

В.А. ОСТРЕЙКОВСКИЙ, В.О. ВДОВЕНКО, Е.Н. ШЕВЧЕНКО

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ АВАРИЙ И КАТАСТРОФ И УЩЕРБА ОТ НИХ ДЛЯ КРИТИЧЕСКИХ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассматривается соотношение значений частоты и количества аварий и катастроф и ущерба от них в результате различных техногенных событий. Приведены результаты анализа вида и параметра распределения частоты чрезвычайных событий и их количества для пожаров, взрывов вредных химических веществ и прорывов плотин.

Модели, техногенный риск, аппроксимация, авария.

Введение

Техногенная безопасность сложных систем продолжает оставаться чрезвычайно актуальной проблемой XXI века. Особенно опасными событиями для населения, промышленных предприятий и транспорта являются пожары, взрывы, выбросы химических веществ, прорывы плотин и другие чрезвычайные события. В техногенной безопасности в качестве одного из критериев часто используется функция средней частоты событий в год « F/N — диаграмма». По этим кривым определяются предельные частоты чрезвычайных событий. Считается, что кривая $f = f(F/N)$ отделяет верхнюю область недопустимо большого риска от области приемлемого риска, расположенной ниже и левее этой кривой. В задачах техногенного риска необходимо знать аналитическое выражение кривых F/N , ибо параметры кривых F/N позволят приближенно оценивать и другие показатели риска, такие как функции и плотности распределения. Однако в литературе по теории риска имеются крайне редкие сведения о виде и значениях параметров закона распределения частот $F(N)$, что сужает знание количественных показателей риска объектов [3, 4]. Поэтому в данной статье приведены результаты моделирования функций $f = f(F/N)$ для следующих чрезвычайных событий: пожары, взрывы, выбросы вредных химических веществ, прорывы плотин. Статистические данные для поиска математических моделей описания чрезвычайных событий аварий и катастроф взяты из книги [1].

Статистические данные для моделирования чрезвычайных событий

Статистические данные для аппроксимации исследуемых видов чрезвычайных событий аварий и катастроф приведены в табл. 1, где N — количество летальных исходов, F — частота событий в год (событие/год).

Определение вида и параметров распределения частот $f(F/N)$

Расчет параметров кривых $f = f(F/N)$ выполнялся в среде Matlab R 2012a [2]. При этом были определены для каждого чрезвычайного события уравнения вида $f = f(F/N)$ и следующие коэффициенты:

1. Критерий оценки пригодности приближения

$$S = \sum_{k=1}^n w_k (y_k - y_k^*)^2, \quad (1)$$

где w_k — веса точек; y_k — экспериментальные данные; y_k^* — данные, полученные при построении модели.

Таблица 1

Статистические данные по видам чрезвычайных событий

Виды чрезвычайных событий							
Пожары		Взрывы		Выбросы вредных химических веществ		Прорывы плотин	
N	$F \cdot 10^2$	N	$F \cdot 10^{-3}$	N	$F \cdot 10^5$	F	$F \cdot 10^4$
10	960	10	510	94	153	10	947
18	921	18	452	204	137	21	921
29	843	25	413	377	116	31	894
40	775	36	335	550	95	42	868
51	687	44	296	723	74	52	841
57	628	55	217	896	50	62	815
66	569	66	139	1347	29	73	788
74	491	81	92	3077	18	83	775
85	393	93	84	4808	16	94	748
96	396	213	65	6539	13	100	735
138	217	438	49	8270	10	170	682
250	100	663	30	9827	7	273	655
400	80	738	21			377	629
550	60	813	14			841	576
663	31	1750	8			585	523
850	10	2875	6			689	470
925	8	4000	5			792	417
1750	6	5875	3			896	338
2500	4					1000	232
2875	2					293	112
						3125	92
						4278	82
						5370	74
						6463	60
						7555	57
						8648	31
						9740	21
						16923	10
						23846	9
						30769	8

2. Число степеней свободы

$$k = m - n, \quad (2)$$

где m — количество экспоненциальных точек; n — количество параметров модели.

3. Сумма квадратов регрессии

$$S_1 = \sum_{k=1}^n w_k (g_k - \bar{g})^2, \quad (3)$$

где g_k — экспериментальные данные; \bar{g} — среднее значение g в полученной модели.

4. Сумма квадратов регрессии

$$S_2 = \sum_{k=1}^n w_k (g_k^* - \bar{g})^2, \quad (4)$$

где g_k^* — экспериментальные данные; \bar{g} — среднее значение u в полученной модели.

5. Квадрат смешанной корреляции (коэффициент детерминации)

$$R^2 = \frac{s_2}{s_1}. \quad (5)$$

6. Скорректированный коэффициент детерминации

$$Adj.R^2 = 1 - \frac{S(n-1)}{S_1(n-m)} \quad (6)$$

7. Среднеквадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\sum_{k=1}^n \frac{w_k (y_k - \hat{y}_k)^2}{n}} \quad (7)$$

где w_k — веса точек; y_k — экспериментальные данные; \hat{y}_k — данные, полученные при построении модели; n — число элементов в выборке.

8. Виды зависимостей

$$F(N) = A * e^{-\frac{(N-B)^2}{C}} ,$$

$$F(N) = A * e^{B * N} ,$$

$$F(N) = A * e^{B * N} + C * e^{D * N} ,$$

где: A, B, C, D — коэффициенты.

В ходе вычислений были получены результаты, приведенные в табл. 2.

На рис. 1–6 в качестве иллюстрации представлены полученные значения $F(N)$ в соответствующем диапазоне F и N .

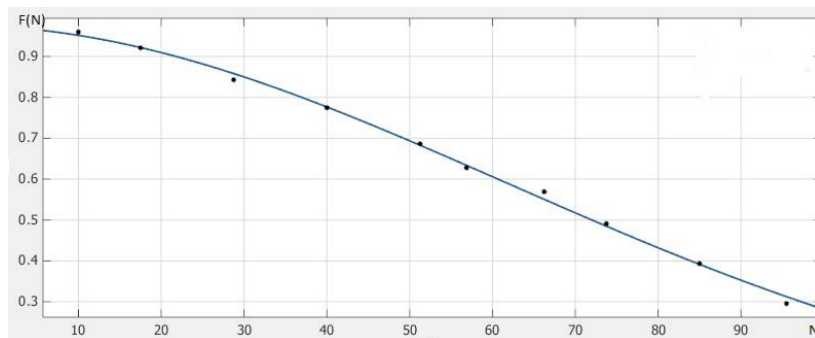


Рис. 1. Кривая «Пожары» на отрезке $N [10; 100]$

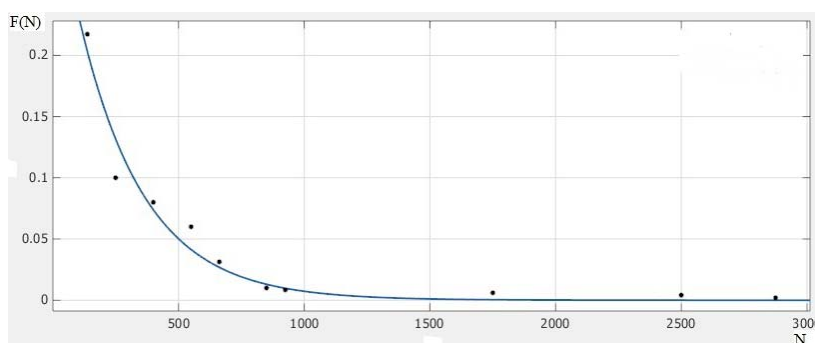


Рис. 2. Кривая «Пожары» на отрезке $N [100; 2875]$

Таблица 2

**Вид зависимости и значения параметров функции связи частоты аварий
и катастроф и ущерба от них**

№ п/п	Наименование кривой	Вид зависимости $F = f(N)$	Значения коэффициентов и их доверительные интервалы				Коэффициент детерминации R^2	Среднеквадратическое отклонение σ
			<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Пожары	На отрезке $N[10;100]$ $F(N) = A * e^{-\frac{(N-Z)^2}{c}}$	0,9766 (0,9259; 1,027)	-5,122 (-15,96; 5,72)	94,26 (84,14;104,4)	—	0,9977	0.0122
		На отрезке $N[100;2900]$ $F(N) = A * e^{Z-N}$	0,3453 (0,2544; 0,4362)	-0,003853 (-0,004964; -0,002749)	—	—	0,9598	0.0144
2	Взрывы	На отрезке $N[10;100]$ $F(N) = A * e^{Z-N}$	0,6567 (0,5852; 0,7281)	-0,02066 (-0,02415; -0,01718)	—	—	0,9780	0.0251
		На отрезке $N[100;5900]$ $F(N) = A * e^{Z-N}$	0,1009 (0,06977; 0,132)	-0,00194 (-0,002657; -0,001237)	—	—	0,9378	0.0058
3	Выбросы вредных химических веществ	$F(N) = A * e^{Z-N} + C * e^{D-N}$	$1653 * 10^{-4}$ ($14 * 10^{-4}$; $19 * 10^{-4}$)	$-14,66 * 10^{-4}$ ($19 * 10^{-4}$; $100 * 10^{-4}$)	$1,437 * 10^{-4}$ ($-99 * 10^{-8}$; $387 * 10^{-8}$)	$-35,56 * 10^{-8}$ ($-290 * 10^{-4}$; $219 * 10^{-8}$)	0,9892	($65 * 10^{-8}$)
4	Прорывы плотины	$F(N) = A * e^{Z-N} + C * e^{D-N}$	0,07872 ($65 * 10^{-3}$; $93 * 10^{-3}$)	-0,001219 ($-15 * 10^{-4}$; $-9 * 10^{-4}$)	0,01009 ($-43 * 10^{-4}$; $243 * 10^{-4}$)	-0,000109 ($-3 * 10^{-4}$; $1 * 10^{-4}$)	0,9882	0,0040

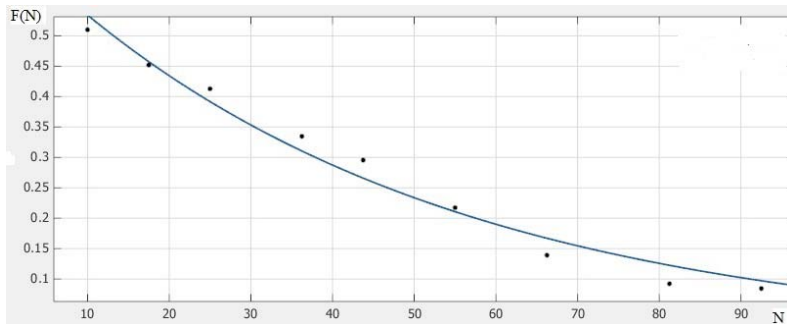


Рис. 3. Кривая «Взрывы» на отрезке $N [10; 100]$

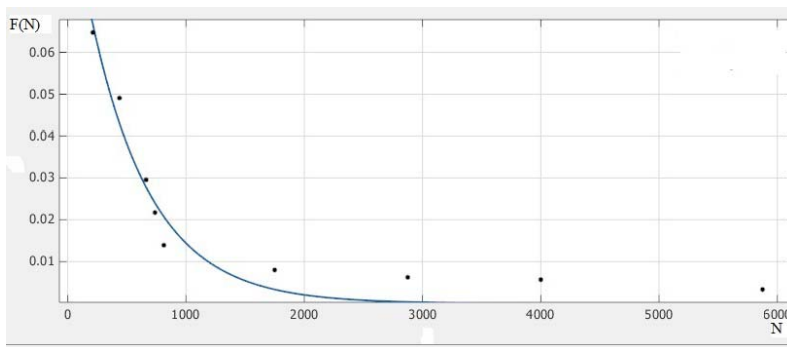


Рис. 4. Кривая «Взрывы» на отрезке $N [10; 100]$

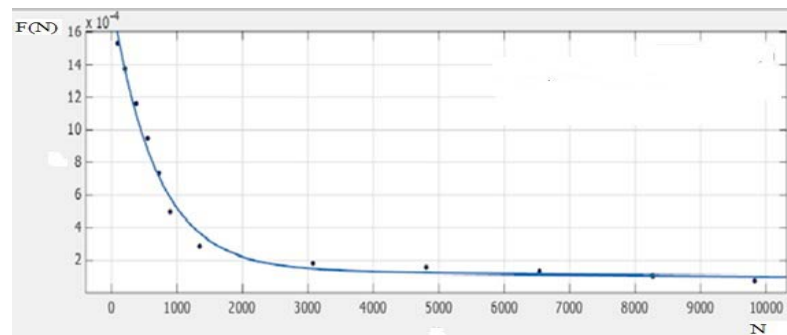


Рис. 5. Кривая «Выбросы вредных химических элементов» на отрезке $N [94; 9827]$

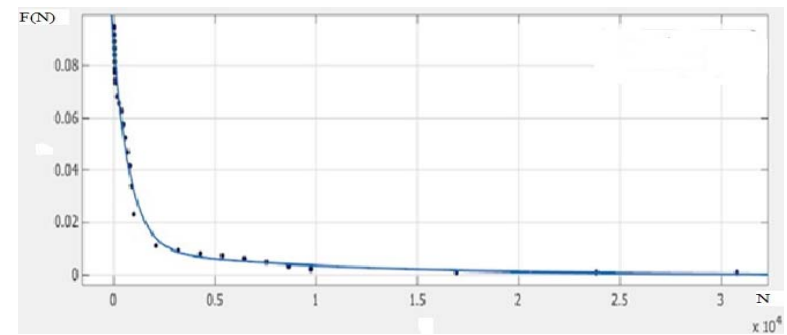


Рис. 6. Кривая «Прорывы плотины» на отрезке $N [10; 30769]$

Заключение

1. Анализ полученных результатов аппроксимации кривых частот F для рассмотренных видов аварий и катастроф свидетельствует о следующем:

— значения критерия пригодности приближения S , среднеквадратическая ошибка σ близки к 0, коэффициент детерминации R^2 близок к 1, что говорит о том, что регрессионные модели не противоречат экспериментальным данным;

— параметры коэффициентов регрессии лежат внутри интервалов при доверительной вероятности 0,95 и уровне значимости 0,05.

2. Полученные аналитические зависимости для частоты событий рассмотренных видов аварий и катастроф могут использоваться специалистами по безопасности как на стадии проектирования высокоответственных сложных критических систем, так и при их применении по назначению.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Акимов В.А.* Надежность технических систем и техногенный риск. М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. 368 с.

2. *Методы* аппроксимации [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://pers.narod.ru/study/methods/03.html>

3. *Острейковский В.А.* Теория техногенного риска: математические методы и модели: монография. Сургут: ИУ СурГУ, 2013. 320 с.

4. *Шевченко Е.Н.* Математические модели техногенного риска от обустройства нефтегазовых месторождений // Вестн. кибернетики. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2012. № 11. С. 76–80.

V.A. Ostrejkovsky, V.O. Vdovenko, E.N. Shevchenko

Modeling of distribution of the initial event of accidents and disasters and damage to critical industrial objects

The functional relationship of number of accidents and damage (death toll) is discussed. The results based on statistics of fires, explosions, emissions of harmful chemicals and dam breaks are given.

Models, technogenic risk, the approximation of the accident.