

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (В СТРОИТЕЛЬСТВЕ)

УДК 351.861

Национальный университет гражданской защиты Украины
Канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник научно-исследовательской
лаборатории управления в кризисных ситуациях В. В. Тютюник
Соискатель кафедры управления и организации деятельности
в сфере гражданской защиты А. В. Попова
Д-р техн. наук, начальник кафедры управления и организации
деятельности в сфере гражданской защиты А. Н. Соболев
Д-р хим. наук, проф. кафедры специальной химии
и химической технологии В. Д. Калугин
Украина, г. Харьков, тел.: +38(057)700-31-71;
e-mail: post@nuczu.edu.ua
Воронежский государственный
архитектурно-строительный университет
Канд. техн. наук, зав. кафедрой пожарной
и промышленной безопасности Е. А. Сушко
Россия, г. Воронеж, e-mail: ppb@ygasu.vrn.ru

National University of Civil Defense of Ukraine
PhD in Engineering, Senior researcher of the Laboratory
of Management in Crisis Situations V. V. Tiutiunik
PhD student of Dept. of Management and Activity Organization
in Civil Defense A. V. Popova
PhD in Engineering, Head of Dept. of Management
and Activity Organization in Civil Defense A. N. Sobol
PhD in Chemistry, Prof. of Dept. of Special Chemistry
and Chemical Technology V. D. Kalugin
Ukraine, Kharkiv, tel.: +38(057)700-31-71;
e-mail: post@nuczu.edu.ua
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering
PhD in Engineering, Head. of Dept. of Fire and Industrial Safety
E. A. Sushko
Russia, Voronezh, e-mail: ppb@ygasu.vrn.ru

В. В. Тютюник, А. В. Попова, А. Н. Соболев, В. Д. Калугин, Е. А. Сушко МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОН СУММАРНОГО РИСКА ОТ СТАЦИОНАРНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Постановка задачи. Рассмотрена разработка эффективных мероприятий по обеспечению раннего мониторинга (уже на этапе разработки планов строительства потенциально опасных объектов), противодействию чрезвычайным ситуациям (катастрофам) техногенного происхождения и их ликвидации, предотвращению распространения этих катастроф и их взаимного влияния (взаимной генерации) в условиях существования природно-техногенных, техногенно-техногенных и техногенно-природных взаимосвязей и проявления каскадного возникновения чрезвычайных ситуаций различной природы.

Результаты и выводы. Представлен математический подход для оценки уровня техногенной опасности функционирования природно-техногенно-социальной системы в условиях случайного территориального распределения стационарных потенциально опасных объектов и территориального наложения энергетических зон повышенного риска, которые радиально формируются вокруг этих объектов в результате проявления чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами, взрывами и другими процессами быстрого выделения большого количества разрушающей энергии.

Ключевые слова: техногенная опасность, чрезвычайная ситуация, зона повышенного риска, территориальное наложение зон, суммарный риск жизнедеятельности, энергетический подход.

V. V. Tiutiunik, A. V. Popova, A. N. Sobol, V. D. Kalugin, E. A. Sushko THE MODELLING OF POWER ZONES OF TOTAL RISK OF STATIONARY POTENTIALLY DANGEROUS FACILITIES

Statement of the problem. The development of effective actions for providing early monitoring (as early as at a development stage of construction plans of potentially dangerous facilities) is examined as well as counteractions and eliminations of emergency situations (accidents) of a technogenic origin, prevention of the distribution of these accidents and their mutual influence (mutual generation) in living conditions of natural-technogenic, technogenic-technogenic and technogenic-natural interrelations and manifestations of cascade origin of emergency situations of various nature.

Results and conclusions. A mathematical approach is presented to an assessment of level of technogenic danger of functioning of natural and technogenic and social system in the conditions of casual territorial distribution of stationary potentially dangerous facilities and territorial imposing of power zones of the increased risk which are radially formed round these facilities as a result of manifestation of the emergency situations associated with fires, explosions and other processes of fast allocation of a large amount of destructive energy.

Keywords: technogenic danger, emergency situation, zone of the increased risk, territorial imposing of zones, total risk of life activity, power approach

Введение. Известные [4—6] методы оценки уровня опасности функционирования природно-техногенно-социальной системы (ПТС-системы) базируются на вероятностно-статис-

тическом или экспертном анализе проявления отдельных составляющих опасностей. Между тем существующая нелинейность в процессах функционирования ПТС-системы [7—11] вызывает необходимость рассмотрения возможного проявления синергизма при оценке степени опасности функционирования ПТС-системы в условиях проявления ЧС.

Первым приближением исследования нелинейных эффектов при оценке общего уровня опасности техногенного риска жизнедеятельности ПТС-системы является оценка аддитивного вклада различных составляющих в общий уровень техногенной опасности. Так, в работе [12] исследованы особенности проявления аддитивности техногенных опасностей в Кабардино-Балкарской республике. При этом полученные результаты не учитывали распределение потенциально опасных объектов (ПОО) по территории ПТС-системы и возможность наложения зон повышенного риска, которые формируются вокруг ПОО. Это обстоятельство послужило основой при обосновании цели данной работы, которая сформирована как развитие представлений об оценке уровня опасности ПТС-системы в условиях проявления различного рода ЧС и моделирование суммарного воздействия от разнесенных в пространстве источников опасности техногенного происхождения, которые обусловлены функционированием различного рода ПОО.

1. Теоретические основы моделирования территориального наложения энергетических зон повышенного риска, которые радиально формируются вокруг стационарных ПОО. В результате функционирования ПОО вокруг объектов формируются зоны, внутри которых наблюдается уровень повышенного риска для жизнедеятельности социумов ПТС-системы. Неравномерность распределения ПОО по территории ПТС-системы приводит к ситуациям геометрического наложения энергетических зон риска. Внутри этих зон проявляются эффекты нелинейных взаимодействий между опасными факторами различного рода ЧС [1, 10], вследствие чего возникает необходимость рассмотрения возможностей проявления в первом приближении суммарного эффекта взаимодействия зон при оценке общего уровня техногенной нагрузки на условия жизнедеятельности ПТС-системы.

Математическое моделирование случайного распределения ПОО по территории ПТС-системы и возможность наложения энергетических зон повышенного риска, которые формируются вокруг ПОО в виде кругов, рассмотрены в работе в рамках следующих представлений.

Пусть в евклидовом пространстве R^2 задана область S_0 , которая в общем случае представляет собой невыпуклый многоугольник, заданный координатами вершин в глобальной системе координат (x, y) (рис. 1).

Область S_0 может описывать территорию некоторого города, региона, страны и т. д. Этой области принадлежат центры кругов $S_i(x_i, y_i)$, т. е.

$$S_i(x_i, y_i) \in S_0, \text{ где } i = 1, \dots, n.$$

Данные круги имеют радиусы R_i . В общем случае

$$R_i \neq R_j, i \neq j, i, j \in \{1, \dots, n\}.$$

Каждый из кругов представляет собой область возможного опасного воздействия от ПОО, местоположение которого совпадает с центром соответствующего круга. Следует отметить, что допускается пересечение 2-х и более заданных кругов одновременно. Необходимо определить суммарную площадь пересечения кругов $S_i(x, y)$, $i = 1, \dots, n$.

Область S_0 и объекты $S_i(x, y)$, $i = 1, \dots, n$, представим с помощью геометрической информации [13], которая имеет следующий вид:

$$g = (\{s\}, \{m\}, \{p\}), \quad (1)$$

где $\{s\}$ — форма соответствующего объекта; $\{m\}$ — метрические характеристики объекта; $\{p\}$ — параметры размещения объекта.

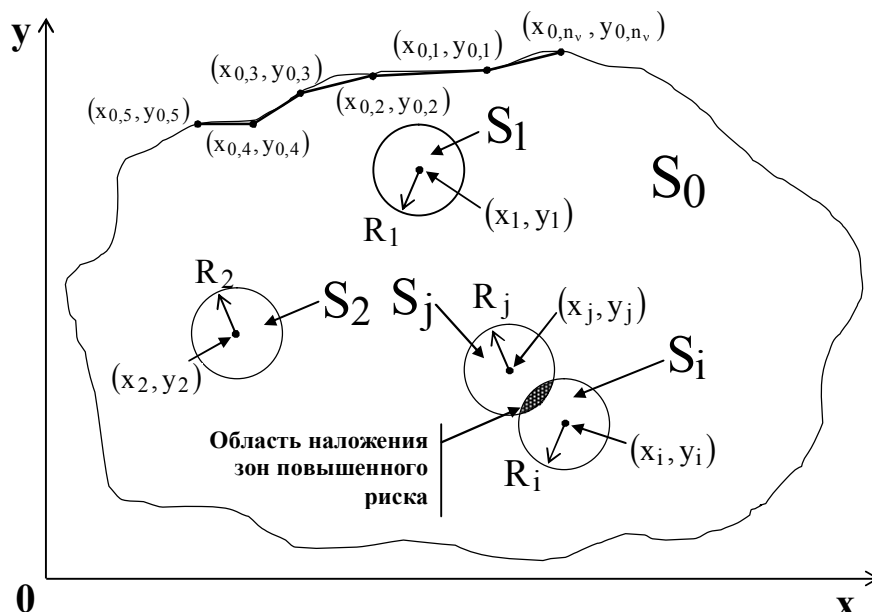


Рис. 1. Геометрическое представление о распределении потенциально опасных объектов по территории ПТС-системы и возможности наложения энергетических зон повышенного риска, которые формируются вокруг потенциально опасных объектов в виде кругов

Таким образом, геометрическая информация, которая единственным образом определяет область S_0 в пространстве R^2 , имеет вид

$$g_0 = \left(\{ \text{многоугольник} \}, \{ x_{0,1}, y_{0,1}; \dots; x_{0,n_v}, y_{0,n_v} \}, \{ 0, 0 \} \right), \quad (2)$$

где $\{ x_{0,1}, y_{0,1}; \dots; x_{0,n_v}, y_{0,n_v} \}$ — координаты вершин многоугольника в системе координат (x, y) , общее количество которых равно n_v . Необходимо отметить, что нумерация вершин осуществляется против часовой стрелки.

Геометрическая информация о кругах $S_i(x, y)$, $i = 1, \dots, n$, может быть записана следующим образом:

$$g_i = \left(\{ \text{круг} \}, \{ R_i \}, \{ x_i, y_i \} \right), \quad i = 1, \dots, n. \quad (3)$$

Для определения суммарной площади пересечения заданного множества кругов необходимо прежде всего сформировать подмножества $S'_q \subset \bigcup_{i=1}^N S_i$, $q = 1, \dots, N_g$, которые удовлетворяют следующим требованиям:

- 1) подмножества не пересекаются между собой, т. е. $S'_q \cap S'_w = \emptyset$, $q = 1, \dots, N_g - 1$, $w = q + 1, \dots, N_g$;
- 2) в пределах q -й подгруппы круги пересекаются, т. е. $S_i \cap S_j = \emptyset$, $S_i \in S'_q$, $S_j \in S'_q$, $i \neq j$, $i, j \in \{1, \dots, n\}$. При этом допустима и следующая ситуация: $S_i \cap S_k = \emptyset$, $S_i \in S'_q$, $S_k \in S'_q$, $i \neq k$, $i, k \in \{1, \dots, n\}$.

Для формирования подмножеств S'_q , $q = 1, \dots, N_g$, необходимо для каждой пары кругов $S_i(x_i, y_i)$ и $S_j(x_j, y_j)$, $i = 1, \dots, n-1$, $j = i+1, \dots, n$, записать Φ -функцию [13, 14], которая обладает следующим свойством:

- при отсутствии пересечения (если $clS_i(x_i, y_i) \cap clS_j(x_j, y_j) = \emptyset$) (рис. 2а):

$$\Phi(x_i, y_i, x_j, y_j) > 0, \quad (4)$$

- при наличии касания (рис. 2б), то есть если

$$clS_i(x_i, y_i) \cap clS_j(x_j, y_j) \neq \emptyset \text{ и } intS_i(x_i, y_i) \cap intS_j(x_j, y_j) = \emptyset, \\ \Phi(x_i, y_i, x_j, y_j) = 0, \quad (5)$$

- при наличии наложения (если $intS_i(x_i, y_i) \cap intS_j(x_j, y_j) \neq \emptyset$) (рис. 2в):

$$\Phi(x_i, y_i, x_j, y_j) < 0. \quad (6)$$

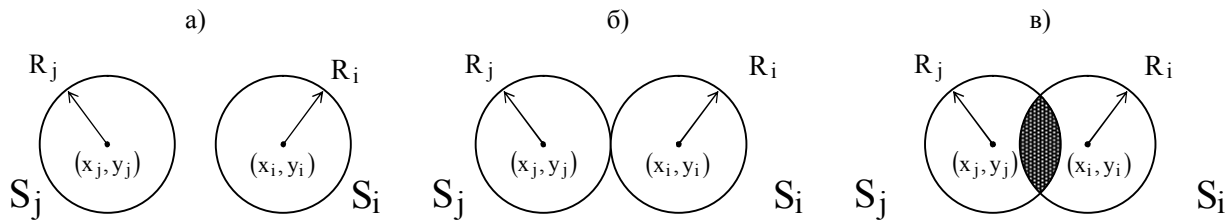


Рис. 2. Возможные варианты взаимодействия между энергетическими зонами повышенного риска

При определении условий выполнения выражений (4) (рис. 2б) (6) введены следующие обозначения: $clS_i(x_i, y_i)$ (рис. 2б) замыкание точечного множества $S_i(x_i, y_i)$; $intS_i(x_i, y_i)$ (рис. 2б) внутренность точечного множества $S_i(x_i, y_i)$.

Определение зон суммарного риска жизнедеятельности, возникающих в результате территориального наложения независимых энергетических зон риска (окружностей) от отдельных потенциально опасных объектов осуществляется путем формирования, в рамках выполнения условия

$$\Phi(x_i, y_i, x_j, y_j) < 0,$$

подмножеств $S'_q, q = 1, \dots, N_g$.

Аналитически данное условие можно записать следующим образом:

$$(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 < (R_i + R_j)^2, \quad i = 1, \dots, n-1, \quad j = i+1, \dots, n. \quad (7)$$

2. Определение зон суммарного риска жизнедеятельности ПТС-системы от стационарных ПОО. Алгоритм для определения зон суммарного риска жизнедеятельности ПТС-системы и формирования подмножеств

$$S'_q \subset \bigcup_{i=1}^N S_i, \quad q = 1, \dots, N_g$$

имеет вид:

Шаг 1. Количество подмножеств $N_g = 0$. Задается массив номеров кругов $Numb[i] = i$, $i = 1, \dots, n$.

Шаг 2. $i = 1$ (номер круга, с которого начинается формирование подмножеств).

Шаг 3. $j = i + 1$ (номера кругов, для которых выполняется проверка условия (7)).

Шаг 4. Если $j \leq n$, то шаг 5, иначе $Numb[i] = 0$, шаг 17.

Шаг 5. Если $Numb[j] \neq 0$, то шаг 6, иначе $j = j + 1$, шаг 4.

Шаг 6. Проверка условия (7) для кругов с номерами i и j . Если условие выполняется, то $N_g = N_g + 1$, $Nm[N_g][1] = i$, $Nm[N_g][2] = j$, $Numb[j] = 0$, $N = 2$, шаг 9, иначе шаг 7.

Шаг 7. $j = j + 1$. Если $j \leq n$, то шаг 5, иначе шаг 8.

Шаг 8. $Numb[i] = 0$, $i = i + 1$. Если $i \leq n$, то шаг 3, иначе шаг 17.

Шаг 9. $j = j + 1$. Если $j \leq n$, то шаг 10, иначе шаг 11.

Шаг 10. Если $Numb[j] \neq 0$, то выполняется проверка условия (7) для кругов с номерами i и j . Если условие выполнено, то $Numb[j] = 0$, $N = N + 1$, $Nm[N_g][N] = j$. Шаг 9.

Шаг 11. $k = 2$ (номер текущего элемента в подмножестве).

Шаг 12. $j = 1$.

Шаг 13. Если $Numb[j] \neq 0$, то шаг 14, иначе шаг 15.

Шаг 14. Проверка условия (4) для кругов с номерами $Nm[N_g][k]$ и j . Если условие выполняется, то $Numb[j] = 0$, $N = N + 1$, $Nm[N_g][N] = j$. Шаг 15.

Шаг 15. $j = j + 1$. Если $j \leq n$, то шаг 13, иначе шаг 16.

Шаг 16. $k = k + 1$. Если $k \leq N$, то шаг 12, иначе шаг 17.

Шаг 17. Если существует отличный от нуля элемент массива $Numb$, то переменная i принимает значение первого ненулевого элемента, - шаг 3, иначе шаг 18.

Шаг 18. Если $N_g = 0$, то пересечения кругов отсутствуют, иначе количество подмножеств кругов, в которых реализуются пересечения, равно N_g .

Шаг 19. Конец алгоритма.

3. Определение суммарной площади пересечения энергетических зон суммарного риска жизнедеятельности ПТС-системы. После формирования подмножеств

$$S'_q \subset \bigcup_{i=1}^N S_i, \text{ м,}$$

определение суммарной площади пересечения энергетических зон суммарного риска жизнедеятельности ПТС-системы (площади пересечения кругов $S_i(x_i, y_i)$, $i = 1, \dots, n$) осуществляется в рамках следующего алгоритма:

Шаг 1. Если $N_g > 0$, то шаг 2, иначе шаг 13.

Шаг 2. $q = 1$ (счетчик количества подмножеств), $S = 0$ (суммарная площадь пересечения кругов), задаем погрешность вычисления площадей пересечения — ε .

Шаг 3. $S^q = 0$ (площадь пересечения кругов в q -м подмножестве).

Шаг 4. Определяем параметры A_q и B_q габаритного прямоугольника для q -го подмножества кругов (рис. 3).

Шаг 5. Задаем параметры прямоугольной сетки N_A и N_B , которая накладывается на габаритный прямоугольник, где N_A и N_B — количество точек сетки по осям габаритного прямоугольника.

Шаг 6. Вычисляем количество узлов N_q , принадлежащих области пересечения кругов q -го подмножества (проверка принадлежности области пересечения осуществляется сле-

дующим образом: если узел принадлежит более чем одному кругу, то, следовательно, он принадлежит области пересечения).

Шаг 8. $N_A = 2N_A, N_B = 2N_B$.

Шаг 9. $S^{q'} = \frac{N_q}{N} S_{AB}$.

Шаг 10. Если $\frac{|S^{q'} - S^q|}{S^q} \leq \varepsilon$, то шаг 11, иначе $S^q = S^{q'}$, шаг 8.

Шаг 11. $S = S + S^{q'}$.

Шаг 12. $q = q + 1$. Если $q \leq N_g$, то шаг 3, иначе шаг 14.

Шаг 13. $S = 0$.

Шаг 14. Конец алгоритма.

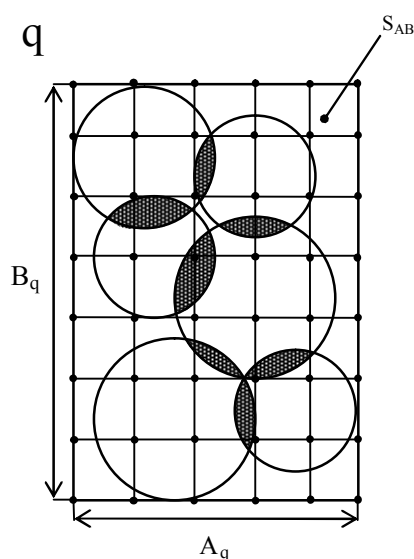


Рис. 3. Геометрическое представление об определении суммарной площади пересечения энергетических зон суммарного риска жизнедеятельности ПТС-системы

Таким образом, последовательное применение представленных алгоритмов позволит определить количество и суммарную площадь пересечения зон повышенного техногенного риска ПТС-системы — кругов $S_i(x_i, y_i)$, $i = 1, \dots, n$, которые формируются вокруг стационарных промышленных потенциально опасных объектов.

Выводы

1. В работе развиты научные основы энергетического подхода [15, 16] для оценки суммарного уровня опасности жизнедеятельности территории ПТС-системы в условиях функционирования случайным образом распределенных стационарных промышленных потенциально опасных объектов и возникновения вследствие их функционирования чрезвычайных ситуаций техногенного происхождения.

2. На основе математического рассмотрения территориального распределения и функционального назначения стационарных потенциально опасных объектов разработан системный подход и принцип суммарной оценки уровня техногенной опасности функционирования ПТС-системы в условиях территориального образования энергетических зон повышенного риска, которые формируются в виде кругов вокруг потенциально опасных объектов различного производственного назначения.

3. Показано, что методом геометрического моделирования зон суммарного (повышенного) риска между потенциально опасными объектами можно определить зависимость величины суммарной разрушающей энергии чрезвычайной ситуации в зоне от расстояния между объектами.

Бібліографічний список

1. **Черногор, Л. Ф.** Физика и экология катастроф / Л. Ф. Черногор. — Харьков: Харьков. нац. ун-т им. В. Н. Каразина, 2012. — 556 с.
2. **Осипов, В. И.** Природные опасности и стратегические риски в мире и в России / В. И. Осипов // Экология и жизнь. — 2009. — № 11—12 (96—97). — С. 5—15.
3. **Тютюник, В. В.** Основні принципи інтегральної системи безпеки при надзвичайних ситуаціях / В. В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних Сил. — Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2008. — Вип. 3 (18). — С. 179—180.
4. **Питулько, В. М.** Научное обеспечение управлением риска аварий и катастроф / В. М. Питулько // Инженерная экология. — 1996. — № 3. — С. 36—44.
5. **Гражданкин, А. И.** Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов / А. И. Гражданкин, М. В. Лисанов, А. С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. — 2002. — № 2. — С. 12—20.
6. **Кондратьев, В. Д.** Комплексная оценка уровня риска опасного объекта / В. Д. Кондратьев, А. В. Толстых, Б. К. Уандыков, А. В. Щепкин // Системы управления и информац. технологий. — 2004. — № 3 (15). — С. 53—57.
7. **Хакен, Г.** Синергетика / Г. Хакен. — М.: Мир, 1980. — 414 с.
8. **Черногор, Л. Ф.** Естествознание. Интегрирующий курс / Л. Ф. Черногор. — Харьков: Харьков. нац. ун-т им. В. Н. Каразина, 2007. — 536 с.
9. **Бабурин, В. Л.** Пространство циклов: Мир — Россия — регион / В. Л. Бабурин; под ред. В. Л. Бабурина, П. А. Чистякова. — М.: Изд-во ЛКИ, 2007. — 320 с.
10. **Черногор, Л. Ф.** О нелинейности в природе и науке / Л. Ф. Черногор. — Харьков: Харьков. нац. ун-т им. В. Н. Каразина, 2008. — 528 с.
11. **Малинецкий, Г. Г.** Математические основы синергетики: хаос, структуры, вычислительный эксперимент / Г. Г. Малинецкий. — М.: Книжный дом «Либроком», 2012. — 312 с.
12. **Шагин, С. И.** Географические аспекты оценки природно-техногенной опасности территории Кабардино-Балкарской республики: дис. ... канд. геогр. наук / С. И. Шагин. — Нальчик: Высокогорный геофиз. ин-т, 2005. — 223 с.
13. **Стоян, Ю. Г.** Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю. Г. Стоян, С. В. Яковлев. — К.: Наук. думка, 1986. — 265 с.
14. **Комяк, В. М.** Постановка задачі побудови 0-рівня Ф-функції для геометричних об'єктів з нелінійною границею / В. М. Комяк, О. М. Соболев, А. В. Попова // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвідомчий науково-техніч. зб. — К.: КНУБА, 2011. — Вип. 87. — С. 202—206.
15. **Тютюник, В. В.** Системний підхід до оцінки небезпеки життєдіяльності при територіально-часовому розподілі енергії джерел надзвичайних ситуацій / В. В. Тютюник, Л. Ф. Черногор, В. Д. Калугін // Проблеми надзвичайних ситуацій. — Х.: НУЦЗУ, 2011. — Вип. 14. — С. 171—194.
16. **Калугін, В. Д.** Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні / В. Д. Калугін, В. В. Тютюник, Л. Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — 1/6 (55). — С. 59—70.

References

1. **Chernogor, L. F.** Fizika i e'kologiya katastrof / L. F. Chernogor. — Har'kov: Har'kov. nac. un-t im. V. N. Karazina, 2012. — 556 s.
2. **Osipov, V. I.** Prirodnye opasnosti i strategicheskie riski v mire i v Rossii / V. I. Osipov // E'kologiya i zhizn'. — 2009. — № 11. — 12 (96—97). — S. 5—15.

3. **Tyutyunik, V. V.** Osnovni principi integral'noї sistemi bezpeki pri nadzvichajnix situacijax / V. V. Tyutyunik, R.I. Shevchenko // Zb. nauk. prac' Xarkivs'kogo universitetu Povitryanix Sil. — X.: XUPS im. I. Kozheduba, 2008. — Vip. 3 (18). — S. 179—180.
4. **Pitul'ko, V. M.** Nauchnoe obespechenie upravleniem riska avarij i katastrof / V. M. Pitul'ko // Inzhenernaya e'kologiya. — 1996. — № 3. — S. 36—44.
5. **Grazhdankin, A. I.** Ispol'zovanie veroyatnostnyx ocenok pri analize bezopasnosti opasnyx proizvodstvennyx ob'ektov / A. I. Grazhdankin, M. V. Lisanov, A. S. Pecherkin // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. — 2002. — № 2. — S. 12—20.
6. **Kondrat'ev, V. D.** Kompleksnaya ocenka urovnya riska opasnogo ob'ekta / V. D. Kondrat'ev, A. V. Tolstyx, B. K. Uandykov, A. V. Shhepkin // Sistemy upravleniya i informac. texnologij. — 2004. — № 3 (15). — S. 53—57.
7. **Xaken, G.** Sinergetika / G. Xaken. — M.: Mir, 1980. — 414 s.
8. **Chernogor, L. F.** Estestvoznaniye. Integriruyushhij kurs / L. F. Chernogor. — Xar'kov: Xar'kov. nac. un-t im. V. N. Karazina, 2007. — 536 s.
9. **Baburin, V. L.** Prostranstvo ciklov: Mir — Rossiya — region / V. L. Baburin; pod red. V. L. Baburina, P. A. Chistyakova. — M.: Izd-vo LKI, 2007. — 320 s.
10. **Chernogor, L. F.** O nelinejnosti v prirode i nauke / L. F. Chernogor. — Xar'kov: Xar'kov. nac. un-t im. V. N. Karazina, 2008. — 528 s.
11. **Malineckij, G. G.** Matematicheskie osnovy sinergetiki: kaos, struktury, vychislitel'nyj e'ksperiment / G. G. Malineckij. — M.: Knizhnyj dom «Librokom», 2012. — 312 s.
12. **Shagin, S. I.** Geograficheskie aspekty ocenki prirodno-texnogennoj opasnosti territorii Kabardino-Balkarskoj respubliky: dis. ... kand. geogr. nauk / S. I. Shagin. — Nal'chik: Vysokogornyj geofiz. in-t, 2005. — 223 s.
13. **Stoyan, Yu. G.** Matematicheskie modeli i optimizacionnye metody geometricheskogo proektirovaniya / Yu. G. Stoyan, S. V. Yakovlev. — K.: Nauk. dumka, 1986. — 265 s.
14. **Komyak, V. M.** Postanovka zadachi pobudovi 0-rivnya F-funkcii dlya geometrichnix ob'ektiv z nelinejnoyu graniceyu / V. M. Komyak, O. M. Sobol', A. V. Popova // Prikladna geometriya ta inzhenerna grafika: mizhvidomchij naukovu-texnich. zb. — K.: KNUBA, 2011. — Vip. 87. — S. 202—206.
15. **Tyutyunik, V. V.** Sistemnij pidxid do ocinki nebezpeki zhittediyal'nosti pri teritorial'no-chasovomu rozpodili energii dzherel nadzvichajnix situacij / V. V. Tyutyunik, L. F. Chornogor, V. D. Kalugin // Problemi nadzvichajnix situacij. — X.: NUCZU, 2011. — Vip. 14. — S. 171—194.
16. **Kalugin, V. D.** Sistemnij pidxid do ocinki rizikiv nadzvichajnix situacij v Ukraїni / V. D. Kalugin, V. V. Tyutyunik, L. F. Chornogor, R.I. Shevchenko // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyx texnologij. — 2012. — 1/6 (55). — S. 59—70.