

УДК 699.8, 351.861

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОН СУММАРНОГО РИСКА ОТ СТАЦИОНАРНЫХ И ПОДВИЖНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

<sup>1</sup>Тютюник В.В., <sup>1</sup>Чапля Ю.С., <sup>1</sup>Соболь А.Н., <sup>1</sup>Калугин В.Д., <sup>2</sup>Сушко Е.А.

<sup>1</sup>Национальный университет гражданской защиты Украины, Государственная служба Украины по чрезвычайным ситуациям, Харьков, e-mail: post@nuczu.edu.ua;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет», Воронеж, e-mail: prpb@vgasu.vrn.ru

Разработка эффективных мероприятий по обеспечению: раннего мониторинга (уже на этапе разработки планов строительства потенциально опасных объектов (ПОО)); противодействия и ликвидации чрезвычайных ситуаций (катастроф) техногенного происхождения; предотвращения распространения этих катастроф и их взаимного влияния (взаимной генерации) в условиях существования взаимосвязей типа: стационарный ПОО – подвижный ПОО; подвижный ПОО – подвижный ПОО; стационарный ПОО – подвижный ПОО – стационарный ПОО; подвижный ПОО – стационарный ПОО – подвижный ПОО. Разработан математический подход для оценки уровня техногенной опасности функционирования природно-техногенно-социальной системы (ПТС системы) в условиях: случайного территориального распределения стационарных ПОО; случайных маршрутов движения (динамики местоположений) подвижных ПОО; взаимного наложения энергетических зон повышенного риска, которые радиально формируются вокруг этих объектов в результате возможного проявления чрезвычайных ситуаций (ЧС), 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

## MODELLING OF PROCESS OF FORMATION OF POWER ZONES OF TOTAL RISKS FROM STATIONARY AND MOBILE POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS

<sup>1</sup>Tyutyunik V.V., <sup>1</sup>Chaplya Y.S., <sup>1</sup>Sobol A.N., <sup>1</sup>Kalugin V.D., <sup>2</sup>Sushko E.A.

<sup>1</sup>National University of Civil Protection of Ukraine, State Emergency Service of Ukraine, Kharkiv, e-mail: post@nuczu.edu.ua;

<sup>2</sup>Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Voronezh, e-mail: u00075@vgasu.vrn.ru

Development of effective actions for providing: early monitoring (already at a development stage of construction plans of the potentially dangerous objects (PDO)); counteractions and eliminations of emergency situations (crashes) of a technogenic origin; prevention of distribution of these crashes and their mutual influence (mutual generation) in living conditions of interrelations of type: stationary PDO – mobile PDO; mobile PDO – mobile PDO; stationary PDO – mobile PDO – stationary PDO; mobile PDO – stationary PDO – mobile PDO. Mathematical approach is developed for the assessment of the level of technogenic danger of functioning of natural and technogenic and social system (PTS system) in conditions: casual territorial distribution of stationary PDO; casual routes of movement (dynamics of locations) mobile PDO; mutual imposing of power zones of the increased risk which are radially formed round these objects as a result of possible manifestation of the emergency situations connected with conflagration, explosions and other processes of fast allocation of a large amount of destroying energy.

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

В результате функционирования ПОО вокруг них формируются энергетические зоны, внутри которых существуют уровни повышенного риска для жизнедеятельности социумов ПТС системы. Случайный характер и неравномерность распределения стационарных ПОО по территории ПТС системы, а также вероятностный характер нахождения подвижных ПОО приводит к ситуациям геометрического наложения энергетических зон – образование сегментов, в которых значительно возрастает уровень риска (рис. 1).

Внутри этих зон проявляются эффекты нелинейных взаимодействий между опасными факторами различного рода ЧС [1, 2, 5, 9], вследствие чего формируются условия проявления синергетических эффектов разрушающего воздействия на режим повседневного функционирования ПТС системы от резонансной энергии ЧС.

Не ограничивая общности представлений [4, 8], в данной работе рассмотрены возможности проявления суммарного эффекта взаимодействия этих зон при оценке общего уровня техногенной нагрузки на условия жизнедеятельности ПТС системы.

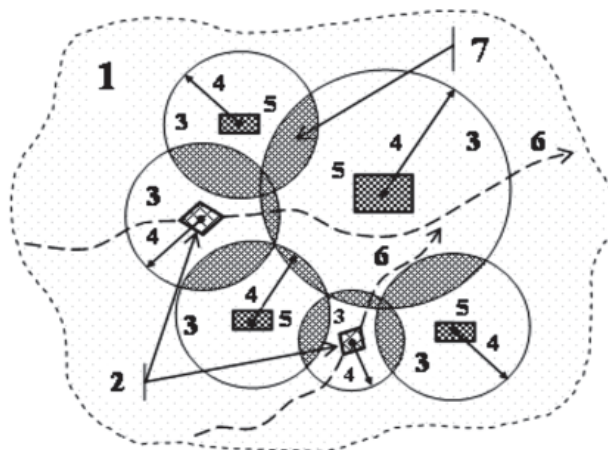


Рис. 1. Функциональная схема формирования энергетических зон повышенного риска вокруг стационарных и подвижных ПОО в виде кругов:

1 – территория размещения стационарных и подвижных ПОО; 2 – подвижные ПОО; 3 – энергетические зоны повышенного риска вокруг ПОО в процессе проявления ЧС, связанных с пожарами, взрывами и другими процессами быстрого выделения большого количества разрушающей энергии; 4 – радиусы энергетических зон повышенного риска; 5 – стационарные ПОО; 6 – трассы подвижных ПОО; 7 – зона взаимного риска от стационарных и подвижных ПОО, сформированная в процессе наложения энергетических зон повышенного риска

Математическое моделирование возможности наложения энергетических зон повышенного риска, которые формируются в виде кругов вокруг объектов в условиях существования взаимосвязей между стационарными и подвижными ПОО или – стационарными, подвижными и стационарными ПОО, выполнено в работе с учетом следующих представлений.

**1. Основы моделирования территориального наложения энергетических зон повышенного риска, которые радиально формируются вокруг стационарных и подвижных ПОО.** 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. Область может описывать территорию некоторого региона, страны и т.д. Данной области принадлежат центры кругов  $S(x_i, y_i)$  с фиксированными параметрами размещения  $(x_i, y_i) \in S_0$ ,  $i = 1, \dots, n$ , а также центры кругов  $S_j(x_j(t), y_j(t))$  с переменными параметрами размещения  $(x_j(t), y_j(t))$ ,  $j = i + 1, \dots, N$ , зависящими от времени  $t$ . Данные круги имеют радиусы  $R_i$  и  $R_j$  соответственно, приче, в общем случае  $R_i \neq R_j$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $j = i + 1, \dots, N$ ,  $R_i \neq R_k$ ,  $i \neq k$ ,  $i, k \in \{1, \dots, n\}$ ,  $R_j \neq R_\xi$ ,  $j \neq \xi$ ,  $j, \xi \in \{n + 1, \dots, N\}$ . Каждый из кругов представляет собой область возможного опасного воздействия

объекта, местоположение которого совпадает с центром соответствующего круга (как фиксированного, так и подвижного). Следует отметить, что допускается пересечение 2-х и более заданных кругов одновременно. В этой связи необходимо в любой момент времени  $t$  определить суммарную площадь пересечения  $S_p(x_p(t), y_p(t))$  кругов, где  $p = 1, \dots, N$ ,  $\forall p \in \{1, \dots, n\}$ :  $(x_p(t), y_p(t)) = (x_p, y_p)$ .

Для решения поставленной задачи необходимо в любой момент времени  $t$ , прежде всего, сформировать подмножества

$S'_q \subset \bigcup_{p=1}^N S_p$ ,  $q = 1, \dots, N_g$ , 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.  $S_p \cap S_v \neq \emptyset$ ,  $S_p \in S'_q$ ,  $S_v \in S'_q$ ,  $p \neq v$ ,  $p, v \in \{1, \dots, N\}$ . При этом допустима и следующая ситуация:  $S_p \cap S_m = \emptyset$ ,  $S_p \in S'_q$ ,  $S_m \in S'_q$ ,  $p \neq m$ ,  $p, m \in \{1, \dots, N\}$ .

Подход к формированию подмножеств  $S'_q \subset \bigcup_{p=1}^N S_p$  рассмотрен в работе [3].

**2. Определение в текущий момент времени  $t_\varphi$  ( $\varphi = 1, 2, \dots$ ) площади зоны взаимного риска от стационарных и подвижных потенциально опасных объектов.** Для определения в момент времени  $t_\varphi$  суммарной площади пересечения кругов  $S_p(x_p(t), y_p(t))$ ,  $p = 1, \dots, N$  рассмотрим следующий алгоритм.

**Шаг 1.** Если  $N_g > 0$ , то Шаг 2, иначе – Шаг 18.

**Шаг 2.**  $q = 1$  (счетчик количества подмножеств),  $S = 0$  (суммарная площадь пересечения кругов).

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

**Шаг 4.** Для  $q$ -го подмножества кругов определяем их точки пересечения  $D_c(x_{q,c}, y_{q,c})$ ,  $C = 1, \dots, N_{q,c}$  как

$$\begin{cases} x_{q,c}^2(t) + y_{q,c}^2(t) = R_p^2; \\ x_{q,c}^2(t) + y_{q,c}^2(t) = R_v^2; \end{cases} \quad (*)$$

$$p \neq v; p, v \in \{1, \dots, N\};$$

$$\forall p \in \{1, \dots, n\}: (x_p(t), y_p(t)) = (x_p, y_p);$$

$$\forall v \in \{1, \dots, n\}: (x_v(t), y_v(t)) = (x_v, y_v).$$

Пусть количество кругов, принадлежащих подмножеству  $S'_q$  равно  $N_q$ . Тогда количество систем уравнений вида (\*), которые необходимо решить для определения всех точек пересечений кругов подмножества  $S'_q$  равно  $C_{N_q}^2$ .

Если в результате решения системы (\*) точек пересечения для некоторого круга  $S_m \in S'_q$  не найдено, то  $S^{q'} = S^{q'} + \pi R_m^2$ .

**Шаг 5.** Для полученного набора точек пересечения необходимо построить выпуклую оболочку  $S''_q$ . Вычисляются параметры  $A_q$  и  $B_q$  габаритного прямоугольника для данного набора точек. В качестве начальной точки рассматривается любая точка, принадлежащая габаритному прямоугольнику. Следующий шаг – нахождение такой точки, чтобы прямая, проходящая через начальную и текущую точки, оставляла остальные точки в соответствующей полуплоскости. Таким образом, стартовой становится текущая точка, а процесс построения оболочки  $S''_q$  завершается при ее замыкании (рис. 2).

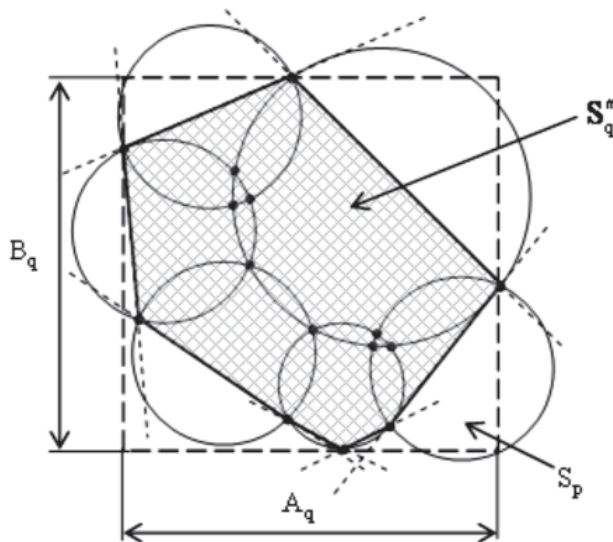


Рис. 2. Пример построения по внешним точкам пересечения в момент времени  $t_\varphi$  энергетических зон повышенного риска от стационарных и подвижных ПОО, суммарной зоны взаимного риска в виде выпуклой оболочки  $S''_q$

**Шаг 6.** Для построения границы области пересечения кругов  $S_m \in S'_q$  выбираем любую вершину  $D_f(x_{q,f}, y_{q,f})$ ,  $f \in \{1, \dots, N_{q,c}\}$

выпуклой оболочки  $S''_q$ . Направление обхода границы области пересечения кругов – против часовой стрелки.

**Шаг 7.** Записываем координаты текущей точки построения контура  $T(x_T, y_T)$ :

$$x_T = x_{q,p}, y_T = y_{q,f}$$

**Шаг 8.** Определяем набор кругов  $S_T \subset S_m$ ,  $S_m \in S'_q$ ,  $m \in \{1, \dots, N\}$ , которым принадлежит точка  $T(x_T, y_T)$ .

**Шаг 9.** Для каждого круга из  $S_T$  проводим касательные  $L_z(T) = 0$ .

**Шаг 10.** Делаем шаг длиной  $\delta_T$  по касательным вдоль их направляющих векторов, совпадающих с направлением обхода контура. Определяем координаты точек  $P_z$ . Исключаем из рассмотрения касательные, а также  $P_z$  для которых точки, находящиеся на соответствующей дуге окружности на удалении  $\delta_T$  от  $T(x_T, y_T)$ , принадлежат только одному кругу из  $S_T$ .

**Шаг 11.** Определяем точку  $P_w^*$ , для которой  $L_z(P_w^*) \geq 0$ ,  $z = 1, 2, \dots, 2$ ,  $w \in \{1, 2, \dots\}$ .

**Шаг 12.** Переходим по дуге окружности, к которой проведена касательная  $L_w(P_w) = 0$ , к ближайшей для  $T(x_T, y_T)$  точке из  $D_c(x_{q,c}, y_{q,c})$ ,  $C = \{1, \dots, N_{q,c}\}$ .

**Шаг 13.** Проверка: если граница области пересечения кругов  $S_m \in S'_q$  замкнута, то Шаг 15, иначе – Шаг 14.

**Шаг 14.**  $x_T = x_{q,c}$ ,  $y_T = y_{q,c}$ ,  $C = \{1, \dots, N_{q,c}\}$ . Шаг 8.

**Шаг 15.** Вычисляем площадь  $S^q$  области пересечения кругов  $S_m \in S'_q$  как  $S^{q'} = S^q + S^{q'}$ .

**Шаг 16.**  $S = S + S^{q'}$ .

**Шаг 17.**  $q = q + 1$ . Если  $q \leq N_g$ , то Шаг 3, иначе – Шаг 19.

**Шаг 18.**  $S = 0$ .

**Шаг 19.** Конец алгоритма.

Таким образом, реализация данного алгоритма позволит определять искомую суммарную площадь пересечения сформированных вокруг стационарных и подвижных ПОО в текущий момент времени  $t_\phi$  зон повышенного риска – кругов  $S_p(x_p(t), y_p(t))$ ,  $p \in 1, \dots, N$ ,  $\forall p \in \{1, \dots, n\}$ :  $(x_p(t), y_p(t)) = (x_p, y_p)$ .

### Выводы

1. В работе установлены критические зоны использования энергетического подхода [6, 7] для оценки суммарного уровня

опасности жизнедеятельности территории ПТС системы, с учетом:

а) случайного распределения стационарных промышленных потенциально опасных объектов;

б) случайных маршрутов движения подвижных потенциально опасных объектов;

в) возникновения вследствие функционирования между собой стационарных и подвижных потенциально опасных объектов на критических дистанциях и взаимных чрезвычайных ситуаций техногенного происхождения.

2. Разработано математическое обеспечение (подход) для оценки суммарных зон взаимного техногенного риска от сформированных вокруг стационарных и подвижных потенциально опасных объектов радиальных зон повышенного риска, обусловленных проявлениями в них чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами, взрывами и другими процессами быстрого выделения большого количества разрушающей энергии.

### Список литературы

- Гордиенко Н.Н. Использование логико-графических методов анализа риска возникновения аварийной ситуации на опасном производственном объекте / Н.Н. Гордиенко, А.В. Облиенко, Е.А. Сушко // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2010. – № 3. – С. 148–153.
- Сазонова С.А. Надежность технических систем и техногенный риск / С.А. Сазонова, С.А. Колодяжный, Е.А. Сушко. – Воронеж, 2013. – 156 с.
- Тютюник, В.В. Моделирование энергетических зон суммарного риска от стационарных потенциально опасных объектов / В.В. Тютюник, А.В. Попова, А.Н. Соболев, В.Д. Калугин, Е.А. Сушко // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2014. – № 1 (33). – С. 159–166.
- Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 414 с.
- Калугін В.Д. Оцінка сумарного впливу складових техногенного навантаження на загальний рівень небезпеки життєдіяльності території України / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // 36. наук. праць Харківського університету повітряних сил. – Х.: Харківський університет повітряних сил ім. Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 4 (37). – С. 189–197.
- 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.
- 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. – 2011. – Вип. 14. – С. 171–194.
- Черногор Л.Ф. О нелинейности в природе и науке. – Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2008. – 528 с.
- Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф. – Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2012. – 556 с.



**References**

1. Gordienko N.N., Oblienko A.V., Sushko E.A. Ispol'zovanie logiko-graficheskix metodov analiza riska voznikoveniya avarijnoj situacii na opasnom proizvodstvennom ob'ekte [Application of Logic-Graphic Methods of Analysis of Emergency Situation Risk on Hazardous Production Object] // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitel'stvo i arhitektura – Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture, 2010, no. 3, pp. 148–153.

2. Sazonova S.A., Kolodyazhnyj S.A., Sushko E.A., Nadezhnost' texnicheskix sistem i texnogenyj risk [Reliability of technical systems and technological risk]. Voronezh, 2013, 156 p.

3. Tyutyunik V.V., Popova A.V., Sobol' A.N., Kalugin V.D., Sushko E.A. Modelirovanie e'nergeticheskix zon summarnogo riska ot stacionarnyx potencial'no opasnyx ob'ektov [Modeling energy zones total risk from stationary potentially dangerous objects] // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo GASAU. Stroitel'stvo i arhitektura – Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture, 2014, no. 1 (33), pp. 159–166.

4. Xaken G. Sinergetika [Synergetics]. Moscow, Mir, 1980, 414 p.

5. Kalugin V.D., Tyutyunik V.V., Chornogor L.F., Shevchenko R.I. Ocinka summarnogo vplivu skladovix texnogenogo navantazhennya na zagal'nij riven' nebezpeki zhittediyal'nosti teritorii Ukraïni [The assessment of the cumulative impact of the components of the technogenic load on the overall level of risk of life Ukraine] // Zb. nauk. prac' Xarkivs'kogo universitetu Povitryanix Sil [Proc. of the Kharkov University of Air Forces]. X.: Xarkivs'kij universitet povitryanix sil im. Ivana Kozheduba, 2013, no. 4 (37), pp. 189–197.

6. Kalugin V.D., Tyutyunik V.V., Chornogor L.F., Shevchenko R.I. Sistemnij pidxid do ocinki rizikiv nadzvichajnix situacij v Ukraïni [A systematic approach to the assessment of the risks of emergencies in Ukraine] // Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyx tehnologij – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2012, no. 1/6 (55), pp. 59–70.

7. Tyutyunik V.V., Chornogor L.F., Kalugin V.D. Sistemnij pidxid do ocinki nebezpeki zhittediyal'nosti pri teritorial'no-chasovomu rozpodili energii dzherel nadzvichajnix situacij [A systematic approach to assessing the risk of life at geographicaly-temporal distribution of energy sources emergencies] // Problemi nadzvichajnix situacij – Problems of emergency situations, 2011, no. 14, pp. 171–194.

8. Chornogor L.F. O nelinejnosti v prirode i nauke [About nonlinearity in nature and science]. Kharkov, XNU imeni V.N. Karazina, 2008, 528 p.

9. Chornogor L.F. Fizika i e'kologiya katastrof [Physics and ecology of disasters]. Kharkov, XNU imeni V.N. Karazina, 2012, 556 p.

**Рецензенты:**

Манохин В.Я., д.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, г. Воронеж;

Мурзинов В.Л., д.т.н., доцент, профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 17.10.2014.