

Научная статья

УДК 614.841; DOI: 10.61260/2307-7476-2024-3-11-22

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

✉ Неверов Евгений Николаевич;

Бесперстов Дмитрий Александрович;

Яковлев Иван Владимирович;

Семенов Никита Владимирович.

Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия

✉ neverov42@mail.ru

Аннотация. В условиях быстрого развития промышленности и технологий техногенные чрезвычайные ситуации становятся всё более актуальными и опасными. В работе рассматривается математический анализ техногенных чрезвычайных ситуаций с учетом специфики их возникновения. Исследуются математические модели для оценки и прогнозирования техногенных чрезвычайных ситуаций, их вероятности возникновения и последствий для окружающей среды и общества в целом. Уделяется особое внимание разработке и применению статистических и детерминированных методов для формирования прогнозов, связанных с различными типами техногенных аварий.

В рамках исследования осуществляется анализ факторов, влияющих на вероятность возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций, включая технические, социальные и экономические аспекты. На основе полученных результатов предложены рекомендации по усовершенствованию системы управления рисками и оперативного реагирования на аварийные ситуации.

Результаты математического моделирования иллюстрируют, каким образом использование современных технологий и аналитических подходов может способствовать более эффективному предотвращению и минимизации последствий техногенных чрезвычайных ситуаций. Работа направлена на повышение осведомленности участников процессов управления безопасностью и подготовленности к подобным ситуациям, что в конечном итоге может способствовать снижению числа техногенных чрезвычайных ситуаций и уменьшению их негативного воздействия на человека и природное окружение.

Ключевые слова: пожарная безопасность, чрезвычайные ситуации, разрушение, техносферные опасности, безопасность населения, математический анализ, техногенные риски, прогнозирование чрезвычайных ситуаций

Для цитирования: Неверов Е.Н., Бесперстов Д.А., Яковлев И.В., Семенов Н.В. Математический анализ чрезвычайных ситуаций техногенного характера // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2024. № 3 (51). С. 11–22. DOI: 10.61260/2307-7476-2024-3-11-22.

Scientific article

MATHEMATICAL ANALYSIS OF MAN-MADE EMERGENCIES

✉ Neverov Evgeny N.;

Besperstov Dmitry A.;

Yakovlev Ivan V.;

Semenov Nikita V.

Kemerovo state university, Kemerovo, Russia

✉ neverov42@mail.ru

Abstract. With the rapid development of industry and technology, man-made emergencies are becoming more urgent and dangerous. The paper considers the mathematical analysis of man-made emergencies, taking into account the specifics of their occurrence. Mathematical models for assessing and predicting man-made emergencies, their probability of occurrence and consequences for the environment and society as a whole are being investigated. Special attention is paid to the development and application of statistical and deterministic methods for making forecasts related to various types of man-made accidents.

The study analyzes the factors influencing the likelihood of man-made emergencies, including technical, social and economic aspects. Based on the results obtained, recommendations are proposed for improving the risk management system and rapid response to emergency situations.

The results of mathematical modeling illustrate how the use of modern technologies and analytical approaches can contribute to more effective prevention and minimization of the consequences of man-made emergencies. The work is aimed at increasing the awareness of participants in safety management processes and preparedness for such situations, which ultimately can help reduce the number of man-made emergencies and reduce their negative impact on humans and the natural environment.

Keywords: fire safety, emergency situations, destruction, technospheric hazards, public safety, mathematical analysis, technogenic risks, emergency forecasting

For citation: Neverov E.N., Besperstov D.A., Yakovlev I.V., Semenov N.V. Mathematical analysis of man-made emergencies // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2024. № 3 (51). P. 11–22. DOI: 10.61260/2307-7476-2024-3-11-22.

Актуальность предупреждения техногенных чрезвычайных ситуаций и минимизация их последствий

Техногенные катастрофы – это аварии и катастрофы, вызванные деятельностью человека, которые приводят к значительным последствиям для окружающей среды, экономики и здоровья людей.

Так, например, 6 июля 1988 г. произошел взрыв на платформе Пайпер Альфа – объекте добычи нефти и газа в Северном море. Через несколько секунд возник крупный нестабилизированный пожар из-за сырой нефти, и все, кроме устья скважины и нижних частей платформы, было окутано дымом. Последующее постепенное увеличение пожара вызвало через 20 мин выход из строя одного из трех газовых стояков. В результате крупнейшей в мире аварии на море погибло 167 чел. [1].

3 декабря 1984 г. произошла утечка более 40 т газообразного метилизоцианата на заводе по производству пестицидов в г. Бхопале, Индия, которая стала причиной немедленной гибели по меньшей мере 3 800 чел., а также серьезной заболеваемости и преждевременной смерти еще многих тысяч человек [2].

Происшествие с танкером Exxon Valdez в 1989 г. стало одним из наиболее известных случаев загрязнения мировых океанов. 11 млн галлонов нефти, пролитые в результате крушения судна, привели к серьезным последствиям для морской жизни и экосистемы. Усилия по ликвидации экологической катастрофы требовали значительных ресурсов и финансовых затрат. 2,5 млрд долл., вложенные в устранение последствий утечки нефти, свидетельствуют о масштабе происшествия и сложности задачи по восстановлению природной среды [3].

Инцидент на электростанции Фукусима в марте 2011 г., порожденный сильным землетрясением и цунами, привел к взрыву водорода, расплавлению активной зоны и последующему выбросу значительного количества радиоактивных веществ как в атмосферу, так и в Тихий океан. Применительно к летучим продуктам деления, таким как Цезий-137 и Йод-131, доля выбросов активной зоны с энергоблоков 1–3 в атмосферу оценивается в 1,2–6,6 % и 1,1–7,9 % соответственно. Что касается газообразного продукта деления Ксенона-133, то по расчетам почти весь объем активной зоны мог быть выброшен в атмосферу. Кроме того, около 16 % запасов Цезия-137 попало в море в результате выброса загрязненной воды, применявшейся для охлаждения остаточного тепла с энергоблоков 1–3 [4].

Техногенные катастрофы в России, так же как и мировые, приносят существенные последствия, вызывая широкомасштабные разрушения и оставляя долговременные негативные эффекты. Примером такого кризиса можно назвать аварию на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г., произошедшую на р. Енисей. Это событие вошло в историю мировой энергетики как одно из наиболее значительных в своей разрушительной масштабности. Трагическое происшествие привело к гибели 75 чел. [5].

Авария на Чернобыльской атомной электростанции – крупнейшая в истории ядерных катастроф, объявлена седьмым уровнем по шкале Международной ассоциации по вопросам атомной энергии (INES). Она привела к выбросу радиоактивных веществ в атмосферу, что имело серьезные последствия для окружающей природы и здоровья людей [6].

Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций активно занимается предупреждением и минимизацией чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера. Для этого проводятся следующие основные мероприятия:

- регулярный контроль за промышленными предприятиями, ядерными установками, транспортными магистралями и другими объектами, представляющими потенциальную опасность для населения;
- обучение работников объектов повышенной опасности и населения в целях повышения уровня готовности к действиям в случае аварий и ЧС;
- разработка планов аварийной готовности для различных объектов для оперативного реагирования на ЧС техногенного характера;
- регулярное проведение учений с привлечением всех участников аварийно-спасательных работ для совместной отработки навыков и координации действий;
- анализ и прогнозирование ситуаций с учетом техногенных угроз, проведение оценки рисков и принятие мер по их снижению и т.д. [7].

Цель работы заключается в проведении комплексного анализа техногенных ЧС с использованием математических моделей для оценки вероятности их возникновения и прогнозирования последствий.

Задача, которую необходимо решить в ходе проведения исследования, – это создание моделей, позволяющих эффективно описывать и предсказывать возникновение техногенных ЧС, учитывая различные факторы их возникновения.

Теоретическое описание математического анализа техногенных ЧС

Математический анализ представляет собой фундаментальную дисциплину, применяемую для прогнозирования различных явлений. В контексте прогнозирования данная область науки используется для выявления закономерностей, анализа трендов, прогнозирования будущих значений и т.д.

Основной целью математического анализа является понимание поведения функций и изменения их значений, что имеет большую значимость для принятия решений и прогнозирования в различных областях [8].

Для создания математической модели техногенных ЧС будут использованы следующие методы:

1. Математическая статистика – анализ статистических данных о прошлых ЧС для выявления закономерностей и трендов, а также оценка рисков будущих ЧС.
2. Экспоненциальное сглаживание – это метод прогнозирования временных рядов, основанный на принципе взвешенного учета предыдущих наблюдений.

Преимущества и недостатки приведённых методов математического анализа представлены в табл. 1 [9, 10].

Таблица 1

Преимущества и недостатки методов математического анализа

Метод прогнозирования	Преимущество	Недостаток
Математическая статистика	Позволяет анализировать большие объемы данных и выявлять закономерности	Требует надежных данных для точного анализа
	Используется для идентификации потенциальных угроз и рисков	Возможны проблемы с интерпретацией статистических результатов

Метод прогнозирования	Преимущество	Недостаток
Экспоненциальное сглаживание	Простота в использовании	Один из основных недостатков метода заключается в том, что результаты прогнозирования могут сильно зависеть от выбранного значения параметра сглаживания
	Метод уделяет большое внимание последним данным, что может быть полезно для прогнозирования в условиях изменяющейся динамики	Экспоненциальное сглаживание по своей природе не учитывает сезонность в данных, что может привести к неточным прогнозам в случае наличия существенных сезонных колебаний
	Существует несколько вариантов экспоненциального сглаживания, таких как простое экспоненциальное сглаживание, двойное экспоненциальное сглаживание и тройное экспоненциальное сглаживание, которые можно выбирать в зависимости от характеристик данных	Может не подходить для данных с нелинейными изменениями и сложной структурой

Математический анализ будет проводиться на основе предоставленных статистических данных.

В табл. 2 приведено общее число техногенных ЧС, произошедших на территории Российской Федерации с 2012 по 2023 г. [7].

Таблица 2

**Общее число техногенных ЧС,
произошедших на территории Российской Федерации с 2012 по 2023 г.**

Год	Транспортные аварии, шт.	Взрывы (в том числе с последующим горением), шт.	Аварии на системах жизнеобеспечения, шт.	Аварии с выбросом, сбросом опасных химических веществ, шт.	Аварии с разливом нефти, нефтепродуктов, шт.	Погибло, чел.	Пострадало, чел.	Материальный ущерб, млн руб.
2012	168	24	18	2	6	600	24 075	5 409,36
2013	128	14	8	6	4	574	1 542	376,05
2014	148	24	9	0	5	556	1 620	16 321,53
2015	145	21	6	3	6	656	1 630	656,2762
2016	138	23	16	0	5	710	3 991	1 345,0
2017	144	24	5	2	1	507	2 335	449,07
2018	135	30	13	3	8	709	3 838	2 774,179
2019	160	24	11	2	4	498	2 532	4 751,476
2020	120	22	15	5	5	322	1 727	12 389,43
2021	139	20	25	0	6	505	1 836	44 590,87
2022	64	83	9	0	8	181	100 912	19 774,76
2023	47	113	13	1	8	281	41 605	28 864,29

Исходя из приведенных данных, построим график, изображенный на рисунке.

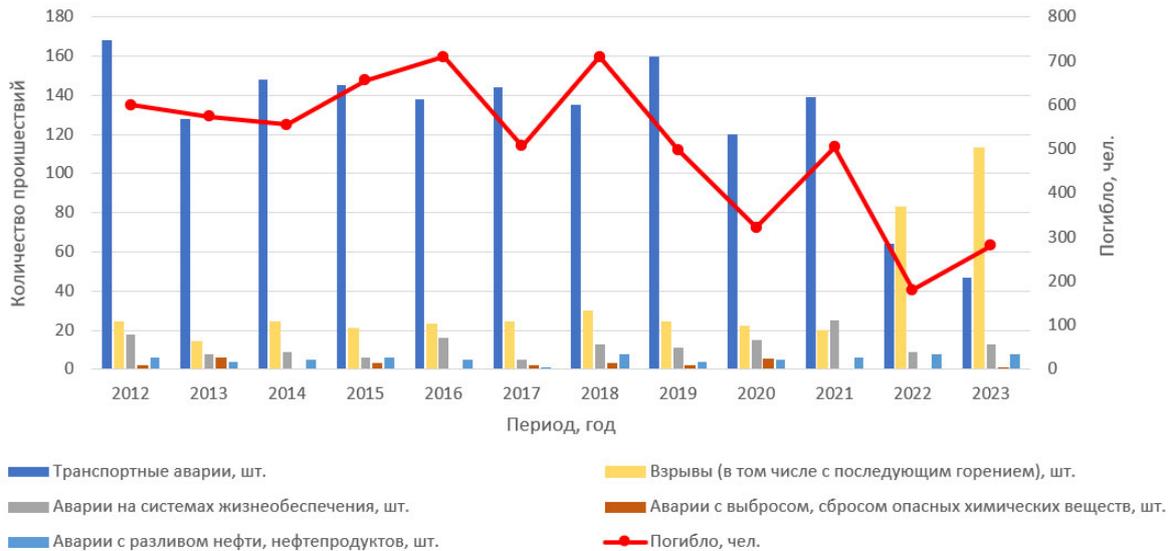


Рис. Общее число техногенных ЧС, произошедших на территории Российской Федерации с 2012 по 2023 г.

На рисунке по статистическим данным построен график изменения ЧС в Российской Федерации в период с 2012 по 2023 г. Анализ данного графика показывает распределение количества ЧС техногенного характера за рассматриваемый период: наибольший пик количества ЧС наблюдается в 2012 г., минимальное количество приходится на 2022 и 2023 гг.

Исходя из данных табл. 2, используем аппроксимацию функции одной переменной, а именно полиномы 8, 7 степени, приведём функции изменения количества техногенных ЧС, произошедших на территории Российской Федерации:

$$y_1 = f(x) = 0,0017x^8 - 0,0858x^7 + 1,8665x^6 - 22,0676x^5 + 153,7958x^4 - 639,8618x^3 + 1528,9302x^2 - 1878,9780x + 1024,5682; \quad (1)$$

$$y_2 = f(x) = -0,0005x^8 + 0,0244x^7 - 0,4415x^6 + 4,1133x^5 - 20,8702x^4 + 55,0419x^3 - 59,6743x^2 - 5,0054x + 50,7045; \quad (2)$$

$$y_3 = f(x) = 0,0004x^8 - 0,0199x^7 + 0,4026x^6 - 4,3908x^5 + 28,0662x^4 - 107,2810x^3 + 239,1603x^2 - 284,3151x + 146,3864; \quad (3)$$

$$y_4 = f(x) = -0,0002x^8 + 0,0113x^7 - 0,2520x^6 + 3,0344x^5 - 21,4552x^4 + 90,2290x^3 - 216,8654x^2 + 264,9847x - 117,6591; \quad (4)$$

$$y_5 = f(x) = -0,0001x^7 + 0,0124x^6 - 0,2831x^5 + 2,9868x^4 - 16,7346x^3 + 49,7522x^2 - 71,2378x + 41,5455. \quad (5)$$

Уравнение (1) описывает ЧС, вызванные транспортными авариями; уравнение (2) – ЧС при взрыве (в том числе с последующим горением); уравнение (3) – аварии на системах жизнеобеспечения; уравнение (4) – аварии с выбросом, сбросом опасных химических веществ; уравнение (5) – аварии с разливом нефти, нефтепродуктов.

Статистические показатели функций (1–5) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Статистические показатели функций полиномы 8 степени

Функция	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Средняя ошибка аппроксимации, %
$y_1 = f(x)$	0,9653	0,9318	4,5043
$y_2 = f(x)$	0,9966	0,9931	8,0462
$y_3 = f(x)$	0,8451	0,7141	23,1029
$y_4 = f(x)$	0,8258	0,6820	49,0461
$y_5 = f(x)$	0,7014	0,4920	36,1707

Корреляция – это статистический показатель, используемый для измерения степени линейной взаимосвязи между двумя или более переменными. Коэффициент корреляции может принимать значения от -1 до 1, что отражает направление и силу связи между переменными.

Детерминация или коэффициент детерминации представляет собой меру того, насколько хорошо модель соответствует данным. Он определяет долю общей вариации целевой переменной, которая объясняется рассматриваемой моделью.

Из табл. 3 видно, что полученные значения:

1. Корреляция положительна (близка к 1) – указывает на то, что переменные изменяются в одном направлении.

2. Коэффициент детерминации находится в диапазоне от 0 до 1, где значение ближайшее к 1 показывает на более точное соответствие модели данным.

Анализ данного метода показывает, что распределение количества ЧС техногенного характера за рассматриваемый период с 2012 по 2023 г. носит случайный и труднопрогнозируемый характер.

Далее рассмотрим прогнозирование методом экспоненциального сглаживания. Он заключается в том, что ряд динамики сглаживается с помощью скользящей средней, в которой веса подчиняются экспоненциальному закону.

Среднее экспоненциальное значение выражается по рекуррентной формуле:

$$S_t = \sum \alpha \cdot Y_t + (1 - \sum \alpha) \cdot S_{t-1},$$

где S_t – среднее экспоненциальное значение происшествия за один год; S_{t-1} – значение, принимается равным количеству рассматриваемых ЧС за предыдущий год; Y_t – значение экспоненциального процесса, которое принимается равным статистическим данным по рассматриваемым ЧС; $\sum \alpha$ – сумма экспоненциального сглаживания, зависящая от факторов, влияющих на возникновение ЧС.

Важной характеристикой модели является α , по величине которой осуществляется прогноз. Параметр сглаживания стремится к 1, следовательно, учитывается влияние последних рядов динамики. Стремление α к 0 приводит к тому, что верхний уровень ряда динамики убывает, то есть учитываются все прошлые ряды.

Ключевыми факторами, способствующими возникновению техногенных ЧС, являются [11]:

- человеческий фактор (проявление профессиональной некомпетентности, стрессовой неустойчивости), $\alpha = 0,1$ [12];
- техническое состояние оборудования и инфраструктуры (недостаточный уровень технического обслуживания и актуализации технических средств может создать препятствия для обеспечения безопасности процессов), $\alpha = 0,1$ [13];
- природные факторы (природные явления, такие как наводнения, землетрясения, ураганы и другие стихийные бедствия, могут стать источником техногенных ЧС в результате нанесения серьезных повреждений инфраструктуре и приведения к выбросу опасных веществ), $\alpha = 0,1$;
- техногенные процессы (хранение и обработка опасных веществ, а также транспортировка опасных грузов представляют собой зоны повышенного риска для возникновения техногенных ЧС), $\alpha = 0,1$ [14];
- нарушения нормативов и требований безопасности, $\alpha = 0,1$.

Параметр S_0 приравнивается к значению уровня ряда y_1 или к среднему арифметическому первых рядов.

В данном случае S_0 принимаем как среднее арифметическое первых трёх рядов:

$$S_0 = \frac{168 + 128 + 148}{3} = 148.$$

Произведем расчет транспортных аварий, расчетные значения приведены в табл. 4.

Таблица 4

Экспоненциальная средняя транспортных аварий за период с 2012 по 2023 г.

Год	Ряд динамики, t	Статистические данные, Y_t	Формула расчета	Экспоненциальная средняя, S_t	$(y - S_t)^2$
2012	1	168	$S_t = (1 - 0,3) \cdot 168 + 0,3 \cdot 148$	162	36
2013	2	128	$S_t = (1 - 0,3) \cdot 128 + 0,3 \cdot 162$	138,2	104,04
2014	3	148	$S_t = (1 - 0,3) \cdot 148 + 0,3 \cdot 138,2$	145,06	8,644
2015	4	145	$S_t = (1 - 0,3) \cdot 145 + 0,3 \cdot 145,06$	145,018	0,000324
2016	5	138	$S_t = (1 - 0,3) \cdot 138 + 0,3 \cdot 145,02$	140,105	4,433
2017	6	144	$S_t = (1 - 0,3) \cdot 144 + 0,3 \cdot 140,11$	142,832	1,365
2018	7	135	$S_t = (1 - 0,3) \cdot 135 + 0,3 \cdot 142,83$	137,349	5,52
2019	8	160	$S_t = (1 - 0,3) \cdot 160 + 0,3 \cdot 137,35$	153,205	46,174
2020	9	120	$S_t = (1 - 0,3) \cdot 120 + 0,3 \cdot 153,2$	129,961	99,231
2021	10	139	$S_t = (1 - 0,3) \cdot 139 + 0,3 \cdot 129,96$	136,288	7,353
2022	11	64	$S_t = (1 - 0,3) \cdot 64 + 0,3 \cdot 136,29$	85,687	470,306
2023	12	47	$S_t = (1 - 0,3) \cdot 47 + 0,3 \cdot 85,69$	58,606	134,698
$\sum (y_i - S_{i-1})^2$					917,763

Уравнение для прогнозирования данных имеет следующий вид:

$$S_{(t+1)} = S(t)(1 - \alpha) + \alpha Y(t), \quad (6)$$

где $S(t)$ – это прогноз, сделанный во времени t ; $S_{(t+1)}$ – отражает прогноз во временной период, следующий непосредственно за моментом времени.

Стандартная ошибка рассчитывается по формуле:

$$e_t = \sqrt{\frac{\sum (y_i - s_{i-1})^2}{n-1}}. \quad (7)$$

Произведя расчет по формуле (7), получим:

$$e_t = \sqrt{\frac{917,763}{12-1}} = 9,134.$$

Произведя расчет по формуле (6) и используя последнее полученное значение табл. 4, спрогнозируем количество автомобильных аварий до 2028 г., результаты приведены в табл. 5.

Таблица 5

Количество транспортных аварий, прогнозируемых на период с 2024 по 2028 г.

Год	Ряд динамики, t	Формула расчета	Статистические данные, Y_t
2024	13	$S_{(12+1)} = 58,606 \cdot (1 - 0,3) + 0,5$	64,5242
2025	14	$S_{(13+1)} = 64,5242 \cdot (1 - 0,3) + 0,5$	45,1669
2026	15	$S_{(14+1)} = 45,1669 \cdot (1 - 0,3) + 0,5$	31,6168
2027	16	$S_{(15+1)} = 31,6168 \cdot (1 - 0,3) + 0,5$	22,1318
2028	17	$S_{(16+1)} = 22,1318 \cdot (1 - 0,3) + 0,5$	15,4922

Из табл. 5 видно количество транспортных аварий, прогнозируемых на период с 2024 по 2028 г. Количество случаев за 2024 г. (64,5) увеличилось по сравнению с 2023 г. (58,6). Дальнейший прогноз показывает уменьшение случаев транспортных аварий.

Используя метод экспоненциального сглаживания, определим количество случаев для: взрывов (в том числе с последующим горением); аварий на системах жизнеобеспечения; аварий с выбросом (сбросом) опасных химических веществ; аварий с разливом нефти, нефтепродуктов.

Результаты прогноза приведены в табл. 6.

**Прогнозируемое число техногенных ЧС,
произошедших на территории Российской Федерации в период с 2024 по 2028 г.**

Год	Ряд динамики, t	Формула расчета	Статистические данные, Y _t
Взрывы (в том числе с последующим горением)			
2024	13	$S_{(12+1)} = 98,410 \cdot (1 - 0,3) + 0,5$	69,387
2025	14	$S_{(13+1)} = 69,387 \cdot (1 - 0,3) + 0,5$	49,071
2026	15	$S_{(14+1)} = 49,071 \cdot (1 - 0,3) + 0,5$	34,850
2027	16	$S_{(15+1)} = 34,850 \cdot (1 - 0,3) + 0,5$	24,895
2028	17	$S_{(16+1)} = 24,895 \cdot (1 - 0,3) + 0,5$	17,926
Аварии на системах жизнеобеспечения			
2024	13	$S_{(12+1)} = 12,938 \cdot (1 - 0,3) + 0,5$	9,557
2025	14	$S_{(13+1)} = 9,557 \cdot (1 - 0,3) + 0,5$	7,190
2026	15	$S_{(14+1)} = 7,190 \cdot (1 - 0,3) + 0,5$	5,533
2027	16	$S_{(15+1)} = 5,533 \cdot (1 - 0,3) + 0,5$	4,373
2028	17	$S_{(16+1)} = 4,373 \cdot (1 - 0,3) + 0,5$	3,561
Аварии с выбросом (сбросом) опасных химических веществ			
2024	13	$S_{(12+1)} = 2,5 \cdot (1 - 0,5) + 0,5$	1,75
2025	14	$S_{(13+1)} = 1,75 \cdot (1 - 0,5) + 0,5$	1,375
2026	15	$S_{(14+1)} = 1,375 \cdot (1 - 0,5) + 0,5$	1,1875
2027	16	$S_{(15+1)} = 1,1875 \cdot (1 - 0,5) + 0,5$	1,09375
2028	17	$S_{(16+1)} = 1,09375 \cdot (1 - 0,5) + 0,5$	1,046875
Аварии с разливом нефти, нефтепродуктов			
2024	13	$S_{(12+1)} = (1 - 0,5) \cdot 7,36 + 0,5$	4,18
2025	14	$S_{(13+1)} = (1 - 0,5) \cdot 4,18 + 0,5$	2,69
2026	15	$S_{(14+1)} = (1 - 0,5) \cdot 2,69 + 0,5$	1,845
2027	16	$S_{(15+1)} = (1 - 0,5) \cdot 1,845 + 0,5$	1,4225
2028	17	$S_{(16+1)} = (1 - 0,5) \cdot 1,4225 + 0,5$	1,21125

Из табл. 6 видно, что наблюдается снижение прогнозируемого числа техногенных ЧС на территории Российской Федерации с 2024 по 2028 г. Это может быть обусловлено несколькими факторами:

1. Улучшение технологий и методов управления рисками, таких как системы мониторинга и раннего оповещения, может существенно уменьшить вероятность техногенных ЧС. Применение безопасных технологий на производстве, полная или частичная автоматизация, улучшение стандартов и норм безопасности, а также обучение работников.

2. Принятие новых законодательных актов, сводов правил и стандартов, направленных на повышение уровня безопасности.

3. Регулярное обучение работников методам предотвращения ЧС и действиям в случае их возникновения, проведение учений и сценариев по устранению последствий техногенных ЧС.

Снижение числа техногенных ЧС в прогнозируемый период может стать следствием комплексного подхода, включающего как технологические, так и человеческие факторы. Это требует активных действий от государства, предприятий и общества в целом. Продолжение работы в этом направлении может привести к дальнейшему уменьшению числа аварий и их последствий.

Заключение

В настоящем исследовании осуществлен комплексный анализ техногенных ЧС с целью выявления закономерностей их возникновения и возможности применения математического моделирования для прогнозирования последствий. Результаты работы подчеркивают важность понимания природы и механизмов, приводящих к возникновению техногенных ЧС, как ключевого фактора для разработки эффективных мер по предотвращению их последствий.

В ходе исследования выделены следующие ключевые аспекты:

- осуществлен анализ основных категорий причин, включая человеческий фактор, технические неисправности и воздействие внешних факторов;
- получены выражения для расчета, отражающие динамику развития ЧС во времени;
- выполнен прогноз развития ЧС во времени.

Применение статистических методов дает возможность более точной оценки вероятностных характеристик различных сценариев техногенных ЧС.

Таким образом, результаты проведенного исследования могут служить основой для дальнейшего совершенствования методов анализа и управления техногенными ЧС, что, в свою очередь, будет способствовать снижению рисков и последствий, связанных с ними.

Список источников

1. Drysdale D.D., Sylvester-Evans R. The explosion and fire on the Piper Alpha platform, 6 July 1988. A case study // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 1998. Т. 356. № 1748. P. 2929–2951.
2. Broughton E. The Bhopal disaster and its aftermath: a review // *Environmental Health*. 2005. Т. 4. P. 1–6.
3. Haycox S. «Fetched up»: Unlearned lessons from the Exxon Valdez // *The Journal of American History*. 2012. Т. 99. № 1. P. 219–228.
4. Koo Y.H., Yang Y.S., Song K.W. Radioactivity release from the Fukushima accident and its consequences: a review // *Progress in Nuclear Energy*. 2014. Т. 74. P. 61–70.
5. Фортов В.Е., Фёдоров М.П., Елистратов В.В. Научно-технические проблемы гидроэнергетики после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС // *Вестник Российской академии наук*. 2011. Т. 81. № 7. С. 579–586.
6. Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Фесенко С.В. Радиоэкология и авария на Чернобыльской АЭС // *Атомная энергия*. 2006. Т. 100. № 4. С. 267–276.
7. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. URL: <https://mchs.gov.ru/> (дата обращения: 10.09.2024).
8. Эталонная информационная система по математическому управлению безопасностью людей / Е.Н. Неверов [и др.] // *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2022. № 4. С. 33–37. EDN LWIJGM.

9. Лажаунинкас Ю.В., Кочегарова О.С. Применение метода экспоненциального сглаживания при разработке прогнозов экономических процессов // Закономерности и тенденции развития науки в современном обществе: сб. статей междунар. науч.-практ. конф. 2016. № 3. С. 145–148.
10. Харин Ю.С. Оптимальность и робастность в статистическом прогнозировании. Минск: Белорусский гос. ун-т, 2008. 263 с. ISBN 978-985-485-950-7. EDN CPQMTP.
11. Горбунов С.В., Макиев М.Ю., Малышев В.П. Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Технологии гражданской безопасности. 2012. Т. 9. № 1 (31). С. 70–79.
12. Бесперстов Д.А., Неверов Е.Н., Фомин А.И. Оценка и обеспечение безопасности людей при пожарах на производстве и в быту. Кемерово: Кемеровский гос. ун-т, 2024. 189 с. ISBN 978-5-8353-3126-0. EDN HTSFPK.
13. Безопасность промышленного производства в Российской Федерации и за рубежом / Е.Н. Неверов [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2023. № 2. С. 6–11. EDN BRXVPG.
14. Разработка методологического принципа обеспечения пожаробезопасности людей / А.И. Фомин [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2023. № 4. С. 27–34. EDN AAPUNB.

References

1. Drysdale D.D., Sylvester-Evans R. The explosion and fire on the Piper Alpha platform, 6 July 1988. A case study // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 1998. Т. 356. № 1748. P. 2929–2951.
2. Broughton E. The Bhopal disaster and its aftermath: a review // Environmental Health. 2005. Т. 4. P. 1–6.
3. Haycox S. «Fetched up»: Unlearned lessons from the Exxon Valdez // The Journal of American History. 2012. Т. 99. № 1. P. 219–228.
4. Koo Y.H., Yang Y.S., Song K.W. Radioactivity release from the Fukushima accident and its consequences: a review // Progress in Nuclear Energy. 2014. Т. 74. P. 61–70.
5. Fortov V.E., Fyodorov M.P., Elistratov V.V. Nauchno-tehnicheskie problemy gidroenergetiki posle avarii na Sayano-Shushenskoj GES // Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2011. Т. 81. № 7. S. 579–586.
6. Aleksahin P.M., Sanzharova N.I., Fesenko S.V. Radioekologiya i avariya na Chernobyl'skoj AES // Atomnaya energiya. 2006. Т. 100. № 4. S. 267–276.
7. Ministerstvo Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij. URL: <https://mchs.gov.ru/> (data obrashcheniya: 10.09.2024).
8. Etalonnaya informacionnaya sistema po matematicheskomu upravleniyu bezopasnost'yu lyudej / E.N. Neverov [i dr.] // Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti. 2022. № 4. S. 33–37. EDN LWIJGM.
9. Lazhauninkas Yu.V., Kochegarova O.S. Primenenie metoda eksponencial'nogo sglazhivaniya pri razrabotke prognozov ekonomicheskikh processov // Zakonomernosti i tendencii razvitiya nauki v sovremennom obshchestve: sb. statej mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2016. № 3. S. 145–148.
10. Harin Yu.S. Optimal'nost' i robastnost' v statisticheskom prognozirovanii. Minsk: Belorusskij gos. un-t, 2008. 263 s. ISBN 978-985-485-950-7. EDN CPQMTP.
11. Gorbunov S.V., Makiev M.Yu., Malyshev V.P. Monitoring i prognozirovanie chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogennogo haraktera // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2012. Т. 9. № 1 (31). S. 70–79.
12. Besperstov D.A., Neverov E.N., Fomin A.I. Ocenka i obespechenie bezopasnosti lyudej pri pozharah na proizvodstve i v bytu. Kemerovo: Kemerovskij gos. un-t, 2024. 189 s. ISBN 978-5-8353-3126-0. EDN HTSFPK.

13. Bezopasnost' promyshlennogo proizvodstva v Rossijskoj Federacii i za rubezhom / E.N. Neverov [i dr.] // Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti. 2023. № 2. S. 6–11. EDN BRXVPG.

14. Razrabotka metodologicheskogo principa obespecheniya pozharobezopasnosti lyudej / A.I. Fomin [i dr.] // Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti. 2023. № 4. S. 27–34. EDN AAPUNB.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 07.08.2024; одобрена после рецензирования: 20.09.2024; принята к публикации: 23.09.2024

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 07.08.2024; approved after review: 20.09.2024; accepted for publication: 23.09.2024

Информация об авторах:

Неверов Евгений Николаевич, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» Кемеровского государственного университета (650056, г. Кемерово, Бульвар Строителей, д. 47), доктор технических наук, профессор, e-mail: neverov42@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>, SPIN-код: 7351-6740

Бесперстов Дмитрий Александрович, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Кемеровского государственного университета (650056, г. Кемерово, Бульвар Строителей, д. 47), кандидат технических наук, e-mail: gpnbesperstov@yandex.ru, SPIN-код: 3043-6803

Яковлев Иван Владимирович, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Кемеровского государственного университета (650056, г. Кемерово, Бульвар Строителей, д. 47), e-mail: yak0v.iv@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7820-5407>, SPIN-код: 9410-8678

Семенов Никита Владимирович, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Кемеровского государственного университета (650056, г. Кемерово, Бульвар Строителей, д. 47), e-mail: nikitecio@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-1329-2200>, SPIN-код: 5070-3639

Information about the authors:

Neverov Evgeny N., head of the department of technosphere safety of Kemerovo state university (650056, Kemerovo, Stroiteley Boulevard, 47), doctor of technical sciences, professor, e-mail: neverov42@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>, SPIN: 7351-6740

Besperstov Dmitry A., associate professor of the department of technosphere safety of Kemerovo state university (650056, Kemerovo, Stroiteley Boulevard, 47), candidate of technical sciences, e-mail: gpnbesperstov@yandex.ru, SPIN: 3043-6803

Yakovlev Ivan V., postgraduate student of the department of technosphere safety of Kemerovo state university (650056, Kemerovo, Stroiteley Boulevard, 47), e-mail: yak0v.iv@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7820-5407>, SPIN: 9410-8678

Semenov Nikita V., postgraduate student of the department of technosphere safety of Kemerovo state university (650056, Kemerovo, Stroiteley Boulevard, 47), e-mail: nikitecio@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-1329-2200>, SPIN: 5070-3639