

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ОТ ГРУППЫ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

**В.В. Фалько, Л.Д. Пляцук, В.А. Долодаренко\*, А.В. Артамонова\*\***  
Сумский государственный университет, г. Сумы;

\*Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины,  
г. Днепропетровск

\*\*Национальный университет кораблестроения им. адм.Макарова,  
г. Николаев

*В статье получены математические зависимости для прогнозной оценки составляющей экологического риска от группы точечных источников, загрязняющих атмосферу веществ. Полученные результаты предназначены для использования на начальных этапах проектирования предприятий, имеющих группу точечных источников выбросов.*

### ВВЕДЕНИЕ

Проблема прогнозной оценки составляющей экологического риска для человека, обусловленного загрязнением атмосферного воздуха выбросами точечного источника, имеет практическое значение для оценки воздействия на окружающую среду и рассмотрена в работах [1-7]. В заданной точке местности, примыкающей к источнику, составляющая экологического риска определяется как вероятность превышения в наихудших условиях хотя бы одной концентрацией загрязняющих веществ своей максимальной разовой предельно допустимой концентрации (ПДК<sub>мр</sub>) [1,2]. На множестве точек местности значения величины вероятности образуют поле составляющей экологического риска в окрестности источника. Для определения риска на базе известного детерминированного решения дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих распространение загрязняющих веществ в атмосферном воздухе [8,9], разработаны стохастические модели поля концентраций различной точности. В заданной точке местности каждая из моделей представлена как система случайных величин концентраций. Определив плотность распределения такой системы, искомая вероятность (риск) определяется через известный интеграл вероятности. В работе [1] с использованием метода линеаризации получена приближенная аналитическая математическая модель формализованной задачи, а в работе [3] – алгоритм ее решения. Алгоритм рекомендовано использовать на начальных этапах проектирования предприятий, имеющих рассмотренный источник выбросов загрязняющих веществ. Аналогичная задача возникает при рассмотрении группы точечных источников. Решение ее является целью настоящей статьи.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В задаче считаются заданными:

– положение на местности  $k = \overline{1, p}$  точечных источников выбросов; их проектные параметры, влияющие на приземные концентрации  $j$ -ых ( $j = \overline{1, n}$ ) загрязняющих веществ  $C_j$ , которые рассматриваются как независимые случайные возмущающие факторы с заданными плотностями распределения ( $H_k$ ,  $m$  – высота  $k$ -го источника над уровнем земли;  $M_{jk}$  – масса  $j$ -го загрязняющего вещества, выбрасываемого в

атмосферу в единицу времени  $k$ -ым источником;  $D_k$ , м – диаметр устья  $k$ -го источника (для прямоугольного устья  $L_k$ , м – длина устья,  $b_k$ , м – ширина устья);  $\omega_{ok}$  – средняя скорость выхода газовой смеси из устья  $k$ -го источника выброса (для прямоугольного устья  $V_{1k}$ , м.<sup>3</sup>/с – объем газовой смеси, выбрасываемой в атмосферу);  $T_{Гk}$ , °С – температура выбрасываемой  $k$ -м источником газовой смеси;  $F_{jk}$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания в атмосферном воздухе  $j$ -х загрязняющих веществ от  $k$ -го источника, который зависит от выбранных проектантом веществ, участвующих в технологическом процессе производства;  $\Delta C_{jk}$  – прогнозная погрешность определения приземных концентраций вредных веществ от  $k$ -го источника;  $x_{ku}^A, y_{ku}^A, z_{ku}^A$  – координаты положения точки  $A$ , в которой производится прогнозное определение составляющей экологического риска, относительно  $k$ -го источника по осям  $x_{ku}, y_{ku}, z_{ku}$  выбранной системы координат;

– перечень загрязняющих веществ  $j = \overline{1, n}$ , выбрасываемых всеми источниками, и их характеристики:  $ПДК_{MRj}$ , наличие или отсутствие группы суммации вредного воздействия на человека;

– характеристики внешней среды, влияющие на приземные концентрации загрязняющих веществ и рассматриваемые как независимые случайные возмущающие факторы с заданными плотностями распределения ( $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;  $\eta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности;  $T_B$ , °С – температура окружающего атмосферного воздуха;  $u$ , м/с и  $\varphi$ , рад – произвольные величина скорости ветра и её направление с наветренной от источников стороны;  $\Delta C_{\phi j}$  – фоновая концентрация  $j$ -го загрязняющего вещества);

– детерминированная зависимость приземных концентраций загрязняющих веществ от проектных параметров источника выброса и характеристик внешней среды [9].

Необходимо выполнить прогнозную оценку составляющей экологического риска для человека от выбросов загрязняющих веществ группой точечных источников в заданной точке местности  $A$ .

#### МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Введём правую прямоугольную земную систему координат с началом  $O$ , расположенным так, что площадка предприятия с рассматриваемой группой источников выбросов и точкой  $A$  будет лежать в правом верхнем квадранте. Оси  $Ox$  и  $Oy$  лежат в горизонтальной плоскости в точке  $O$ . Ось  $Ox$  направлена на Север. Ось  $Oy$  перпендикулярна к оси  $Ox$  и направлена на Восток. Ось  $Oz$  дополняет систему до правой. Положение оснований  $k = \overline{1, p}$  источников в этой системе будем определять через координаты  $x_k, y_k, z_k$ . Положение точки  $A$ , в которой определяются концентрации выбрасываемых источниками загрязняющих веществ и

искомая составляющая экологического риска, определяется координатами  $x_A, y_A, z_A$ .

Введем также правую прямоугольную ветровую систему координат с началами  $O_{ku}$ ,  $k = \overline{1, p}$ , расположенными в основаниях источников выбросов. Оси  $O_{ku}x_{ku}$ ,  $k = \overline{1, p}$  направлены по вектору скорости ветра. Оси  $O_{ku}y_{ku}$ ,  $k = \overline{1, p}$  перпендикулярны к соответствующим осям  $O_{ku}x_{ku}$  и направлены вправо, если смотреть по направлению оси  $O_{ku}x_{ku}$ . При этом координатные плоскости  $O_{ku}x_{ku}y_{ku}$ ,  $k = \overline{1, p}$  параллельны горизонтальной плоскости земной системы координат. Оси  $O_{ku}z_{ku}$ ,  $k = \overline{1, p}$  дополняют систему до правой.

Ветровые системы координат связаны с земной системой через параллельный перенос начала координат  $O$  в точки  $O_{ku}$ ,  $k = \overline{1, p}$  и поворот перенесённой системы координат в плоскости  $O_{ku}x_{ku}y_{ku}$  на угол  $\varphi$ , равный углу между направлением скорости ветра и направлением на Север. Он отсчитывается против часовой стрелки. Тогда координаты точки  $A$  в ветровых системах координат будут [10]:

$$\begin{aligned} y_{ku}^A &= (y_A - y_k) \cos \varphi + (x_A - x_k) \sin \varphi, \\ x_{ku}^A &= (y_A - y_k) \sin \varphi + (x_A - x_k) \cos \varphi, \\ z_{ku}^A &= z_A - z_k. \end{aligned} \quad (1)$$

По этим координатам в соответствии с [1,3–5] может быть определена составляющая экологического риска от одиночного  $k$ -го точечного источника.

При прогнозной оценке составляющей экологического риска от группы точечных источников  $k = \overline{1, p}$  учтём, что в рассматриваемой точке  $A$  концентрации загрязняющих веществ от различных источников арифметически суммируются, т.е. прогнозная концентрация  $C_j^A$  в точке  $A$  будет [9]:

$$C_j^A = \sum_{k=1}^p C_{jk}^A, \quad (2)$$

где  $C_{jk}^A$  – концентрации  $j$ -го загрязняющего вещества от  $k$ -го источника.

Обозначим возмущающие факторы (проектные параметры и характеристики внешней среды) для  $k$ -го источника через  $\lambda_{jk}$  ( $i = \overline{1, m}$  число возмущающих факторов). Часть возмущающих факторов (они будут первыми) являются общими для всех источников,  $k = \overline{1, p}$ . Это величины:  $\lambda_{1k} = A$ ,  $\lambda_{2k} = F_{jk}$ ,  $\lambda_{3k} = T_B$ ,  $\lambda_{4k} = u$ ,  $\lambda_{5k} = \varphi$ . Поэтому они определяют корреляционную связь между концентрациями загрязняющих веществ от различных источников. Остальные возмущающие факторы (от 6-го до  $m$ -го) для каждого источника будут свои. Обозначим также первые частные производные концентрации  $j$ -го загрязняющего вещества от  $k$ -го источника по возмущающим факторам

$\lambda_{jk}$  в виде  $\frac{\partial C_{jk}}{\partial \lambda_{ik}}$  (они могут быть получены по заданным в исходных данных соответствующим зависимостям [4,5]).

Тогда, учитывая, что:

– суммарная концентрация  $C_j^A$   $j$ -го загрязняющего вещества в точке  $A$  (2) является линейной функцией концентраций  $C_{jk}$ ,

– концентрация  $C_{jk}$  в рассматриваемом приближенном решении задачи методом линеаризации [11] является линейной функцией независимых случайных возмущающих факторов  $\lambda_{ik}$ ,  $i = \overline{1, m}$ ,

– коэффициент корреляции между одной и той же случайной величиной равен 1 [11],

– множество концентраций загрязняющих веществ в точке  $A$   $C_j^A$ ,  $j = \overline{1, n}$  является системой случайных величин [11],

можно получить следующие формулы для определения основных числовых характеристик случайного разброса концентраций в точке  $A$ :

а) математические ожидания

$$C_j^{*A} = \sum_{k=1}^p C_{jk}^*, \quad j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где  $C_{jk}^*$  – математические ожидания концентраций загрязняющих веществ ( $j = \overline{1, n}$ ) от  $k$ -го источника [1];

б) среднеквадратические отклонения:

$$\sigma_j^A = \sqrt{A + B}, \quad (4)$$

$$A = \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial C_{jk}}{\partial \lambda_{ik}} \right)^2 \sigma_{\lambda_{ik}}^2,$$

$$B = \sum_{k < f}^p \sum_{i=1}^5 \frac{\partial C_{jk}}{\partial \lambda_{ik}} \cdot \frac{\partial C_{fk}}{\partial \lambda_{ik}} \cdot \sigma_{\lambda_{ik}}^2,$$

$$j = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, p}, \quad f = \overline{1, p},$$

где  $\sigma_{\lambda_{ik}}$  – среднеквадратические отклонения случайных возмущающих факторов;

в) корреляционные моменты  $K_{jf}$  и коэффициенты корреляции  $r_{jf}$

$$K_{jf} = \sum_{i=1}^5 \left[ \sum_{k=1}^p \frac{\partial C_{kj}}{\partial \lambda_i} \cdot \frac{\partial C_{kf}}{\partial \lambda_i} \cdot \sigma_{\lambda_i}^2 + \sum_{k < m} \left( \frac{\partial C_{kj}}{\partial \lambda_i} \cdot \frac{\partial C_{mf}}{\partial \lambda_i} + \frac{\partial C_{mj}}{\partial \lambda_i} \cdot \frac{\partial C_{kf}}{\partial \lambda_i} \cdot \sigma_{\lambda_i}^2 \right) \right],$$

$$j = \overline{1, n}, \quad f = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, p}, \quad m = \overline{1, p}, \quad i = \overline{1, 5}. \quad (5)$$

$$r_{jf} = \frac{K_{jf}}{\sigma_j \cdot \sigma_f} \quad (6)$$

Пологая, как и для точечного источника выбросов, что система концентраций загрязняющих веществ в точке  $A$  подчиняется многомерному нормальному закону  $f$  [11], составляющую экологического риска для произвольной скорости ветра получим по формуле

$$\alpha = \int_{\text{ПДК}_1}^{\infty} \dots \int_{\text{ПДК}_n}^{\infty} f \cdot dC_1^A \cdot dC_2^A \dots dC_n^A. \quad (7)$$

Здесь подинтегральная функция  $f$  зависит от величины  $u$  и направления  $\varphi$  скорости. Прогнозная составляющая экологического риска (как и концентраций [9]) определяется для опасных значений этих величин, при которых  $\alpha$  (7) достигает наибольшего значения. Тогда прогнозное значение риска  $\alpha$  может быть получено с использованием численных методов поиска максимального значения  $\alpha$  по переменным  $u$  и  $\varphi$ .

При большом значении  $n$  вычисление интеграла (7) может производиться в соответствии с рекомендациями, изложенными в [1].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье получены математические зависимости для прогнозной оценки составляющей экологического риска от группы точечных источников загрязняющих атмосферу веществ. Полученные результаты предназначены для использования на начальных этапах проектирования предприятий, имеющих группу точечных источников выбросов.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку с использованием полученных зависимостей алгоритма и программы для решения задачи ЭВМ.

### SUMMARY

#### DETERMINATION OF THE ECOLOGICAL RISK COMPONENT FROM THE GROUP OF POINT SOURCES

*Faliko V.V., Plyatsuk L.D., Dolodarenko V.A.\*, Artamonova A.V.\*\**

*Sumy State University, Sumy;*

*\*The Institute of Nature Management and Ecology of National Academy of Science of Ukraine, Dnepropetrovsk;*

*\*\*National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov, Nikolayev*

*The Problem forecast estimations forming ecological risk for person, which's caused by soiling the atmospheric air surge point source, has practical importance for estimation of the influence on surrounding ambience. In given point to terrain, verging to the source, forming ecological risk is defined as probability of the excess in the worst condition at least one concentration polluting material to its maximum single at most possible concentration (PDK<sub>MR</sub>). Earlier with use the method to linearizations is received drawn near analytical mathematical model of the determination forming ecological risk and algorithm of its decision. The Similar problem appears at groups of the point sources. Mathematical dependencies are received In article for прогнозної of the estimation forming ecological risk from group of the point sources polluting atmosphere material. The Got results are intended for use on initial stage of the designing enterprise, having group of the point sources surge.*

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Применение методов системного анализа, аэродинамики приземного слоя и теории надежности для оценки экологического риска / В.В. Фалько, А.В. Артамонова, В.А. Долодаренко и др. // *Екологія і природокористування*. – 2003. – №6. – С. 194-199.

2. Разработка стохастической математической модели загрязнений атмосферного воздуха с использованием метода статистических испытаний и ее применение для оценки экологического риска. /В.В. Фалько, А.В. Артамонова, В.А. Долодаренко и др. / *Екологія і природокористування*. – 2003. - №5. – С.231-236.
3. Артамонова А.В., Долодаренко В.А., Фалько В.В. Разработка алгоритма определения составляющей экологического риска от точечного источника выбросов //Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми виробництва та споживання екологічно чистої продукції»(ЕП-2005). – Суми, 24-27 травня 2005 р. – С.63-65.
4. Артамонова О.А., Артемонова А.В., Долодаренко В.А., Фалько В.В. Влияние случайных возмущающих факторов внешней среды на концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий химической промышленности//*Вісник Дніпропетровського національного університету*. – 2006. – №8. – С.140-150.
5. Артамонова А.В., Долодаренко В.А., Фалько В.В.Зависимость числовых характеристик плотности распределения поля концентраций вредных веществ от случайного разброса проектных параметров точечного источника выбросов //Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету. – Суми: Вид-во СумДУ, 2006.-С.44-47.
6. Фалько В.В. Алгоритм компьютерной технологии определения составляющей экологического риска для человека от точечного источника выбросов // *Вісник Сумського державного університету*. – 2005.-№21.-С.66-76.
7. Фалько В.В., Долодаренко В.А. Задача оценки для человека составляющей экологического риска от точечного источника выбросов // *Вісник Сумського державного університету*. – 2006. – №5(89). – С.138-142.
8. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 272 с.
9. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 94 с.
10. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике.-М.:Наука,1966. – 872с.
11. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 6-е изд. – М.: Высш.школа, 1998. – 576 с.

**Фалько В.В.**; ведущий специалист;  
**Пляцук Л.Д.** д-р техн. наук, профессор;  
**Долодаренко В.А.**, канд. техн. наук;  
**Артамонова А.В.**, магистр

*Поступила в редакцию 8 февраля 2008 г.*