

УДК 614.8.084:504.05

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РИСКА ТЕХНОГЕННЫХ ОПАСНОСТЕЙ

А.А. Александров, В.И. Ларионов, П.А. Новиков

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
e-mail: rector@bmstu.ru; lar@esrc.ru; novikov-p-a@bmstu.ru

Проанализированы последствия техногенных чрезвычайных ситуаций, произошедших с 1991 по 2013 гг. Предложена методика динамического анализа риска техногенных опасностей, позволяющая прогнозировать показатели рисков во времени (по месяцам) на основе накопленной статистической информации о чрезвычайных ситуациях. Методика апробирована при расчете динамических рисков: техногенных опасностей, коллективного и индивидуального. Представлены результаты прогнозирования числа чрезвычайных ситуаций на транспорте.

Ключевые слова: статистика чрезвычайных ситуаций, техногенные опасности, динамический риск, индивидуальный риск, коллективный риск, карты риска.

DYNAMIC ANALYSIS OF THE RISK OF TECHNOGENIC HAZARDS

A.A. Aleksandrov, V.I. Larionov, P.A. Novikov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation
e-mail: rector@bmstu.ru; lar@esrc.ru; novikov-p-a@bmstu.ru

The consequences of technogenic disasters that have occurred in the period from 1991 to 2013 were analyzed. An approach for the dynamic analysis of the risk of technogenic hazards, which allows to predict risks over time (monthly) based on stored statistical information on disasters was proposed. This approach was tested for dynamic risk solutions of technological hazards, collective and individual risks. The forecasting results of the number of transport disasters were presented.

Keywords: statistics of disasters, technogenic hazards, dynamic risk, individual risk, collective risk, risk maps.

В последние десятилетия в России отмечается увеличение количества чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера, оказывающих неблагоприятное воздействие на безопасность населения и территорий различных регионов страны. Опыт ликвидации крупномасштабных техногенных ЧС в России и за рубежом показывает, что своевременный прогноз их возникновения и планирование мероприятий по их предотвращению на основе достоверной информации об уровне техногенного риска приводит к существенному снижению масштабов и смягчению последствий ЧС. Актуальность настоящей проблемы также отражена в Федеральной целевой программе “Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года”.

В научной и методической литературе в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций [1–4] в качестве показателей опасности приняты риски возникновения ЧС за год, а для населения — индивидуальные и коллективные риски. Указанные показатели носят статический характер, так как не отражают изменение рисков в течение прогнозируемого периода времени.

Предлагаемая методика динамического анализа риска техногенных опасностей позволяет прогнозировать показатели рисков во времени (по месяцам). Показатели риска определяются с применением ГИС-технологий на основе статистической обработки данных о последствиях более 15 тыс. техногенных чрезвычайных ситуаций, произошедших в период с 1991 по 2013 гг. В числе техногенных опасностей рассматриваются аварии на пожаро-, взрыво- и химически опасных объектах, объектах нефтегазового комплекса, транспорте, энергетических системах, коммунальных системах жизнеобеспечения, а также гидродинамические аварии. При этом учитываются степень опасности и риска потенциальных источников ЧС, численность населения в зонах ЧС, площадь исследуемой территории и другие показатели.

Динамический риск техногенных опасностей по административным районам и субъектам РФ определяется количеством ЧС техногенного характера в год по месяцам:

$$n_{т,i} = \frac{P_{т}}{T} K_{т,i},$$

где $P_{т}$ — количество техногенных аварий за период наблюдений; T — период выборки, год (23 года); $K_{т,i}$ — коэффициент, учитывающий динамику ЧС техногенного характера во времени (по месяцам), определяемый на основе статистической обработки выборки; $i = 1, 2, \dots, 12$ — порядковый номер месяца.

Динамический коллективный риск в ЧС техногенного характера по административным районам и субъектам РФ определяется как математическое ожидание числа пораженных за год по месяцам

$$\bar{R}_{1т,i} = \frac{N_{1т}}{T} K_{1т,i}; \quad \bar{R}_{2т,i} = \frac{N_{2т}}{T} K_{2т,i},$$

где $\bar{R}_{1т,i}$ ($\bar{R}_{2т,i}$) — динамический коллективный риск для жизни (жизни и здоровья) в техногенных ЧС; $N_{1т}$ ($N_{2т}$) — число погибших (погибших и пострадавших) в ЧС техногенного характера; $K_{1т,i}$ ($K_{2т,i}$) — коэффициент, учитывающий динамику гибели людей (гибели людей и пострадавших) в ЧС техногенного характера во времени (по месяцам).

Динамический индивидуальный риск в ЧС техногенного характера по административным районам и субъектам РФ численно равен

вероятности потери здоровья населением за год по месяцам вследствие воздействия негативных процессов на заданной территории

$$R_{1т,i} = \frac{\overline{R}_{1т,i}}{N}; \quad R_{2т,i} = \frac{\overline{R}_{2т,i}}{N}.$$

Здесь N — общая численность людей в административном районе и субъекте РФ.

Предлагаемая методика включает в себя три этапа расчета:

- этап 1 — расчет тренда ЧС;
- этап 2 — определение коэффициентов, учитывающих динамику событий в ЧС техногенного характера во времени по месяцам;
- этап 3 — оценка доверительного интервала прогноза.

Расчет тренда ЧС. В методике тренд описывает общий характер изменения событий во времени и определяется уравнением вида

$$y_{тр}(x) = ax + b, \quad (1)$$

где x — переменное значение в интервале $1 \dots 12T$; a и b — коэффициенты уравнения линии тренда, определяемые методом наименьших квадратов.

Определение коэффициентов, учитывающих динамику событий в ЧС техногенного характера во времени по месяцам. Коэффициенты $K_{т,i}$, $K_{1т,i}$, $K_{2т,i}$ определяются в следующей последовательности¹.

1. Определение отклонений фактических значений от тренда

$$\Delta(m) = y_{ф}(m) / y_{тр}(m),$$

где $y_{ф}(m)$ — фактическое количество аварий за месяц; $m = 1, 2, \dots, \dots, 12T$ — порядковый номер месяца в выборке с учетом года.

2. Вычисление средних отклонений для каждого месяца из всей выборки

$$\Delta_{ср,i} = \frac{\sum_{j=1}^T \Delta(i + 12(j - 1))}{T}.$$

Здесь i и j — порядковые номера месяца и года.

3. Расчет коэффициентов $K_{т,i}$, учитывающих динамику событий,

$$K_{т,i} = \frac{\Delta_{ср,i}}{\Delta_{ср}},$$

¹Показан расчет коэффициентов $K_{т,i}$, коэффициенты $K_{1т,i}$, $K_{2т,i}$ определяются аналогично.

где $\Delta_{\text{cp}} = \sum_{i=1}^{12} \Delta_{\text{cp},i} / 12$ — среднее значение средних отклонений для каждого месяца.

Прогнозируемое количество ЧС определяется с учетом тренда и времени года для каждого будущего месяца:

$$y_{\text{пр},i} = y_{\text{тр}}(n)K_{\text{т},i}. \quad (2)$$

Здесь $y_{\text{тр}}(n)$ — значение тренда на прогнозируемый месяц, определяемое по формуле (1), в которой аргумент x изменяется от $12T + 1$ до $12(T + 1)$; $n = 12T + i$; $i = 1, 2, \dots, 12$ — порядковый номер прогнозируемого месяца.

Оценка доверительного интервала прогноза. Доверительный интервал — это верхняя и нижняя границы области, в которую с заданной вероятностью попадут фактические значения.

Оценка доверительного интервала модели прогноза выполняется в следующей последовательности.

1. Определение квадратов разности фактических значений количества ЧС и расчетных значений, получаемых по формуле (2) для периода выборки,

$$\Delta_{\text{м}}(m) = (y_{\text{ф}}(m) - y_{\text{м}}(m))^2,$$

где $y_{\text{м}}(m) = y_{\text{тр}}(m)K_{\text{т},i}$; $m = 1, 2, \dots, 12T$ — порядковый номер месяца в выборке с учетом года.

2. Суммирование значений отклонений помесечно для каждого года (т.е. январь, февраль и т.п.)

$$S_i = \sum_{j=1}^T \Delta_{\text{м}}(i + 12(j - 1)),$$

здесь i и j — порядковые номера месяца и года.

3. Расчет среднеквадратического отклонения для каждого месяца

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{S_i}}{T - 1}.$$

4. Расчет доверительного интервала, соответствующего заданной надежности оценки [5]

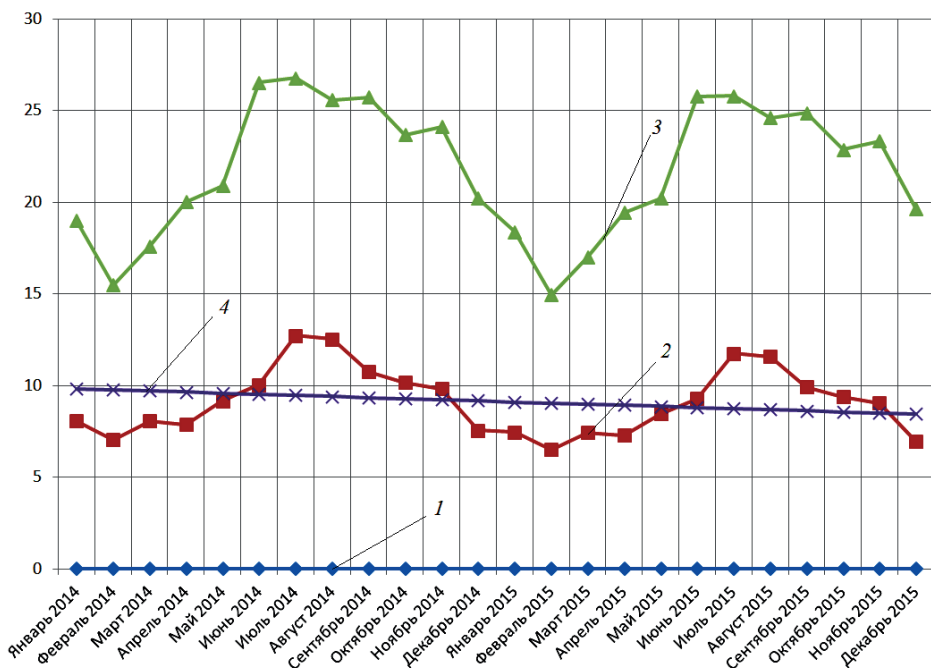
$$\Delta y_{\text{пр},i} = t\sigma_i,$$

где t — характерный параметр функции плотности распределения случайных событий. Для надежности оценки, равной 0,9, параметр t составляет 1,65.

5. Определение количества ЧС, не более определенной величины $Y_{\text{пр},i} = y_{\text{пр},i} + \Delta y_{\text{пр},i}$ для каждого расчетного месяца с заданной надежностью

$$P(y_i \leq Y_{\text{пр},i}) = 0,9,$$

где y_i — количество событий, которое может произойти в i -й месяц.



Прогноз количества ЧС (ед./мес.) на транспорте с числом погибших не менее пяти человек на территории РФ в 2014–2015 гг.:

1, 3 — нижняя и верхняя границы прогноза; 2 — прогноз; 4 — тренд

Результаты прогнозирования ЧС техногенного характера представлены на рисунке.

Выводы. 1. В предложенной методике динамический анализ риска от техногенных опасностей определяется на основе использования статистических данных о последствиях ЧС для рассматриваемых процессов и регионов. Методика позволяет прогнозировать возникновение техногенных чрезвычайных ситуаций в будущем (по месяцам). Прогнозирование может носить долгосрочный (на 1–2 года) или краткосрочный характер.

2. Рассмотренная методика динамического анализа риска техногенных опасностей имеет программную реализацию. Программный модуль динамического анализа техногенных рисков для каждого вида ЧС определяет показатели рисков и обеспечивает построение следующих видов карт: рисков возникновения ЧС за год; коллективного риска; индивидуального риска. Все карты строятся как для субъектов РФ, так и для муниципальных образований (административных районов).

3. Методика может быть использована при оценке риска, связанного с эксплуатацией потенциально опасных объектов различного назначения на территории РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ларионов В.И., Александров А.А., Кумохин В.Г. Оценка и обеспечение безопасности объектов хранения и транспортировки углеводородного сырья; под ред. В.И. Ларионова. СПб: ООО “Недра”, 2004. С. 61–96.
2. Ларионов В.И. Научно-методические основы определения рисков чрезвычайных ситуаций // Безопасность России. Анализ риска и проблем безопасности. В 4 ч. Ч. I. Основы анализа и регулирования безопасности. М.: МГФ “Знание”, 2006. С. 353–389.
3. Котляревский В.А., Ларионов В.И., Сущев С.П. Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология. В 3 т. Т. 1. Аварийный риск. Взрывные и ударные воздействия; под ред. В.А. Котляревского. М.: Наука. 2005. 696 с.
4. Методика комплексной оценки индивидуального риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера / В.И. Ларионов, Г.М. Нигметов, С.П. Сущев, А.Н. Угаров и др. // Сб. методических документов, применяемых для независимой оценки рисков в области пожарной безопасности, гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. В 2 ч. Ч. 1. М.: ООО “Типография Полимаг”, 2008. С. 146–167.
5. Общая теория статистики; под ред. А.Я. Боярского, Г.Л. Громько. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 376 с.

REFERENCES

- [1] Larionov V.I., Aleksandrov A.A., Kumokhin V.G., eds. Otsenka i obespechenie bezopasnosti ob'ektov khraneniya i transportirovki uglevodorodnogo syr'ya [Evaluating and ensuring the safety objects of storage and transportation of hydrocarbons]. SPb., ООО “Nedra” Publ., 2004. 190 p. (cited pp. 61–96).
- [2] Larionov V.I. Osnovy analiza i regulirovaniya bezopasnosti. Chast' I. V kn. “Nauchno-metodicheskie osnovy opredeleniya riskov chrezvychaynykh situatsiy. Bezopasnost' Rossii. Analiz riska i problem bezopasnosti”. V 4 ch. [Principles of analysis and regulation of safety. Part 1. In book: “Scientific and methodological basis for determining the risk of emergencies. Safety of Russia. Risk analysis and safety aspect”. In 4 parts]. Moscow, MGF “Znanie” Publ., 2006, pp. 353–389.
- [3] Kotlyarevskiy V.A., Larionov V.I., Sushchev S.P., eds. Entsiklopediya bezopasnosti: stroitel'stvo, promyshlennost', ekologiya: kollektivnaya monografiya. V 3 t. T. 1: “Avariynnyy risk. Vzryvnye i udarnye vozdeystviya” [Safety encyclopedia. Construction. Industry. Ecology. In 3 vols. Vol. 1. “Accident risk. Explosive and impact force”]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 696 p.
- [4] Larionov V.I., Nigmatov G.M., Sushchev S.P., Ugarov A.N. Comprehensive evaluation methodology of individual risk of disaster situations with natural and technogenic character. *Sb. metodicheskikh dokumentov, primenyaemykh dlya nezavisimoy otsenki riskov v oblasti pozharnoy bezopasnosti, grazhdanskoy oborony i zashchity naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy. V 2 ch.* [Collect. Pap. “Guidance documents used for independent risk assessment in the field of fire safety civil defense and protection of population and territories from emergency situations”. In 2 parts]. Moscow, ООО “Tipografiya Polimag” Publ., 2008, part 1, pp. 146–167 (in Russ.).
- [5] Boyarskiy A.Ya., Gromyko G.L., eds. Obshchaya teoriya statistiki. 2-e izd. [General theory of statistics]. Moscow, MSU im. M.V. Lomonosova Publ., 1985. 376 p.

Статья поступила в редакцию 22.08.2014

Анатолий Александрович Александров — д-р техн. наук, профессор, ректор МГТУ им. Н.Э. Баумана, заведующий кафедрой “Экология и промышленная безопасность”. Автор более 100 научных работ в области ресурсо- и природосбережения при хранении и транспортировке жидкого углеводородного топлива с использованием криогенной техники, теории рисков, механики разрушения, промышленной безопасности и эксплуатации опасных производственных объектов.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

A.A. Aleksandrov — Dr. Sci. (Eng.), professor, head of “Ecology and Industrial Safety” department of the Bauman Moscow State Technical University, Rector of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 100 publications in the field of resources and nature conservation during storage and transportation of liquid hydrocarbon fuel using cryogenic technology, risk theory, fracture mechanics, industrial safety and exploitation of dangerous production objects.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Валерий Иванович Ларионов — д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе Научно-образовательного центра исследований экстремальных ситуаций МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 200 научных работ в области теории рисков и промышленной безопасности потенциально опасных объектов.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

V.I. Larionov — Dr. Sci. (Eng.), professor, deputy director for scientific work of the Scientific and Educational Center for Study of Extreme Situations of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 200 publications in the field of risk theory and industrial safety of potentially dangerous objects (critical infrastructure).

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Павел Александрович Новиков — научный сотрудник Научно-образовательного центра исследований экстремальных ситуаций МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 15 научных работ в области промышленной безопасности и эксплуатации опасных производственных объектов.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

P.A. Novikov — researcher of the Scientific and Educational Center for Study of Extreme Situations of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 15 publications in the field of industrial safety and exploitation of dangerous industrial objects (critical infrastructure).

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

Сдано в набор 25.07.2014

Формат 70 × 108/16

Заказ

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана

Подписано в печать 25.09.2014

Усл.-печ. л. 11,73

Уч.-изд. л. 12,54