

УДК 004.89

И.В. Шостак, В.О. Давиденко

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАСШТАБОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ НА ОСНОВЕ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

В статье проводится обзор проблемы определения масштабов распространения опасных химических веществ в атмосфере различными информационно-аналитическими системами (ИАС). Обоснована целесообразность внедрения блока мониторинга в ИАС, предоставляющего данные для построения более точной картины распределения концентраций. Сформулирована задача определения масштабов распространения опасных химических веществ и разработан решающий ее метод, основанный на регрессионном анализе данных мониторинга. Проведен анализ регрессионных функций и определена оптимальная функция.

**Ключевые слова:** мониторинг, первичная обработка информации, чрезвычайная ситуация, информационно-аналитическая система, регрессионный анализ.

### Введение

В настоящее время во всем мире наблюдается тенденция к учащению случаев возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера, в частности, связанных с распространением опасных химических веществ (ОХВ) в атмосфере [1]. В этом случае достаточно высокий приоритет имеют мероприятия по эвакуации населения из зоны ЧС. Вместе с тем, эффективность проведения данных мероприятий зависит в значительной мере от прогнозируемого состояния окружающей среды в зоне ЧС. Существует множество аналитических моделей, реализованных в зарубежных (напр., [4]) и отечественных (напр., модель ОНД-86, методика расчета [3], УИАС ЧС [2]) информационно-аналитических системах (ИАС), описывающих распределение ОХВ в атмосфере. Перечисленные выше модели и ИАС дают лишь приближенную картину распределения концентраций ОХВ из-за упрощения, введения дополнительных ограничений в аналитику моделей ввиду отсутствия возможности учета большого количества параметров окружающей среды, а также недостаточной эффективностью современных вычислительных средств производить оперативные точные расчеты, учитывающие постоянно изменяющиеся условия окружающей среды. Непременным атрибутом подобных вышеперечисленных систем является блок мониторинга, предоставляющего данные о состоянии окружающей среды.

В силу указанных выше обстоятельств является целесообразным внедрение системы мониторинга, ведущей постоянный контроль в зоне ЧС. Эта система представляет собой сеть газоанализаторов (стационарного и переносного типа) с набором датчиков, производящих замеры уровней концентраций ОХВ и передачу значений в цифровом виде в центры первичной обработки информации (ЦПОИ). В ЦПОИ происходит обработка данных, полученных с системы мониторинга, и последующее уточнение общей картины распре-

ления уровней концентраций ОХВ в зоне ЧС. Вместе с тем, остается нерешенной задача разработки информационной технологии, предполагающей первичную и дальнейшую обработку данных мониторинга.

Таким образом, **целью статьи** является описание метода коррекции значений концентраций, спрогнозированных аналитической моделью, на основании данных мониторинга путем применения регрессионного анализа.

### Основной материал

#### 1. Постановка задачи определения масштабов распространения ОХВ в атмосфере

Необходимо скорректировать значения концентраций, полученных в результате применения аналитической модели, руководствуясь данными, полученными с датчиков газоанализаторов, расположенных в зоне ЧС. Размещения датчиков и тип аналитической модели не являются предметом рассмотрения в данной статье.

*Дано:*

1. Поле приближенных значений концентраций, полученных путем применения аналитической модели –  $C$ ,  $C = \{c_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , где  $n$  – количество рассматриваемых значений концентраций (рассматриваются не все концентрации поля, а только в областях вокруг газоанализаторов с радиусом  $r$ ).

2. Массив значений показателей системы мониторинга – в данном случае показания датчиков газоанализаторов –  $C_a$ ,  $C_a = \{c_{a_j}\}$ ,  $j = \overline{1, k}$ , где  $k$  – количество показаний датчиков газоанализаторов.

*Необходимо получить:*

Значения рассматриваемого поля концентраций, скорректированных на основании данных, снятых с датчиков газоанализаторов  $C' = \{c'_i\}$ .

$$C' = f(C, C_a). \quad (1)$$

**2. Предлагаемый способ решения**

Решение поставленной задачи базируется на идее зависимости уровня изменения концентрации в области вокруг газоанализатора от разности показания датчиков газоанализатора и прогнозируемым значением концентрации в точке расположения газоанализатора. Для поиска же данной зависимости (1) целесообразно воспользоваться регрессионным анализом – методом моделирования измеряемых данных и исследования их свойств [5]. Регрессионная модель для данного вида задачи представима в виде:

$$y = \text{regress}(w, x) + v, \tag{2}$$

где  $\text{regress}()$  – функция регрессионной зависимости;  $w$  – параметры модели ( $w \in R$ );  $x$  – аргумент регрессионной функции (элемент входящей выборки);  $y$  – зависимая величина (элемент выходящих значений);  $v$  – дополнительная случайная величина с нулевым математическим ожиданием.

Для коррекции концентраций регрессионная модель имеет вид:

$$\text{delta}_i = \text{regress}(\cdot) + v, \tag{3}$$

где  $\text{delta}_i$  – разность истинной концентрации и концентрации, полученной аналитической моделью в точке коррекции  $i = \overline{1, n}$ ;  $\text{regress}(\cdot)$  – функция регрессии.

Исследуются несколько видов регрессионных функций ( $\text{dist}$  – расстояние от газоанализатора до точки коррекции;  $\text{deltaA}$  – разность показания датчиков газоанализатора и уровнем концентрации, полученном путем применения аналитической модели;  $u$  – значение скорости ветра по оси  $x$ ;  $v$  – значение скорости ветра по оси  $y$ ):

$$1. \text{regress}(\cdot) = w_1 \text{dist} + w_2 \text{deltaA} + v, \tag{4}$$

$$2. \text{regress}(\cdot) = w_1 \text{dist} + w_2 \text{deltaA} + w_3 \text{dist} \times \text{deltaA} + w_4 \text{dist}^2 + w_5 \text{deltaA}^2 + v; \tag{5}$$

$$3. \text{regress}(\cdot) = w_1 \text{dist} + w_2 \text{deltaA} + w_3 u + w_4 v + v, \tag{6}$$

$$4. \text{regress}(\cdot) = w_1 \text{dist} + w_2 \text{deltaA} + w_3 u + w_4 v + w_5 \text{dist} \cdot \text{deltaA} + w_6 \text{dist}^2 + w_7 \text{deltaA}^2 + w_8 u^2 + w_9 v^2 + w_{10} u \cdot \text{dist} + w_{11} v \cdot \text{dist} + w_{12} uv + w_{13} u \cdot \text{deltaA} + w_{14} v \cdot \text{deltaA} + v. \tag{7}$$

**3. Подготовка данных**

*Этап 1* – получение данных аналитической модели.

Для проведения анализа функций регрессии предварительно была построена тестовая модель распространения хлора в воздухе при помощи средства моделирования сложных физических процессов Comsol Multiphysics 3.5 (рис. 1). Для этого были использованы следующие модели:

1.  $k-\epsilon$  модель турбулентности – основана на решении уравнений сохранения: турбулентной кинетической энергии и скорости рассеяния турбулентной энергии. Общий вид модели:

$$\rho \frac{\partial U}{\partial t} - \nabla \cdot \left[ \left( \eta + \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \right) (\nabla U + (\nabla U)^T) \right] + \rho U \nabla U + \nabla P = F. \tag{8}$$

2. Модель конвекции и диффузии ( $c_A$ -концентрация):

$$\nabla(-D \nabla c_A) = R - u \nabla c_A. \tag{9}$$

В результате был получен список картин распределения концентраций по временной шкале от 0 до 100 условных временных единиц, сохраненный в различных файлах.

*Этап 2* – анализ данных аналитики и показаний датчиков газоанализаторов и создание файлов для дальнейшей обработки в среде MatLab.

**4. Построение регрессионных моделей**

Исследование и проверка регрессионных моделей производится в среде MatLab 7.1 путем использования встроенной функции линейной регрессии [6]:

$$b = \text{regress}(y, X), \tag{10}$$

где  $X$  – вектор входящих параметров;  $y$  – зависимая от вектора  $X$  переменная;  $b$  – вектор весов.

Пример части кода системы MatLab для построения модели (6) приведен на рис. 2.

**5. Полученные результаты**

Результаты исследования различных функций регрессии помещены в табл. 1.

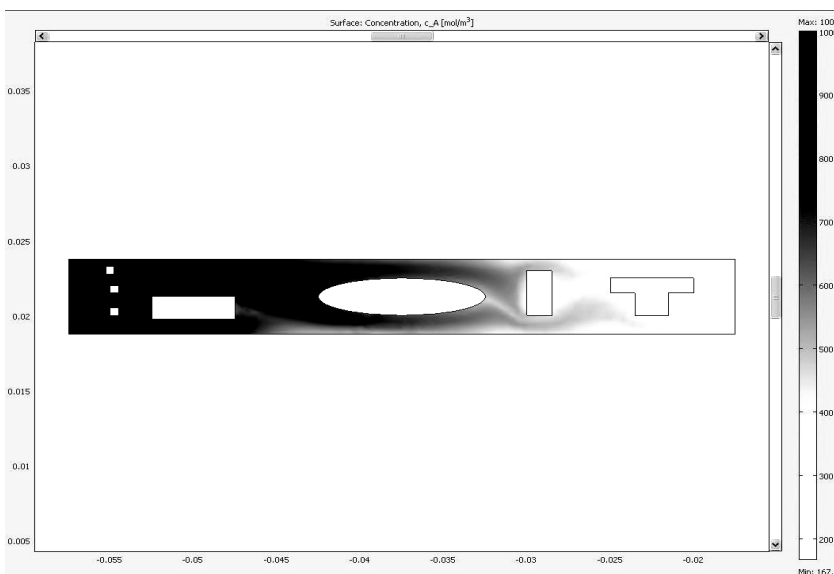


Рис. 1. Пример картины распределения концентраций в момент времени  $T=100$  (смоделировано в программе Comsol Multiphysics 3.5)

## Результати дослідження

№	Исследуемая функция регрессии	Ошибка
1	$\text{regress}(\cdot) = w_1 \text{dist} + w_2 \text{deltaA} + v$	0.405
2	$\text{regress}(\cdot) = w_1 \text{dist} + w_2 \text{deltaA} + w_3 \text{dist} * \text{deltaA} + w_4 \text{dist}^2 + w_5 \text{deltaA}^2 + v$	0.367
3	$\text{regress}(\cdot) = w_1 \text{dist} + w_2 \text{deltaA} + w_3 u + w_4 v + v$	0.338
4	$\text{regress}(\cdot) = w_1 \text{dist} + w_2 \text{deltaA} + w_3 u + w_4 v + w_5 \text{dist} * \text{deltaA} + w_6 \text{dist}^2 + w_7 \text{deltaA}^2 + w_8 u^2 + w_9 v^2 + w_{10} u * \text{dist} + w_{11} v * \text{dist} + w_{12} uv + w_{13} u * \text{deltaA} + w_{14} v * \text{deltaA} + v$	0.329

```
% model 1
modelX1 = [ones(size(x1)) x1 x2 x1.*x2 x1.*x1.*x2];
modelB1 = regress(y,modelX1);
modelY1 = modelB1(1) + modelB1(2)*x1 +
modelB1(3)*x2 + modelB1(4)*x1.*x2 +
modelB1(5)*x1.*x1 + modelB1(6)*x2.*x2;
r = y-modelY1; % найти вектор регресси-
онных остатков
SSE = r*r % подсчитать ошибку
```

Рис. 2. Пример части кода MatLab

**Выводы**

1. Проведен обзор проблемы определения масштабов распространения опасных химических веществ в атмосфере различными ИАС. Обоснована целесообразность внедрения блока мониторинга, предоставляющего данные в ЦПОИ для повышения точности картины распространений ОХВ.
2. Сформирована постановка задачи определения масштабов распространения ОХВ.
3. Разработан метод решения поставленной задачи на основе применения регрессионного анализа.
4. Проведен анализ возможных регрессионных функций с целью нахождения оптимальной последовательности действий для поиска уточняющих параметров для значений концентраций в зоне ЧС и определена оптимальная функция.

**МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МАСШТАБІВ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ НА ОСНОВІ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ**

І.В. Шостак, В.О. Давиденко

У статті проводиться огляд проблеми виявлення масштабів розповсюдження небезпечних хімічних речовин (НХР) в атмосфері різними інформаційно-аналітичними системами (ІАС). Обґрунтовано доцільність впровадження блоку моніторингу в ІАС, який надає дані для побудови точнішої картини розподілення концентрацій НХР. Сформовано задачу виявлення масштабів розповсюдження НХР та розроблено метод, що її вирішує, який заснований на регресивному аналізі даних моніторингу. Проведено аналіз регресійних функцій та визначена оптимальна.

**Ключові слова:** моніторинг, первинна обробка інформації, надзвичайна ситуація, інформаційно-аналітична система, регресійний аналіз.

**METHOD FOR DETERMINING THE SCOPE OF HAZARDOUS CHEMICALS IN THE ATMOSPHERE BASED ON REGRESSION ANALYSIS**

I.V. Shostak, V.O. Davidenko

The article reviews the problems of determining the prevalence of hazardous chemicals in the atmosphere of various information-analytical system (IAS). The expediency of the introduction of the monitoring unit in the IAS, which provides data for building a more accurate picture of the distribution of concentrations. The problem of determining the prevalence of hazardous chemicals and developed her critical method based on regression analysis of monitoring data. The analysis of regression functions and determined the optimal function.

**Keywords:** monitoring, primary processing of information, emergency, information and analytical system, regression analysis.

**Список литературы**

1. Дзюндзюк Б.В. Катастрофы и чрезвычайные ситуации / Б.В. Дзюндзюк, А.И. Хяньникяйнен, В.Б. Швед. – Х.: Форт, 1998. – 120 с.
2. Про Програму створення Урядової інформаційно-аналітичної системи з питань надзвичайних ситуацій на 1995 рік: постановлення Кабінета Міністрів України от 7 апреля 1995г. № 250// – 1995.
3. Про затвердження Методики прогнозування наслідків виліву (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті: приказ Кабінета Міністрів України от 10 апреля 2001 г. №N 326/5517// – 2001.
4. PRIO (replaces Swedish Chemicals Agency's Observation) – шведское программное обеспечение, разработанное для превентивного уменьшения рисков поражения населения вредными веществами. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: [http://www.kemi.se/templates/PRIOEngframes\\_4144.aspx](http://www.kemi.se/templates/PRIOEngframes_4144.aspx).
5. Вучков И. Прикладной линейный регрессионный анализ / И. Вучков, Л. Бояджиева, Е. Солаков. – М.: Финансы и статистика, 1987.
6. Документація до програмного продукту MatLab 7.1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: 3 електрон. опт. диска (CD-ROM): кольор.; 12 см. – Назва з титул. екрану.

Поступила в редколлегию 15.10.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Н. Рудницький, Черкасский государственный технологический университет, Черкассы.