tag{2}$$

где N(x, y) — численность людей на рассматриваемой площадке;

 P_t – вероятность размещения людей на площадке в течение года.

Коллективный риск для объекта в целом, определяемый как ожидаемое число пострадавших за год, численно равен сумме рисков на отдельных площадках с координатами (x, y):

$$R_{\text{\tiny KOJI}} = \sum_{S} R_{\text{\tiny KOJI}}(x, y), \tag{3}$$

индивидуальный риск для объекта в целом равен

$$R_{\text{инд}} = R_{\text{кол}} / N_0, \tag{4}$$

где S — площадь зоны риска;

 N_0 – численность людей в зоне риска.

Коллективный и индивидуальный риски определяются с учетом времени размещения людей на расчетных площадках.

Статистический подход заключается в определении вероятности возникновения событий на основе статистических данных предшествующего периода [7]. Статистические базы данных угроз, опасностей, событий в основных сферах жизнедеятельности (социальной, природной, техногенной) отражают состояние единой функционирующей во времени системы «человек – окружающая природная среда –



техносфера» [8]. Так, в настоящее время в Национальном центре управления в кризисных ситуациях МЧС России ведется база чрезвычайных ситуаций (ЧС), включающая более 20 тыс. событий, начиная с 1992 г. [9].

Статистические методы позволяют определить частоты и вероятности появления определенных событий, оценить риски опасностей, а также коллективный и индивидуальный риски для территорий. При определении рисков для объекта статистические методы, как правило, не используют, поскольку отдельно рассматриваемый объект может не иметь достаточной статистики по ЧС. Поэтому оцениваются риски не конкретного объекта, а объектов определенного типа, размещенных на рассматриваемой административной территории.

На основе анализа статистической информации прогнозируют риск (уровень опасности) возникновения аварий в техногенной сфере применительно к территориям (муниципальным образованиям, субъектам):

- на пожаро-, взрыво- и химически опасных объектах;
- линиях электропередачи, в сфере ЖКХ (электро- и водоснабжение);
- транспорте (автомобильном, железнодорожном, водном, авиационном).

На основе статистической информации также может быть спрогнозирован риск возникновения ЧС в природной сфере – наводнений и лесных пожаров.

Статистическими методами определяют основные показатели риска техногенного и природного характера для муниципальных образований, административных районов и субъектов РФ: риск возникновения ЧС, коллективный и индивидуальный риски в ЧС.

Риск возникновения ЧС характеризует частоту ЧС в техногенной и природной сферах:

$$R_{\rm cr. 4C} = \frac{n}{T},\tag{5}$$

где n — число ЧС техногенного или природного характера определенного типа за период наблюдений на рассматриваемой территории;



T – период выборки.

Коллективный риск в ЧС может рассчитываться отдельно как для погибших, так и для пострадавших:

$$R_{\rm \tiny CT.KOJ} = \frac{N}{T},\tag{6}$$

где $N = \{N_1; N_2\};$

 N_1 — число погибших (безвозвратные потери) в ЧС определенного типа на рассматриваемой территории за период наблюдений;

 N_2 – число пострадавших (общие потери).

Индивидуальный риск в ЧС может определяться не только для безвозвратных, но и для общих потерь:

$$R_{\text{ct.инд}} = \frac{R_{\text{ct.кол}}}{N_0},\tag{7}$$

где N_0 — общая численность людей в административном районе или субъекте $P\Phi$.

Показатели, определяемые по формулам (5)–(7), носят статический характер и не отражают изменение рисков в течение прогнозируемого периода времени. Для создания комплексной системы управления рисками при возникновении аварий на пожаро-, взрыво- и химически опасных объектах, аварий на транспорте (авиационном, железнодорожном, водном, автомобильном), обрывов линий электропередачи и отказов бытовых сетей на объектах ЖКХ (электроснабжение, горячая вода, холодная вода), а также возникновении наводнений и лесных пожаров, которая могла бы обеспечить соответствующую реакцию при изменяющихся обстоятельствах, целесообразно использовать методику динамического анализа риска, основанную на интеграции статистической информации, метеоданных, а также информации о ЧС. При этом прогнозирование уровня опасности проводится с учетом сезонных колебаний климата и прогностических метеорологических данных.



Эвристический подход заключается в сборе и обработке статистическими методами мнений высококвалифицированных специалистов (экспертов), дающих свои оценки вероятности возникновения событий определенного уровня, а также в изучении и обобщении экспертных оценок. Эвристические методы применяются в следующих случаях:

- когда оценку риска нельзя выполнить теоретическим или статистическим методами;
 - при отсутствии достаточной информации;
 - в случае большой неопределенности процессов и окружающей среды;
- при необходимости прогнозирования рисков за короткий интервал времени;
- когда отсутствует методическое и программное обеспечение моделирования;
 - в экстренных условиях.

Важными этапами экспертного анализа становятся подбор экспертов, опрос экспертов и обработка результатов, определение достоверности экспертных оценок.

В рамках каждого из рассмотренных подходов (расчетноаналитический, статистический, эвристический) можно выделять конкретные методы, способы и методики, адаптированные для тех или иных условий (таблица 2) [2, 10–17].

Представленные в таблице 2 методы весьма разнообразны, их довольно много, приведенный перечень не является ни окончательным, ни исчерпывающим. Каждый из них имеет свои достоинства и ограничения, свою специфику, область использования, необходимые ресурсы, применимость на том или ином этапе анализа риска [2]. Некоторые методы очень просты в использовании, другие требуют высокого уровня специалистов, их применяющих, и значительных усилий.



Таблица 2. Основные методы оценки риска

Table 2. Main methods of risk assessment

No	Наименование	Сущность	Достоинства (+) /
710	Паименование	Сущность	недостатки (-)
		РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕ	ССКИЙ
1	Дерево отказов (неисправностей) (Fault Tree Analysis, FTA)	Анализируются причины головного события с использованием булевой логики для описания комбинаций сбоев.	1. Простое графическое представление логических связей между авариями и инициирующими их событиями (+). 2. Определение причин возникновения аварий, аварийных сочетаний (+). 3. Учет человеческого фактора как отказов операторов (+). 4. Отражает статистику аварий (+). 5. Требует применения сложной логики (-).
2	Дерево событий (Event Tree Analysis, ETA)	Моделируются возможные результаты от первоначального события и состояние мер управления для анализа частоты или вероятности различных возможных результатов.	1. Графическое представление сценариев развития аварийных ситуаций (+). 2. Учет фактора времени (+). 3. Отражает последовательность событий (+). 4. Учитывает 2 состояния: работоспособность и отказ (–). 5. Некоторые события могут быть не учтены (–).
3	Дерево решений (Decision Tree Analysis, DTA)	Сравнение вариантов проводится с использованием древовидного представления или модели решений и их возможных последствий. Результаты обычно выражаются в денежном выражении.	1. Используется при независимости отказов (–). 2. Не могут использоваться при двухсторонних зависимостях (–).
4	Анализ причинно- следственных связей (Cause- Consequence Analysis, CCA)	Сочетание методов анализа дерева отказов и дерева событий.	1. Анализирует как причины, так и последствия возникшего события, можно построить цепь событий (+). 2. Может использоваться для решения проблем с человеческими ошибками (+).



№	Наименование	Сущность	Достоинства (+) / недостатки (-)
			3. Позволяет учитывать временные задержки при анализе последствий (+). 3. Гибкий метод, обеспеченный документацией (+). 4. Трудоемкий при использовании для сложных систем (–). 4. Требует высокой квалификации специалистов (–). 5. Могут потребоваться предварительные исследования (–).
5	Метод Монте- Карло (имитационное моделирование, метод статистических испытаний)	Метод используют для установления изменений системы, возникающих в результате изменений входных данных системы с учетом распределения входных данных и их связи с выходными данными. Вычисляется вероятность результатов путем запуска нескольких симуляций с использованием случайных величин.	1. Позволяет получить оценки среднего, стандартного отклонения, доверительные интервалы (+). 2. Не всегда известны функции распределения исходных данных (–).
6	Методы нечеткой логики (нечетких множеств)	Используется для формализации нечетких знаний, оперирует числовой или лингвистической неопределенностью, дополняя (заменяя) вероятностные методы.	1. Позволяет провести ранжирование опасностей, вычислить вероятности (+). 2. Позволяет улучшить качество управления, выбрать оптимальный комплекс управляющих решений (+). 3. Требует специальной подготовки экспертов (–). 4. Отсутствие единого метода (подхода), для каждого случая — свой алгоритм (–). 5. Необходимость специального программного обеспечения (–).
7	Многокритери- альный анализ (MCA)	Метод включает разработку матрицы вариантов и критериев, которые	1. Используется для обоснования эффективных решений (+).



№	Наименование	Сущность	Достоинства (+) / недостатки (-)
		ранжируются и агрегируются для обеспечения общего балла по каждому варианту.	2. Нет единого подхода (–).
		Существует много вариантов этой техники.	
8	Матрица последствий/веро ятности (матрица рисков или карта)	Позволяет сравнивать отдельные риски в координатах «вероятности – последствия». Результат – отображение, иллюстрирующее относительную вероятность, последствия и уровень разных рисков, а также рейтинг значимости	1. Используется для зонирования территорий по риску (+). 2. Эффективный способ принятия решений (+). 3. Необходимо специальное программное обеспечение (–).
9	Вычисление	каждого отдельного риска. Определение значения	1. Позволяет оценить
10	стоимости рисков (Value at Risk, VaR)	убытка, который может возникнуть с определенной вероятностью в течение определенного периода времени. Денежное выражение	социальные ущербы для выплат пострадавшим (+). 2. Оперативность (+). 3. Необходимо специальное программное обеспечение (–). 1. Выбор наилучшего решения
	выгод (Cost-Benefit Analysis, CBA)	используется в качестве шкалы для оценки последствий различных вариантов. Применяется с целью оптимизации вариантов решения по снижению риска. Результатом применения может быть таблица, сравнивающая затраты и выгоды от применяя различных вариантов.	или способа действия (+). 2. Субъективность оценки затрат и выгод (–). 3. Требуются специальная подготовка экспертов (–).
11	F/N-кривая	Частотно-цифровые (в координатах «вероятность — последствия») диаграммы для оценки риска для жизни человека.	1. Наглядное представление информации о риске (+). 2. Используется для принятия решений (+). 3. Для полного анализа требуются все возможные сценарии серьезных аварий (-). 3. Не дает развитие событий (-).



№	Наименование	Сущность	Достоинства (+) /
10		недостатки (–)	
12	Метод анализа	Основан на исследовании	1. Позволяет определить
	чувствительности	влияния факторов на	работоспособность модели (+)
		результат. Выполняется с	2. Позволяет выявить
		целью определения	наиболее существенные
		характера зависимости	факторы риска и факторы,
		результата модели от	требующие контроля (+).
	переменных величин		3. Результаты представляются
		обоснования пороговых	в графической или табличной
		значений.	форме (+).
			4. Неопределенность
			результатов анализа (–).
		СТАТИСТИЧЕСКИЙ	Í
13	Анализ баз	Идентификация	1. Идентификация и оценка
	данных/знаний	опасностей, рисков,	рисков, оценка эффективности
		негативных событий, сбоев	управления рисками (+).
		в управлении на основе	2. Позволяет получить
		данных прошлых лет или	ожидаемые показатели (+).
		теоретических моделей	3. Необходимы базы данных,
		(инструменты SWOT,	базы знаний (–).
		PESTLE, STEEP,	
		STEEPLED, и пр.).	
14	Анализ влияния	Способ исследования	1. Качественная и/или
	человеческого	воздействия человеческого	количественная оценка
	фактора (Нитап	фактора на систему и	влияния действий человека на
	Reliability	ошибок персонала,	работу системы, процесса.
	Assessment, HRA)	влияющих на работу	2. Формализованное
	, ,	системы (определение	исследование ошибок
		вероятности человеческой	оператора (+).
		ошибки и оценка	3. Сложность и многообразие
		вероятности отказа).	способов поведения
		sepeninee in e inasa).	операторов (–).
			4. Невозможность описания
			многих действий оператора
			(-).
15	Методы оценки с	Экстраполяция,	1. Выявление и
	помощью теории	определение тренда	идентификация рисков (+).
	вероятностей	развития ЧС.	2. Определение основных
	(матожидание,	Passilling 101	показателей риска (+).
	дисперсия,		3. Необходима надежная и
	среднеквадратиче		обширная статистика (–).
	ское отклонение)		commpnum crumerinau ().
	exoc organization	<u> </u>	
16	Интервью,	Способ получения данных,	1. Позволяет
10	опросы,	выявления взглядов/мнений	идентифицировать опасности,
	•	выльнении взільдов/мнении	проводить оценку
	анкетирование		проводить оценку



№	Наименование	Сущность	Достоинства (+) / недостатки (-)
		отдельных лиц в группе. Обмен информацией.	эффективности средств контроля, управления. 2. Оперативность метода (+). 3. Предварительна оценка (–).
17	Мозговой штурм (brainstorming)	Способ получения набора идей, решений и оценок, ранжируемых командой. Проводится в два этапа: генерация идей (одна группа экспертов) и практический анализ выдвинутых идей (другая группа экспертов).	1. Выявление факторов риска и их последствий, вариантов снижения риска, критериев для принятия решений (+). 2. Оперативность метода (+). 3. Допускает анонимное участие (+) 4. Недостаток знаний у участников (–). 5. Доминирование группы авторитетных экспертов (–)
18	Метод синектики (аналогий, ассоциаций)	Способ генерации идей и определения вариантов решений. Привлечение интуитивно-образного мышления, использование аналогий и ассоциаций с уже решенными задачами.	1. Построение решения на основе ассоциаций и аналогий (+). 2. Творческая свобода в группе (+). 3. Тщательный подбор экспертов (–). 4. Эмоциональное восприятие проблемы (–) 5. Наличие лидера может привести к ошибке (–).
19	Метод Дельфи (Delphi)	Метод получения общего мнения по рассматриваемому вопросу. Сбор суждений и мнений через набор последовательных опросников. Эксперты отвечают на вопросы индивидуально и анонимно, независимо друг от друга, имея при этом возможность ознакомиться с мнением других участников после каждого набора вопросов. Проводится в несколько туров, после каждого тура ответы обрабатываются и анализируются аналитиками.	1. Используется для выявления, идентификации, ранжирования рисков. 2. Обработка анкет методом математической статистики с применением программного обеспечения (+). 3. Многотуровая процедура анкетирования (–). 4. Качество зависит от профессионализма экспертов (–).



No	Наименование	Сущность	Достоинства (+) /
112	танменование сущноств		недостатки (–)
20	Анализ сценариев	Определение возможных	1. Используется для
		сценариев (лучший,	выявления и идентификации
		худший, наиболее	рисков, анализа последствий
		вероятный) в результате	(+).
		изменения факторов риска	2. Позволяет получить четкое
		(предположение,	понимание развития событий
		экстраполяция текущего	(+).
		состояния, моделирование).	3. Нереальность и/или
		Анализ риска для каждого	необоснованность части
		из этих сценариев.	сценариев (–).
21	Структурированн	Исследование сценариев с	1. Применяется для
	ый анализ	использованием ключевых	идентификации риска,
	сценариев	слов или фраз-подсказок.	формирования сценариев
	методом «что,		развития опасных ситуаций.
	если?» (Structured		2. Применим при минимуме
	what — if		информации (+).
	technique, SWIFT)		3. Эффективны для объектов с
			известной технологией (–).
			4. Выявляются недостатки
			технологии (–).
22	Исследование	Исследование системы,	1. Применяется для
	опасности и	процесса, процедуры с	идентификации
	работоспособност	целью выявления и оценки	потенциальных опасностей и
	и (Hazard and	проблем, которые могут	проблем работоспособности
	Operability Study,	представлять угрозу для	(+).
	HAZOP)	персонала, оборудования	2. Анализ рисков (+).
	,	или эффективности работы.	3. Планы действий в
		Метод базируется на	аварийных ситуациях (+).
		использовании	4. Подготовка управляющих
		управляющих слов.	слов для исследования (–).
23	Анализ рисков и	Защита от рисков и	1. Идентификация опасностей
	критических	обеспечение высокой	(рисков), проверка средств
	контрольных	надежности	управления (+).
	точек (Hazard	функционирования и	2. Ориентирована на
	Analysis and	безопасности производства	предупреждение опасностей
	Critical Control	путем введения контроля во	(+).
	Points, HACCP)	всех частях процесса и	3. Управление риском в
	, ,	применения различных	процессе производства (+).
		уровней защиты.	4. Необходимо знать все
		Проведение мониторинга и	критические контрольные
		измерений специфических	точки (–).
		характеристик, которые	
		должны находиться в	
		установленных границах	
		(критические контрольные	
		точки).	
		10 іки).	



№	Наименование	Сущность	Достоинства (+) / недостатки (-)
24	Анализ уровней защиты (Layers of Protection Analysis, LOPA)	Метод оценки риска, связанный с нежелательными событиями. Анализ достаточности мер по управлению или снижению риска.	1. Исследования уровней защиты (анализ барьеров) (+). 2. Позволяет оценить средства управления и их эффективность (+). 3. Требует меньше времени, чем метод полной оценки (+). 4. Позволяет обосновать критичные уровни защиты (+). 5. Метод не охватывает другие сценарии (–). 6. Не применим к сложным системам (–).
25	Метод балльных (экспертных) оценок	Определение факторов риска, ранжирование их с использованием балльной шкалы, выработка рекомендаций по управлению риском.	1. Наиболее распространенный метод качественной оценки (+). 2. Возможность привлечения большего количества экспертов (+). 3. Оперативность оценки (+) 4. Требуется высокий профессионализм экспертов (-).
26	Метод Комиссии	Группа экспертов многократно собирается для обсуждения одного и того же вопроса. Организатор экспертизы выступает в роли модератора.	1 Группа экспертов ограничена (10–12 чел.) (+). 2. Отсутствие анонимности (—). 3. Часть экспертов может принять мнение авторитетных специалистов (—) 4. Нежелание части экспертов отказаться от ранее высказанных мнений (—).
27	Метод Суда	В группе экспертов выбирается «прокурор» (критикует), «адвокат» (защищает), «судья» (принимает решение). Роли могут выполниться и одним человеком. Для управления процессом назначается модератор.	1. Свободное высказывание мнений (+). 2. Необходима тренировка в назначенной роли (-) 3. Требуется проводить деловые игры, заблаговременные тренировки в составе соответствующих групп (-).



Например, расчетно-аналитические методы оказываются наиболее эффективными при оценке риска производственных объектов, а в условиях неопределенности для оценки риска редких событий, когда статистика практически отсутствует, их следует применять в совокупности с географическими информационными системами И технологиями. наибольшее Получившие настоящее время распространение вероятностные методы обеспечивают наиболее точную оценку уровня риска, но применимы при наличии достаточно полной и достоверной информации. Несмотря на очевидные достоинства, формальные методы при исследовании природно-техногенных рисков не всегда могут дать однозначные рекомендации. Поэтому наряду с ними применяются соответствующие методы из теории экспертных оценок. Так, основным преимуществом эвристического подхода является возможность использования практически в любых условиях. Однако конкретные методики экспертной оценки, как правило, весьма специфичны и узко специализированы. Привлечение экспертов должного уровня квалификации и проведение процедуры оценки может потребовать существенных затрат ресурсов и времени. Достоверность экспертных оценок зависит от качественного и количественного состава группы экспертов.

Сгладить недостатки и ограничения возможно путем объединения (комбинирования) методических подходов, количественных и качественных методов, а также применением при анализе риска интеллектуальных технологий (элементов искусственного интеллекта).

Подход к анализу риска на основе интеллектуальных технологий

Сложность процесса анализа и управления рисками природнотехногенного характера приводит к усложнению деятельности лиц, связанных с этими процессами, требует от специалистов высокой квалификации. Поскольку с ростом производительности вычислительных машин и с развитием интеллектуальных технологий многие задачи,



получение возникающие при анализе риска, допускают программными средствами, эта проблема может быть решена разработкой и совершенствованием методических подходов анализа риска, методологий выработки решений принятия управленческих метолов прогнозирования, реализуемых в виде программно-технических средств, то искусственного есть созданием систем интеллекта (искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы, базы знаний, экспертные системы, нечеткая логика, а также их различные сочетания), применяемых для анализа и управления рисками в целях улучшения процесса принятия решения. В настоящее время применение интеллектуальных алгоритмов становится наиболее эффективным инструментарием для мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Этот подход предполагает новый взгляд на сбор и обработку информации, анализ и управление рисками.

Искусственная нейронная сеть вычислительная структура, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей живого организма, являющаяся системой между собой процессоров (преобразователей) взаимосвязанных искусственных нейронов. Искусственный нейрон напоминает функцию: на входе у него несколько значений, а на выходе одно. Соединенные в достаточно большую, многослойную сеть такие нейроны способны решать достаточно сложные задачи.

Эффективность нейронных сетей зависит от их обучения. Под обучением понимается процесс определения весов межнейронных связей. Наиболее популярным способом машинного обучения сети является обучение «с учителем», в ходе которого она обучается с помощью примеров (обучающих векторов и эталонных сигналов). Сети являются адаптируемыми и обучаемыми, это их главные преимущества.

Интеллектуальные экспертные системы предполагают использование баз знаний, они основаны на теореме Байеса, которая позволяет определить



вероятность какого-либо события при условии, что произошло другое статистически взаимозависимое с ним событие.

База знаний — база данных, содержащая структурированную информацию, покрывающую некоторую область знаний, для использования пользователем или компьютером. Современные базы знаний содержат не только данные, но и правила ввода, хранения и обработки информации.

Однако следует отметить, что в настоящее время недостаточно примеров по применению интеллектуальных технологий при анализе риска, что объясняется значительной величиной проблемной области, ее сложностью и неоднозначностью, а также необходимостью работы с большими базами данных.

Технологии управления рисками

При определении этапов управления рисками большинство авторов выделяют следующие [11–17]:

- 1) оценка риска (включая идентификацию, анализ и ранжирование);
- 2) выбор технологий (методов) управления рисками;
- 3) мониторинг (контроль);
- 4) информирование и коммуникация (отчет о рисках).

У специалистов как российских, так и иностранных сформировались достаточно четкие предпочтения в отношении методов управления рисками.

Это обусловлено, в основном, уровнем экономического развития государства и рассматриваемыми группами рисков. Однако, несмотря на различия в предпочтениях, следует учитывать влияние западного опыта на отечественных исследователей, достаточно широкое использование в нашей практике зарубежных подходов и, как следствие, сближение российского и западного подходов к анализу риска и управлению им.



Выбор методов

При выборе методического подхода (теоретический, статистический эвристический) к анализу техногенных и природных рисков в конкретной ситуации необходимо учитывать множество факторов, в том числе:

1) сложность рассматриваемой проблемы; 2) полноту информации об исследуемом риске (степень неопределенности); 3) требуемые ресурсы (временные, человеческие, финансовые, информационные и пр.);

4) возможность получения количественных оценок показателей риска.

Следует отметить, в зависимости от цели различают качественный (выявление, идентификация факторов риска, их описание) количественный (вычисление частоты/вероятности причинения ущерба определенного вида на рассматриваемом объекте или территории) анализ. Теоретические основы обоих видов анализа являются общими. Различия заключаются в том, что при качественном (описательном) анализе фиксируют только наличие факторов риска, величину риска получают с применением описательных (номинальных) или ранговых (порядковых) шкал, а при количественном анализе основное внимание уделяют определению вероятностей и последствий, которые выражаются в числовых (количественных) шкалах в виде диапазонов или распределений [2]. Качественные методы отвечают на вопросы «что?», «как?» и «почему?», а количественные – на вопрос «сколько?». Результатом качественного анализа являются мнения и оценки, рассуждения и описания, ассоциации, предположения и обоснования, идеи, предложения, аргументы и т.п., а количественного – численную величину риска. Качественный подход является основой для проведения дальнейших исследований с помощью количественных методов. Проведение количественного анализа требует большого объема информации по аварийности, надежности оборудования, учета особенностей окружающей территории, метеоусловий, времени пребывания людей в опасных зонах и других факторов, а также выполнения экспертных работ и высокой квалификации исполнителей.



При выборе и применении методов анализа риска следует придерживаться следующих требований:

- научная обоснованность и соответствие рассматриваемым опасностям;
- представление результатов исследования в виде, позволяющем понимать формы реализации опасностей и намечать пути снижения риска;
 - повторяемость и проверяемость.

Следует отдавать предпочтение более простым и понимаемым методам анализа, полностью методически обеспеченным. При недостатке статистических данных на практике рекомендуется использование экспертных оценок и методов количественного анализа риска.

Методы могут применяться автономно или в дополнение друг к другу. При этом важен как количественный, так и качественный анализ рисков, поскольку количественный анализ позволяет определить основные показатели риска (уровень/степень риска, величина ущерба, вероятность наступления события и др.) в числовом выражении, качественный анализ, основанный на экспертной оценке, позволяет выявить существующие опасности, определить источники и последствия риска. Следует отметить, что методы качественного анализа могут также включать количественные критерии риска. А полный количественный анализ риска должен использовать результаты качественного анализа.

Для эффективного анализа природно-техногенных рисков необходимо применять комплекс методов.

Анализ риска сложных технических систем

Под сложной технической системой (СТС) понимают системы вида «человек — машина — среда», имеющие в своем составе потенциально опасные, взаимосвязанные и взаимодействующие между собой как в нормальных, так и в аварийных и чрезвычайных ситуациях элементы [8, 10, 11, 16, 18, 19]. Человеческий фактор, например, отражает роль



разрабатывающих специалистов, И эксплуатирующих потенциально опасные объекты (машины), и населения, находящихся в зоне риска таких объектов, а также участников ликвидации последствий при возникновении на них аварии. Под «машиной» в СТС подразумеваются потенциально опасные объекты и их основные элементы (машины, аппараты, системы управления, защиты и контроля, коммуникационные и транспортные системы, инженерные системы и здания). То есть практически любой технический объект может стать потенциальным источником аварий с тяжелыми последствиями. Типичными примерами CTC являются плавучие нефтедобывающие электроэнергетические комплексы, платформы и магистральные трубопроводы, морской и воздушный транспорт и т.д.

Аварии и катастрофы на СТС приводят к гибели людей, экономическим потерям, социально-политической напряженности, ущербу окружающей природной среде. Указанные последствия в России обусловлены в основном следующими причинами:

- 1) сосредоточением высокорисковых объектов в зонах повышенной плотности населения, а также промышленной и гражданской застройки;
- 2) нарастанием опасностей в техногенной сфере за счет старения основных фондов предприятий.

При этом риск аварий и время простоев СТС может быть снижен в результате разработки и внедрения систем мониторинга технического состояния сложных технических систем, своевременного и полного выявления и устранения причин изменения их состояния, применения современных научных методов и математического аппарата для анализа опасностей.

При исследовании технического состояния сложной технической системы:

- выявляются факторы, обусловившие ее текущее состояние;
- уточняются причины инцидента/отказа/аварии;



- идентифицируется опасность (инцидент/отказ/авария);
- прогнозируются события с более высоким уровнем последствий;
- выполняется построение наиболее вероятных и наиболее опасных сценариев динамики нежелательных состояний системы (деревья отказов и событий);
 - оценивается риск рассматриваемых сценариев;
- обосновываются необходимые мероприятия, в том числе по предупреждению аварий, по обеспечению и восстановлению работоспособности системы, по минимизации последствий.

Важным элементом обеспечения промышленной безопасности и предупреждения аварий на СТС является анализ риска, который предполагает моделирование развития (построение возможных сценариев) производственных аварий и получение количественных оценок потенциальной опасности объектов и рекомендаций по ее снижению путем реализации соответствующих инженерно-технических и организационных мероприятий. Классификация показателей риска СТС приведена в таблице 3.

Таблица 3. Основные количественные показатели риска сложных технических систем

Table 3. The main quantitative risk indicators of complex technical systems

Риск	Обозначение	Определение
Потенциальный	R_{Π} , 1/год	Частота реализации в рассматриваемой точке
территориальный		территории поражающих факторов опасности,
		которые могут привести к гибели людей.
Индивидуальный	$R_{\text{инд}}$, $1/год$	Частота гибели (поражения) на
		рассматриваемой территории отдельного
		человека в результате воздействия
		исследуемых факторов опасности.
Коллективный	$R_{ ext{ iny KOJ}}$, чел./год	Ожидаемые людские потери на
		рассматриваемой территории за определенное
		время в результате возможного воздействия
		исследуемых факторов опасности.



Риск	Обозначение	Определение
Социальный	$R_{\text{соц}}$, $1/$ год	Зависимость между частотой реализации
		определенных факторов опасностей и
		размером последствий для здоровья людей:
		числом погибших или пострадавших.
Комплексный	$R_{\Sigma_{\text{ИНД}}}$, $1/год$	Частота гибели (поражения) на
индивидуальный		рассматриваемой территории отдельного
риск ЧС		человека в результате возможного воздействия
		всей совокупности поражающих факторов
		источников чрезвычайной ситуации.
Комплексный	$R_{\Sigma_{ ext{KOЛ}}}$, чел./год	Математическое ожидание числа погибших
коллективный		(пострадавших) на рассматриваемой
риск ЧС		территории за определенное время в результате
		возможного воздействия всей совокупности
		поражающих факторов источников
		чрезвычайной ситуации.
Технический	<i>R</i> _т , 1/год,	Частота отказа технических устройств с
	1/(тыс. км ⋅ год),	последствиями определенного уровня (класса)
	т/(тыс. км ⋅ год),	за определенный период (год)
	$M^3/($ тыс. км · год $)$,	функционирования опасного
	руб./год	производственного объекта.
Экономический	$R_{\rm эк}$, тыс. руб./год	Ожидаемый размер ущерба в стоимостных
		единицах за год.
Материальный	$R_{\rm M}$, тыс. руб./год	Ожидаемые материальные потери в результате
		возможных реализаций факторов опасности в
		стоимостных единицах за год.
Экологический	$R_{ m \scriptscriptstyle 9KOJ}$,	Ожидаемый размер ущерба для природной
	тыс. руб./год	среды в стоимостных единицах за
		определенный период.

CTC При риска следует уделять особое внимание моделированию процессов системы «человек – машина – среда». В качестве основных моделей, увязывающих все существенные для безопасности свойства и параметры СТС, можно использовать, например, диаграммы причинно-следственных связей (B координатах «эксплуатирующий персонал – конструкция СТС – производственная среда»). Обоснованность такого подхода подтверждается тем, что все указанные компоненты «эксплуатирующий персонал, «конструкция СТС», «производственная среда» влияют на возможность возникновения аварийных ситуаций, а также тем, что часть компонентов является источником опасности, а другие элементами риска.



Интенсивность, масштаб воздействия и частота аварийных событий в рассматриваемой точке могут быть описаны моделями воздействия, которые представляют собой аналитические, табличные или графические зависимости. Модели воздействия создаются для всех опасностей, причиняющих основной ущерб людям, объекту и окружающей среде.

На основе моделей, описывающих сопротивление элементов риска воздействию, проводятся расчеты по определению показателей уязвимости, устойчивости объектов, рисков. В состав моделей следует включать законы разрушения и поражения от факторов, соответствующих опасностям; динамические расчеты на прочность; модели теплопроводности, определяющие пожаростойкость объектов, и т. п.

Все перечисленные модели посредством специальных процедур сопряжения моделей связаны друг с другом, поскольку для анализа риска сложных технических систем необходимо совместить поле поражающих факторов и множество элементов риска на одном пространстве с учетом единых координат и временных показателей.

Отметим, что СТС как объект моделирования имеют ряд характерных особенностей, которые нельзя не учитывать. Рассмотрим некоторые из них.

- 1. СТС в большинстве своем уникальны, поэтому процесс накопления и систематизации статистических данных о них до некоторой степени затруднен.
- 2. Интегративные качества, присущие системе в целом, но не свойственные ее элементам в отдельности, предопределяют необходимость учета воздействия элементов, составляющих СТС, друг на друга и их взаимодействие с внешней средой.
- 3. Большое число процессов, протекающих в системе, случайность и неопределенность потенциальных факторов риска, действующих в ней, все это приводит к увеличению трудоемкости исследования системы.
- 4. Разнородность элементов СТС и, как следствие, многокритериальность оценок протекающих процессов.



- 5. Субъективность принятия решений, основанных на практическом опыте лиц, принимающих решения.
- 6. Необходимость использования комплекса моделей при анализе риска СТС.

При оценке уровня безопасности рассматриваются все элементы системы «человек - машина - среда» с учетом их взаимосвязи и взаимодействия, поэтому основным методическим подходом К исследованию сложных технических систем является системный анализ. При анализе опасностей сложных технических систем используются как аналитические, так и статистические подходы. Однако в отдельных случаях применение этих подходов при анализе риска СТС представляется не вполне корректным и недостаточно обоснованным. Это происходит, например, при недостатке исходных данных. В этих условиях основным, но до некоторой степени ограниченным источником получения информации становятся экспертные оценки. В таких условиях возникает необходимость в других, отличных от рассмотренных, подходах к оценке риска и неопределенностей, связанных с неполнотой информации о состоянии системы И пространственно-временном распределении внешних воздействий на нее, неопределенностью в поведении систем и пр. Один из таких подходов основан на применении теории нечетких множеств, который позволяет осуществлять переход от нечетких оценок к числам, другой – на применении систем искусственного интеллекта.

Рассмотренные выше особенности СТС обуславливают потребность создания соответствующей методологии анализа риска, базирующейся на едином толковании природы опасности СТС, которая является неотъемлемым свойством всех ее процессов. Наиболее перспективным представляется комбинирование рассмотренных подходов к анализу риска, что позволит сочетать доступность и широту качественных методов и эффективность количественных.



Выводы

Одной из актуальных проблем развития современного общества является необходимость противодействия комплексу рисков природного и техногенного характера. Предлагаемые многими авторами стратегии прогнозирования и управления рисками без учета все возрастающих и комплексных угроз могут оказаться недостаточными, неэффективными и небезопасными.

В общем случае выбор методов оценки рисков определяется факторами: потенциальной опасностью объекта; потенциальной опасностью последствиями при переходе от нормальных (штатных) условий функционирования сложной технической системы «человек – машина – аварийным (нештатным) условиям; среда» наличием исходной детерминированной или статистической информации о реализации рисков для рассматриваемой СТС; наличием исходных баз знаний для определения показателей риска; наличием нормативно-правовой базы для определения рисков; уровня защищенности от чрезвычайных ситуаций.

Снижение рисков возможно на основе дополнения действующих традиционных методических подходов к анализу техногенных и природных рисков новыми, перспективными, базирующимися на результатах всесторонних исследований опасных процессов, на основе создания региональных баз данных опасностей, систем снижения и оптимизации рисков. Кроме того, на современном этапе широкие возможности открывает использование информационно-коммуникационных технологий, в том числе систем искусственного интеллекта, в процессах анализа и управления рисками. Подход, связанный с применением искусственных нейронных сетей или экспертных систем, позволяет решать задачу анализа риска с экспертной точностью, но без привлечения людей-экспертов.

В качестве интеллектуального инструмента оценки и управления техногенными и природными рисками можно использовать любой из описанных подходов, однако в условиях нечеткой, неточной, неполной



и/или многозначной информации при анализе техногенных и природных рисков наиболее перспективным является подход, основанный на применении технологии искусственного интеллекта. На основе указанного подхода в МГТУ им. Н.Э. Баумана разрабатываются программные средства обеспечения природно-техногенной безопасности для субъектов Российской Федерации.

Работа выполнена в МГТУ им. Н.Э. Баумана при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-11-2019-087 от 18.12.2019).

Список источников

- 1. Приказ Ростехнадзора № 144 от 11.04.2016. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. 55 с.
- 2. ГОСТ Р 58771-2019. Менеджмент риска. Технологии оценки риска. М.: Стандартинформ, 2020. 90 с.
- 3. Ларионов В.И. Научно-методические основы определения риска чрезвычайных ситуаций // Анализ риска и проблем безопасности: В 4 Ч. Основы анализа и регулирования безопасности: в кн. М.: Знание, 2006. Ч. 1. С. 353-389.
- 4. Методика комплексной оценки индивидуального риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. М.: ВНИИ ГО ЧС, 2002. 28 с.
- 5. Методика прогнозирования последствий землетрясений. М.: ВНИИ ГО ЧС, 2000. 23 с.
- 6. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах // Сборник нормативно-правовых и методических документов, применяемых в области обеспечения пожарной безопасности: В 2 Ч. М.: Типография Полимаг, 2010. Ч. 2. С. 533-572.



- 7. ГОСТ Р 22.10.02-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайных ситуаций. М.: Стандартинформ, 2016. 16 с.
- 8. Махутов Н.А., Абросимов Н.В., Гаденин М.М. Обеспечение безопасности приоритетное направление в области фундаментальных и прикладных исследований // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2013. № 3 (27). С. 46-71.
- 9. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Российской Федерации / Под ред. С.К. Шойгу. М.: Дизайн. Информация. Картография, 2010. 696 с.
- 10. Переездчиков И.В. Анализ опасностей промышленных систем человек-машина-среда и основы защиты. М.: КноРус, 2016. 782 с.
- 11. Александров А.А., Ларионов В.И., Сущев С.П. Анализ и управление техногенными и природными рисками. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. 357 с.
- 12. Котляревский В.А., Ларионов В.И., Сущев С.П. Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология: В 3 Т. Аварийный риск. Взрывные и ударные воздействия / Под ред. В.А. Котляревского. М.: Наука, 2005. Т. 1. 696 с.
- 13. Котляревский В.А., Ларионов В.И., Сущев С.П. Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология: В 3 Т. Законы поражения. Прочность и динамика сооружений / Под ред. В.А. Котляревского. М.: АСВ, 2008. Т. 2. 640 с.
- 14. Котляревский В.А., Ларионов В.И., Сущев С.П. Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология: В 3 Т. Сейсмостойкость и теплозащита сооружений / Под ред. В.А. Котляревского. М.: ACB, 2010. Т. 3. 640 с.
- 15. Акимов В.А., Новиков В.Д., Радаев Н.Н. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски. М.: Деловой экспресс, 2001. 344 с.



- 16. Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М., Пучков В.А., Томаков В.И., Фалеев М.И. Надежность технических систем и техногенный риск. М.: Деловой экспресс, 2002. 368 с.
- 17. Белов П.Г Управление рисками: системный анализ и моделирование. М.: Юрайт, 2014. 728 с.
- 18. Орлов А.И., Пугач О.В. Подходы к общей теории риска // Управление большими системами: сборник трудов. 2012. Вып. 40. С. 49-82.
- 19. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. М.: Academia, 2003. 505 с.

References

- 1. Prikaz Rostekhnadzora № 144 ot 11.04.2016. Rukovodstvo po bezopasnosti «Metodicheskie osnovy po provedeniyu analiza opasnostei i otsenki riska avarii na opasnykh proizvodstvennykh ob"ektakh» [Order of Rostechnadzor No. 144 of April 11, 2016. Safety Guide «Methodological Foundations for Conducting Hazard Analysis and Risk Assessment of Accidents at Hazardous Production Facilities»]. Moscow, ZAO NTTs PB Publ., 2016. 55 p. [in Russian].
- 2. GOST R 58771-2019. Menedzhment riska. Tekhnologii otsenki riska [State Standard R 58771-2019. Risk Management. Risk Assessment Technologies]. Moscow, Standartinform Publ., 2020. 90 p. [in Russian].
- 3. Larionov V.I. Nauchno-metodicheskie osnovy opredeleniya riska chrezvychainykh situatsii [Scientific and Methodological Basis for Determining the Risk of Emergency Situations]. *V knige «Analiz riska i problem bezopasnosti: V 4 Ch. Osnovy analiza i regulirovaniya bezopasnosti»* [In the Book «Analysis of Risk and Security Issues: in 4 Parts. Fundamentals of Safety Analysis and Regulation»]. Moscow, Znanie Publ., 2006, Part 1, pp. 353-389. [in Russian].
- 4. Metodika kompleksnoi otsenki individual'nogo riska chrezvychainykh situatsii prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera [Methodology for a Comprehensive Assessment of the Individual Risk of Natural and Man-Made Emergencies]. Moscow, VNII GO ChS Publ., 2002. 28 p. [in Russian].



- 5. Metodika prognozirovaniya posledstvii zemletryasenii [Methodology for Predicting the Consequences of Earthquakes]. Moscow, VNII GO ChS Publ., 2000. 23 p. [in Russian].
- 6. Metodika opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob"ektakh [Methodology for Determining The Calculated Values of Fire Risk at Production Facilities]. *Sbornik normativno-pravovykh i metodicheskikh dokumentov, primenyaemykh v oblasti obespecheniya pozharnoi bezopasnosti: V 2 Ch.* [Collection of Regulatory and Methodological Documents Used in the Field of Fire Safety: In 2 Parts]. Moscow, Tipografiya Polimag Publ., 2010, Part 2, pp. 533-572. [in Russian].
- 7. GOST R 22.10.02-2016. Bezopasnost' v chrezvychainykh situatsiyakh. Menedzhment riska chrezvychainoi situatsii. Dopustimyi risk chrezvychainykh situatsii [State Standard R 22.10.02-2016. Safety in Emergencies. Emergency Risk Management. Acceptable Risk of Emergency Situations]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 16 p. [in Russian].
- 8. Makhutov N.A., Abrosimov N.V., Gadenin M.M. Obespechenie bezopasnosti prioritetnoe napravlenie v oblasti fundamental'nykh i prikladnykh issledovanii [Provision of Safety the Priority in the Sphere of Fundamental and Applied Research]. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz Ekonomicheskie i Sotsial'nye Peremeny: Fakty, Tendentsii, Prognoz*, 2013, No. 3 (27), pp. 46-71. [in Russian].
- 9. Atlas prirodnykh i tekhnogennykh opasnostei i riskov chrezvychainykh situatsii Rossiiskoi Federatsii [Atlas of Natural and Man-Made Hazards and Risks of Emergency Situations of the Russian Federation]. Ed. by S.K. Shoigu. Moscow, Dizain. Informatsiya. Kartografiya Publ., 2010. 696 p. [in Russian].
- 10. Pereezdchikov I.V. *Analiz opasnostei promyshlennykh sistem chelovek-mashina-sreda i osnovy zashchity* [Hazard Analysis of Industrial Systems Man-Machine-Environment and Protection Fundamentals]. Moscow, KnoRus Publ., 2016. 782 p. [in Russian].



- 11. Aleksandrov A.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. *Analiz i upravlenie tekhnogennymi i prirodnymi riskami* [Analysis and Management of Man-Made and Natural Risks]. Moscow, MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2019. 357 p. [in Russian].
- 12. Kotlyarevskii V.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. *Entsiklopediya bezopasnosti: stroitel'stvo, promyshlennost', ekologiya: V 3 T. Avariinyi risk. Vzryvnye i udarnye vozdeistviya* [Encyclopedia of Safety: Construction, Industry, Ecology: In 3 Volumes. Emergency Risk. Explosive and Shock Impacts]. Ed. by V.A. Kotlyarevskogo. Moscow, Nauka Publ., 2005, Vol. 1. 696 p. [in Russian].
- 13. Kotlyarevskii V.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. *Entsiklopediya bezopasnosti: stroitel'stvo, promyshlennost', ekologiya: V 3 T. Zakony porazheniya. Prochnost' i dinamika sooruzhenii* [Encyclopedia of Safety: Construction, Industry, Ecology: In 3 Volumes. The Laws of Defeat. Strength and Dynamics of Structures]. Ed. by V.A. Kotlyarevskogo. Moscow, ASV Publ., 2008, Vol. 2. 640 p. [in Russian].
- 14. Kotlyarevskii V.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. *Entsiklopediya bezopasnosti: stroitel'stvo, promyshlennost', ekologiya: V 3 T. Seismostoikost' i teplozashchita sooruzhenii* [Encyclopedia of Safety: Construction, Industry, Ecology: In 3 Volumes. Earthquake Resistance and Thermal Protection of Structures]. Ed. by V.A. Kotlyarevskogo. Moscow, ASV Publ., 2010, Vol. 3. 640 p. [in Russian].
- 15. Akimov V.A., Novikov V.D., Radaev N.N. *Prirodnye i tekhnogennye chrezvychainye situatsii: opasnosti, ugrozy, riski* [Natural and Man-Made Emergencies: Hazards, Threats, Risks]. Moscow, Delovoi ekspress Publ., 2001. 344 p. [in Russian].
- 16. Akimov V.A., Lapin V.L., Popov V.M., Puchkov V.A., Tomakov V.I., Faleev M.I. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyi risk* [Reliability of Technical Systems and Technogenic Risk]. Moscow, Delovoi ekspress Publ., 2002. 368 p. [in Russian].



- 17. Belov P.G *Upravlenie riskami: sistemnyi analiz i modelirovanie* [Risk Management: Systems Analysis and Modeling]. Moscow, Yurait Publ., 2014. 728 p. [in Russian].
- 18. Orlov A.I., Pugach O.V. Podkhody k obshchei teorii riska [Approaches to the General Theory of Risk]. *Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov Large-Scale Systems Control*, 2012, Issue 40, pp. 49-82. [in Russian].
- 19. Belov P.G. *Sistemnyi analiz i modelirovanie opasnykh protsessov v tekhnosfere* [System Analysis and Modeling of Hazardous Processes in the Technosphere]. Moscow, Academia Publ., 2003. 505 p. [in Russian].

Сведения об авторах

About the Authors

Ларионов Валерий Иванович, д-р техн. наук, профессор, заместитель директора Научно-образовательного центра исследований экстремальных ситуаций, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Valeriy I. Larionov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy Director of the Scientific and Educational Center for Study of Extreme Situations, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

e-mail: lar@esrc.ru

Александров Анатолий Александрович, д-р техн. наук, профессор, президент, заведующий кафедрой «Экология и промышленная безопасность», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Aleksandrov Anatoliy A., Doctor of Engineering Sciences, Professor, President, Head of Ecology and Industrial Safety Department, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

e-mail: bauman@bmstu.ru



Сущев Сергей Петрович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Экология и промышленная безопасность», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Sushchev Sergey P., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Ecology and Industrial Safety Department, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

e-mail: esrc@esrc.ru