

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.942:504.05

О. Н. Землянський, О. Н. Мирошник, А. Н. Черненко, С. В. Куценко

### АСПЕКТЫ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРОЦЕССА МОНИТОРИНГА КОНЦЕНТРАЦИИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ АВАРИЙНОМ ВЫБРОСЕ

Черкасский институт пожарной безопасности им. Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины

**Анотація.** Розглянуто аспекти невизначеності процесу моніторингу концентрації небезпечних речовин при аварійному викиді. Доведено, що прогнозування наслідків аварій відбувається в умовах невизначеності викликані їх раптовістю і критичністю процесів прийняття рішень. Вказано на необхідність здійснення поспрогнозування або уточнення значень параметрів хімічних аварій в післяаварійний період. Запропоновано вихідні дані для прогнозування отримувати з експертних висновків із додатковим точковим вимірюванням концентрації небезпечної хімічної речовини в реперних точках, і на їх підставі здійснювати корекцію прийнятих рішень. Для визначення зони і характеру зараження використані моделі нечіткої логіки і нейромережеві технології.

**Ключові слова:** прогнозування; концентрація небезпечної хімічної речовини; зона зараження.

**Аннотация.** Рассмотрены аспекты неопределённости процесса мониторинга концентрации опасных веществ при аварийном выбросе. Доказано, что прогнозирование последствий аварий происходит в условиях неопределённости вызванной их внезапностью и критичностью процессов принятия решений. Указано на необходимость осуществления прогнозирования или уточнение значений параметров химических аварий в послеаварийный период. Предложено исходные данные для поспрогнозування получать с экспертных заключений с дополнительным точечным замером концентрации опасного химического вещества в реперных точках, и на их основании осуществлять коррекцию принимаемых решений. Для определения зоны и характера заражения использованы модели нечеткой логики и нейросетевые технологии.

**Ключевые слова:** прогнозирование; концентрация опасного химического вещества; зона заражения.

**Abstract.** Examined the uncertainty aspects of the process of monitoring of concentration of dangerous substances in case of emergency ejection. It is proved that the prediction of consequences of accidents occur in conditions of uncertainty due to their suddenness and criticality of decision-making processes. Indicated the need for the implementation of postprocesarea ABO clarification of the values of the parameters of chemical accidents in the post-accident period. Proposed baseline data for pospro is forecasting to obtain expert opinions with additional spot measurements of the concentrations of hazardous chemicals at fixed points, and on their basis to carry out the cor-the calibre of decisions. For the definition of the zone and the nature of the infection model used fuzzy logic and neural network technology.

**Keywords:** prediction; the concentration of dangerous chemical substances; the area of infection.

#### Введение

Масштабность химических аварий и их последствий определяют необходимость решения научно-технической проблемы прогнозирования концентрации опасного химического вещества (ОХВ) во всей зоне заражения. Поскольку аварии происходят, в основном, на предприятиях, производящих ОХВ, в местах их хранения или при транспортировке, то для каждого такого случая необходимо получить модели, позволяющие по начальным параметрам аварии определять поля концентрации во всей возможной зоне заражения или значение концентрации ОХВ в конкретных точках.

Прогнозирование последствий аварии происходит в условиях неопределённости, вызванной их внезапностью и критичностью процессов принятия решений. Очевидно, что нужно различать прогнозирование как оперативное, тактическое и стратегическое. В первом случае определяют масштабы аварии и предполагаемые последствия в ближайшее время (3-5 часов). Стратегическое прогнозирование призвано дать ответы на вопрос о зоне заражения, необходимость эвакуации людей, возможные убытки и действия спасательных служб. Определение времени ликвидации последствий аварии, ее влияния на окружающую среду, количественного и качественного состава технических средств составляет предмет стратегического прогнозирования. Необходимым является также поспрогнозування или уточнение значений параметров химической аварии в послеаварийный период.

#### Результаты исследования

Поскольку исходные точные значения параметров аварии неизвестны, они определяются в результате экспертных заключений. На их основании принимаются следующие решения. Очевидно, что если точность таких выводов является низкой, то и эффективность принятых решений будет невысокой. Поэтому необходимо осуществлять точечные замеры концентрации опасного вещества в реперных точках и на их основании осуществлять коррекцию принимаемых решений.

В период времени, предшествующий аварии, необходимо идентифицировать зависимость

$$C = F(P), \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация ОХВ. Вектор параметров и факторов  $P$  имеет следующую структуру:

$$P = (x_0, y_0, z_0, t_0, x, y, z, t, M, W, D, T, V, R, U), \quad (2)$$

где:  $(x_0, y_0, z_0, t_0)$  – координаты точки и времени возникновения аварии;  
 $(x, y, z, t)$  – координаты точки, в которой определяется концентрация ОХВ, и соответствующее время; другие параметры аварии являются известными константами.

Идентификация (1) осуществляется с использованием нечетких продукционных правил. Далее будет предложено несколько методов идентификации параметров (2), в зависимости от того, известны ли параметры функций принадлежности [1, 2]. Составляющими технологиями является нечеткое логическое выведение в форме Мамдани, нейронечеткие сети и эволюционное моделирование. Показано, что решение задачи постпрогнозирования заключается в решении обратной задачи (определение начальных значений параметров аварии), то есть в идентификации отображения

$$G: C(x, y, z, t) \rightarrow (x_0, y_0, z_0, t_0). \quad (3)$$

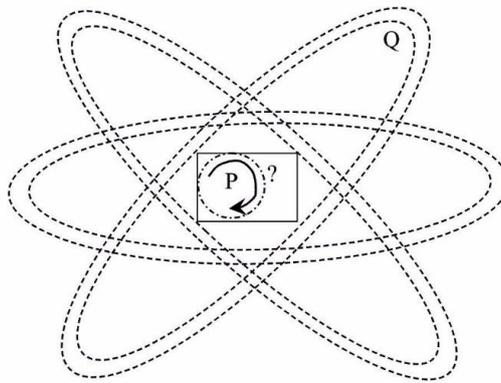


Рисунок 1 – Объект  $\Omega$  и его окружение

Рассмотрим задачи прогнозирования техногенных и экологических катастроф. При этом будем считать, что объект, который представляет потенциальный источник опасности, является недвижимым. Обозначим его  $\Omega$ , внутренние процессы объекта –  $P$ , внешние действия –  $Q$ . Таким образом, имеем некоторую информационную модель (рис. 1), на которой показано, что объект  $\Omega$  находится в сфере влияния систем различной природы, которые, в большинстве случаев, имеют иерархическую структуру.

Определим аварию ( $A$ ) как состояние некоторого объекта, при котором значения одной или нескольких характеристик превышает предельные значения, то есть

$$A = \langle S = (s_1, s_2, \dots, s_n) / \exists s_j : s_j > K_j \rangle,$$

где  $s_i, i = \overline{1, n}$  – характеристики объекта,  $K_j$  – критическое значение  $s_j$ -й характеристики;  $s_j$  – концентрация некоторого вещества, превышение которой значение  $K_j$  приводит к негативным последствиям без возможности возврата. Предположим, что значение характеристики является следствием влияния совокупности факторов  $D = (d_1, d_2, \dots, d_m)$  з  $m$  источников, на нее оказывают влияние неуправляемые факторы внешней среды  $E = (e_1, e_2, \dots, e_k)$  и осуществляет влияние человек через проведение совокупности мероприятий  $Z = (z_1, z_2, \dots, z_l)$ . Таким образом, значение  $s_j$  определяется функциональной зависимостью

$$s_j = F(D, E, Z) = F(g_1(d_1, d_2, \dots, d_m), g_2(e_1, e_2, \dots, e_k), g_3(z_1, z_2, \dots, z_l)), j = \overline{1, n}.$$

Каждая из функций  $g_i, i = \overline{1, 3}$ , имеет характерные особенности. Так, значения факторов являются исходными характеристиками предприятий (источников потенциальной опасности) и являются функциями их внутреннего состояния и входных параметров. Предполагая устойчивую динамику функционирования предприятий, значение  $d_i, i = \overline{1, m}$ , можно прогнозировать. Если информация о его функциониро-



деляются экспертами. Б. Коско было показано, что системой (8) можно как угодно точно приблизить любую непрерывную функцию, если консеквент является аддитивным выражением [8]. Так, если имеет место логический вывод в форме Сугено, то выражение  $K_j \in B_j^d$  приобретает вид  $K_j = z_1^j + z_2^j + \dots + z_{w1}^j$ , где  $z_i^j$  – концентрация опасного вещества, полученной с  $i$ -го источника. Очевидно, что решаемая задача с физическим содержанием не может быть приведенной к виду, где рациональным было бы применение нечеткого логического вывода в форме Сугено [9].

Лучше всего поставленной задаче соответствует нечеткое логическое выведение в форме Мамдани. Его рационально использовать в случае небольшого количества нечетких продукционных правил и возможности дефазифицировать полученные развязки. Приведем его основные шаги [2].

Для простоты предположим, что базу знаний организуют два нечетких правила вида:

$P_1$  : если  $x \in A_1$  і  $y \in B_1$ , то  $Z \in C_1$ ,

$P_2$  : если  $x \in A_2$  і  $y \in B_2$  то  $Z \in C_2$ .

*Шаг 1.* Находим степени истинности  $A_1(x_0)$ ,  $A_2(x_0)$ ,  $B_1(y_0)$ ,  $B_2(y_0)$ .

*Шаг 2.* Находим уровни “отсечения” для предпосылок каждого из правил

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0),$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0).$$

*Шаг 3.* Находим функции принадлежности

$$C_1'(Z) = (\alpha_1 \wedge C_1(Z)),$$

$$C_2'(Z) = (\alpha_2 \wedge C_2(Z)).$$

*Шаг 4.* Выполняем объединение найденных функций и находим результирующее нечеткое множество для переменной выхода с функцией принадлежности

$$\mu_\theta(Z) = C(Z) = C_1'(z) \vee C_2'(Z) = (\alpha_1 \wedge C_1(Z)) \vee (\alpha_2 \wedge C_2(Z)).$$

*Шаг 5.* Выполняем дефазификацию, например по методу центра тяжести и находим четкое значение

ние  $Z_0 = \frac{\int_{\underline{z}}^{\bar{z}} z \mu_\theta(z) dz}{\int_{\underline{z}}^{\bar{z}} \mu_\theta(z) dz}$ , где интервал  $[\underline{z}, \bar{z}]$  является носителем функции принадлежности.

Таким образом, система (8) позволяет осуществить прогнозирование и сценарный анализ, поскольку, подставляя значения параметров  $(q_1^0, q_2^0, \dots, q_m^0)$  в (8), определим искомое значение концентрации  $K_j^0$  опасного вещества. Система (8) отражает опыт одного эксперта и результат, получаемый с ее использованием, часто является смещенным, таким, что представляет интерес только для предварительного заключения. Для объективизации результатов прогнозирования (8) может быть обобщен. В таком случае система выражений типа (8) представляет заключения коллектива экспертов.

Еще одним аспектом аварий и катастроф является то, что во многих случаях процессы, к ним приводящие, развиваются во времени. Существуют такие моменты времени, после которых катастрофа становится неизбежной. Как пример, достаточно представить концентрацию вредных веществ в воде. До определенного уровня она считается допустимой, но превышение этого уровня становится катастрофой и причиной человеческих жертв. В то же время такие процессы непросто остановить, поскольку даже при прекращении опасного производства рост концентрации вредных веществ какое-то время продолжается. В связи с этим рационально учитывать общие положения теории катастроф [10]. Динамика соответствующего процесса представлена на рис. 2.

Точками обозначены следующие события:  $A$  – концентрация ОХВ достигла опасного уровня и необходимо проводить мероприятия по ее уменьшению;  $B$  – точка, предшествующий катастрофе, поскольку в момент времени  $t_B$  катастрофу остановить, в большинстве случаев, невозможно вследствие инерционности процесса роста концентрации опасного вещества;  $C$  – точка катастрофы, после которой рост концентрации вещества имеет форму квадратичной или экспоненциальной зависимости.

Осуществляя формирование базы данных и идентификацию зависимости (8), необходимо учитывать то, что процессы на участках  $(0, t_A)$ ,  $(t_A, t_B)$ ,  $(t_B, t_C)$ ,  $(t_C, \dots)$  имеют размытый характер. Учет соответствующих особенностей и опыта экспертов, сконцентрированного в функциях принадлежности си-

стемы (8), позволит осуществлять управляющие действия с целью предотвращения катастроф. Заметим, что технологии решения задач первого типа, то есть прогнозирование аварий и катастроф, в современной научной литературе почти отсутствуют.

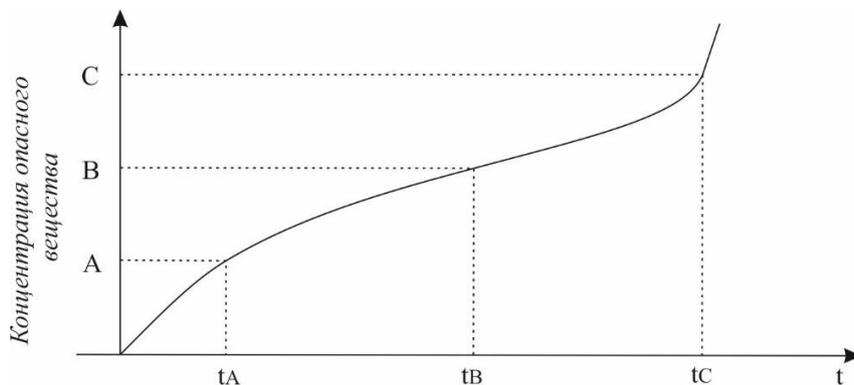


Рисунок 2 – Динамика концентрации опасного вещества

В отличие от них, задачи определения масштабов аварий или катастроф, расчета зоны возможного заражения широко представлены различного рода методиками. В то же время отметим, что они ориентированы на расчет размеров и площади зоны заражения, времени подхода облака зараженного воздуха к определенному объекту, времени поражающего действия и возможных потерь, исходя из таблиц, содержащих значения разного рода поправочных коэффициентов. Известно, что зона химического заражения рассчитывается, исходя из схемы (рис. 3).

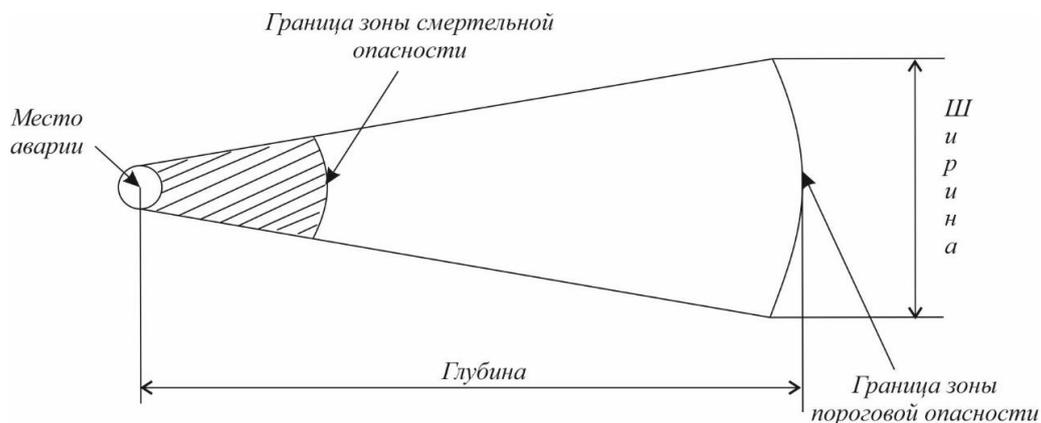


Рисунок 3 – Зона химического заражения

Все методики расчетов основаны на этой схеме. В большинстве практических ситуаций соответствующие результаты не будут отражать реальное послеаварийное состояние. Это связано с неполным учетом факторов, влияющих на концентрацию опасных веществ, в частности, рельеф местности и его характер могут быть причиной увеличения или уменьшения концентрации. Еще одной причиной является смена характера погодных условий и характера аварии. В таком случае получим схему (рис. 4), использование которой позволит уточнить результаты предыдущих расчетов (на схеме рис. 3).

Рис. 4 является всего лишь примерной схемой для определения последствий аварии. Можно предложить два способа определения концентрации опасного вещества в данной зоне. Первый из них базируется на идентификации зависимости

$$K_j = F_j(x, \varphi, P, Q), \quad (9)$$

где  $x$  и  $\varphi$  – полярные координаты точки, в которой определяем концентрацию, внутренние факторы интегрируют в себе показатели, связанные с объектом и местом аварии,  $Q$  – факторы внешнего воздействия (погодные условия, рельеф и т. п.). Задавая значения указанных параметров, с помощью (9) можно рассчитать значение концентрации опасного вещества в любой точке. Второй способ заключается в ин-

теграции экспертных оценок с помощью системы (8). Нечеткие множества, которые присутствуют в (8), позволяют учесть размытость границ как зоны смертельной опасности, так и пороговой зоны опасности.

Построение моделей (8) и (9) необходимо осуществлять в пассивном режиме, то есть тогда, когда ни аварий, ни катастроф нет. Для этого необходима ретроспективная информация, которая содержит или параметры аварий, что уже произошли, или оценки экспертов. Очевидно, что такие данные не «покрывают» всю область заражения, поэтому получить и (8) и (9) можно с помощью обучения и, как следствие, интерполированием или экстраполированием. По результатам предварительного анализа моделей идентификации определено, что для модели (9) оптимальным представлением является прямосвязная нейронная сеть, а для моделей типа (8) – нейронечеткие сети типа TSK или ANFIS [11, 12, 13]. Выбор той или иной нейросетевой архитектуры определяется типом исходных данных, предполагаемых результатов и задачи.

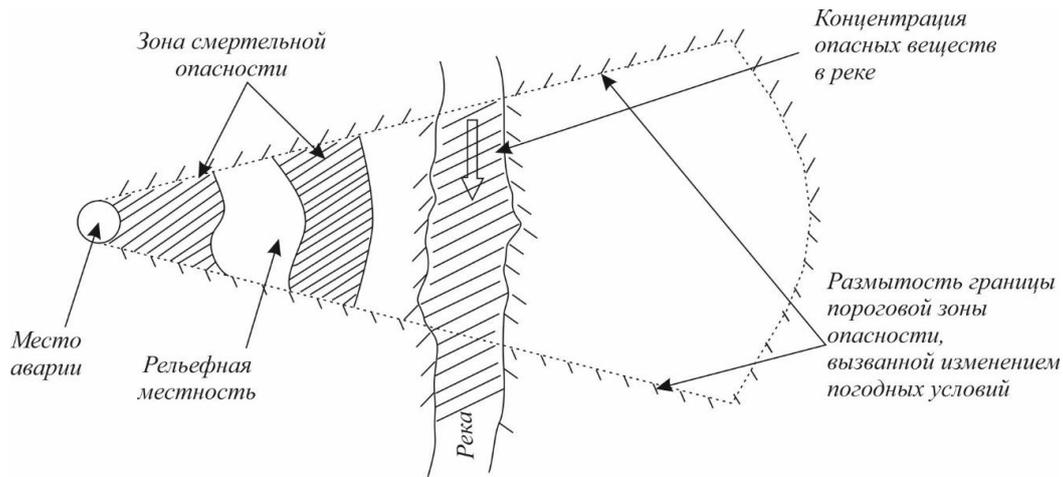


Рисунок 4 – Уточненная зона химического загрязнения

### Выводы

Таким образом в статье рассмотрены аспекты неопределённости процесса мониторинга концентрации опасных веществ при аварийном выбросе. Доказано, что решить задачи третьего класса («послеаварийные задачи») можно с помощью полученных результатов предварительно решенных задач. При этом нужно использовать Марковский принцип – «Будущее зависит от настоящего времени и не зависит от прошлого». В частности, определение концентрации опасного вещества в воздухе, почве или в воде зависит от ее начального значения сразу же после аварии, или, в отдельных случаях, от того, какого максимального значения достиг уровень концентрации вещества после аварии.

Прогнозирование значений параметров зоны и характера заражения, может быть осуществлено с помощью моделей нечеткой логики и нейросетевых технологий. Исходные данные для прогнозирования можно получать с экспертных заключений с дополнительным точечным замером концентрации опасного химического вещества в реперных точках. На основании последних – осуществлять коррекцию принимаемых решений.

### Список литературы

1. Байдык Т. Н. Нейронные сети и задачи искусственного интеллекта / Т. Н. Байдык. – К.: Наук. думка, 2001. – 260 с.
2. Снитюк В. Е. Прогнозирование. Модели, методы, алгоритмы / В. Е. Снитюк. – К.: Маклаут, 2008. – 364 с.
3. Барсегян А. А. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А.А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.
4. Землянський О.Н. Елементи теорії прогнозування надзвичайних ситуацій в умовах неопределенності / О.Н. Землянський // Матеріали V між. школи-семинара «Теорія прийняття рішень». – Ужгород: УжНУ, 2010. – С. 102.
5. Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing / James C. Bezdek (et al). – Springer Science+Business Media, Inc. – 2005. – 776 p.
6. Землянський О. Н. Аспекти неопределенності процесу прогнозування концентрації небезпечних хімічних речовин після аварії / О. Н. Землянський // Матеріали 15-й між. научн.-техн. конф.:

- «Системный анализ и информационные технологии» – К.: УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2013. – С.111.
7. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А.Н. Аверкин, И.З. Батыршин, А. Ф. Блишун [и др.]; Под ред. Д.А. Поспелова. - М.: Наука, 1986. - 311 с.
  8. Kranenburg C. Fluid Mech. / C. Kranenburg. – 1984. – № 145. – P. 253-273.
  9. Takagi T. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control / T. Takagi, M. Sugeno // IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics. – 1985. – Vol. 15. – P. 116-132.
  10. Арнольд В. И. Теория катастроф / В.И. Арнольд. – М.: Физматлит, 1990. – 128 с.
  11. Зайченко Ю. П. Исследование эффективности нечеткой нейронной сети ANFIS в задачах макроэкономического прогнозирования / Ю. П. Зайченко, Ф. Севае // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2005. – № 1. – С. 100–112.
  12. Землянский О.Н. Прогнозирование и мониторинг предаварийного развития процессов / О.Н. Землянский / Матеріали III міжн. наук.-практ. конф. «Системний аналіз. Інформатика. Управління» САІУ-2012. – Запоріжжя: КПУ, 2012. – С. 119-120.
  13. Назаров А.В. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем / А. В. Назаров, А. И. Лоскутов. – СПб.: Наука и Техника. – 2003. – 384 с.
- Статья получена: 21.11.16.

#### Информация об авторах

**Землянский Олег Николаевич** — к. т. н., доцент кафедры автоматических систем безопасности и электроустановок, Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины, ул. Оноприенко, 8, м. Черкассы.

**Мирошник Олег Николаевич** — к. т. н., доцент, доцент кафедры пожарной тактики и аварийно-спасательных работ, Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины, ул. Оноприенко, 8, м. Черкассы.

**Черненко Александр Николаевич** — к. м. н., доцент, доцент кафедры организации мероприятий гражданской защиты, Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины, ул. Оноприенко, 8, м. Черкассы.

**Куценко Станислав Васильевич** — к. т. н., доцент, начальник кафедры автоматических систем безопасности и электроустановок, Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины, ул. Оноприенко, 8, м. Черкассы.