

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ПЛОЩАДНОГО ИСТОЧНИКА ВЫБРОСОВ

В. В. Благодатный, канд. техн. наук, доц.¹;
В. В. Фалько, канд. техн. наук²;
В. Ю. Зинченко, магистрант²

¹ *Национальный университет кораблестроения, г. Николаев*

² *Сумской государственной университет, г. Сумы*

Аннотация. Разработана стохастическая математическая модель оценки экологического риска для человека от выбросов в атмосферу загрязняющих веществ площадным источником при ветре, направленном перпендикулярно одной из его сторон.

Ключевые слова: экологический риск, оценка, площадной источник, характеристики внешней среды, загрязнение атмосферы, математическая модель.

Анотація. Розроблено стохастичну математичну модель оцінки екологічного ризику для людини від викидів забруднюючих речовин в атмосферу площовим джерелом при вітрі, направленому перпендикулярно до однієї з його сторін.

Ключові слова: екологічний ризик, оцінка, площове джерело, характеристики зовнішнього середовища, забруднення атмосфери, математична модель.

Abstract. The stochastic mathematical model of estimation of ecological risk is developed for a man from emissions of contaminants into the atmosphere by an area source under wind conditions, directed athwart to one of its sides.

Keywords: ecological risk, estimation, area source, environmental characteristics, air pollution, mathematical model.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одной из важнейших задач при проведении оценки воздействия на окружающую среду проектируемых предприятий является прогноз экологического риска, связанного с их деятельностью [5]. К наиболее существенным факторам экологического риска относится загрязнение атмосферного воздуха [1, 6]. Ключевым аспектом риск-анализа промышленных объектов является количественная оценка опасности на основе моделирования переноса вредных веществ от источника к реципиенту. Данная проблема относится к наиболее сложным на современном этапе развития науки и решается с помощью различных подходов.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ПУБЛИКАЦИЙ

В работах [9, 10] на основании анализа экологической системы, природного и антропогенного воздействия на ее составляющие (атмосферу, литосферу и гидросферу) экологический риск рассматривается как вероятность того, что указанное воздействие будет превышать защищенность биологической системы. Особое внимание было уделено определению экологического риска вследствие загрязнения атмосферы точечным источником (выбросами из дымовой трубы). Величина экологического риска в наихудших условиях в течение 20–30-минутного интервала времени принималась равной вероятности превышения концентрацией C_j , $j = 1, n_1$, хотя бы одного выбрасы-

ваемого загрязняющего вещества своей максимальной разовой предельно допустимой концентрации ПДК_{мрj} для населенных мест [8]:

$$\alpha = \int_{\text{ПДК}_{\text{мр}1}}^{\infty} \dots \int_{\text{ПДК}_{\text{мр}n_1}}^{\infty} f(c_1, c_2, \dots, c_{n_1}) dc_1 \cdot dc_2 \dots dc_{n_1}, \quad (1)$$

где f – плотность распределения концентраций загрязняющих веществ в некоторой точке A , обусловленная случайным разбросом проектных параметров источника выбросов и характеристик внешней среды λ_k (возмущающих факторов). Для предварительного этапа проектирования предприятий разработаны линеаризованная модель задачи и алгоритм ее решения [9, 11], позволяющие определить риск α (1). Вместе с тем аналогичная задача для площадного источника выбросов не рассматривалась.

ЦЕЛЬЮ СТАТЬИ является разработка математической модели определения экологического риска для площадного источника выбросов.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

При рассмотрении площадного источника выделяют два случая направления ветра: произвольное и перпендикулярное одной из сторон источника [1, 6]. В первом случае площадной источник представляется в виде совокупности N равномерно распределенных одиночных точечных источников. Характеристики их определяются согласно правилам, приведенным в [1, 6]. В этом случае следует использовать оценку

экологического риска в соответствии с материалами [7], разработанными для группы точечных источников.

Рассмотрим второй случай [6]. Считается заданным площадной источник прямоугольной формы со сторонами L_1 и L_2 соответственно поперек и вдоль направления ветра. Начало прямоугольных координат Ox совпадает с серединой наветренной стороны. Ось Ox направлена по ветру, ось Oy перпендикулярна ей и направлена вправо, если смотреть по ветру. Такой площадной источник является результатом представления совокупности большого числа однотипных точечных источников (труб печного отопления, резервуарных полей и пр.) при достаточно равномерном распределении их по площади и при условии близости таких заданных параметров выброса, как высота H , м, диаметр D , м, устья источников, температура T_p , °C, и скорость w_0 , м/с, выхода газовой смеси из устья источников [1, 6]. Заданы также полный массовый секундный выброс M_j , г/с, $j = 1, n_1$, загрязняющего j -го вещества от площадного источника; безразмерный коэффициент F_j , $j = 1, n_1$, учитывающий скорость оседания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе; погрешность ΔC_j , мг/м³, $j = 1, n_1$, прогнозирования концентрации C_j j -го загрязняющего вещества; координаты x_A , y_A точки A (границы санитарной защитной или жилой зоны и т. п.), в которой необходимо получить решение задачи.

Приведенные характеристики являются проектными параметрами источника.

Считаются также заданными характеристики внешней среды [1, 6]: A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы; η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности; T_b – температура окружающего атмосферного воздуха, °C; u , φ – величина, м/с, и направление, рад, скорости ветра соответственно; $C_{\phi j}$ – фоновая концентрация j -го загрязняющего вещества, мг/м³.

Проектные параметры и характеристики внешней среды считаются случайными независимыми величинами λ_k , $k = \overline{1, m_1}$, подчиненными нормальному закону распределения [3], с заданными числовыми характеристиками: математическими ожиданиями λ_k^* и среднеквадратическими отклонениями σ_k , $k = \overline{1, m_1}$.

Известны также детерминированные зависимости концентрации загрязняющих веществ C_j , $j = 1, n_1$, от проектных параметров площадного источника и характеристик внешней среды [1, 6]:

$$C_j = C_{mj}'' B_j + C_{\phi j} + \Delta C_j. \quad (2)$$

Здесь C_{mj}'' – максимальная концентрация от одиночного точечного источника, которая имела бы место в том случае, если бы его выбросы равнялись полному выбросу M_j от площадного источника:

$$C_{mj}'' = \frac{AM_j F_j m n \eta}{H^2 \sqrt[3]{\frac{\pi D^2}{4} w_0 (T_p - T_b)}}, \quad (3)$$

где m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газа(пыле)воздушной смеси из устья источника.

Коэффициент B_j имеет вид [1, 6]

$$B_j = (g_7 \cdot a_1 + g_8 \cdot a_2) \cdot 1/L', \quad (4)$$

где $a_1 = s_7(g_1, g_5) - s_7(g_1 - g_3, g_5)$;

$$a_2 = s_7(g_1, g_6) - s_7(g_1 - g_3, g_6);$$

$$g_1 = x/x_{mj}'', \quad g_2 = y/x_{mj}'', \quad g_3 = L_2/x_{mj}'', \quad g_4 = L'/x_{mj}'';$$

$$g_5 = 1/u_{mj}'' (2g_2 + g_4)^2 = x_{mj}''/u_m'' (2y + L')^2;$$

$$g_6 = 1/u_m'' (2g_2 - g_4)^2 = x_{mj}''/u_m'' (2y - L')^2; \quad (4a)$$

$$g_7 = 1 + 2g_2/g_4 = 1 + 2y/L';$$

$$g_8 = 1 - 2g_2/g_4 = 1 - 2y/L';$$

$$g_1 - g_3 = (x - L_2)/x_{mj}''.$$

В (4) x_{mj}'' – расстояние от одиночного точечного источника, на котором при опасной скорости ветра $u_m = u_m''$ достигается максимальная концентрация [1, 6]; безразмерный коэффициент $s_7(g_1, g_5)$ в зависимости от аргументов g_1 и g_5 определяется по графической зависимости, приведенной в [6]; L' – меньшее из значений x и L_2 .

Заданы также максимальные разовые предельно допустимые концентрации ПДК_{мпj} j -х ($j = 1, n_1$) загрязняющих веществ для населенных мест.

Необходимо определить экологический риск α (1) от площадного источника выбросов n_1 ($j = 1, n_1$) загрязняющих веществ при направлении ветра, перпендикулярном одной из сторон источника.

Для решения задачи следует определить плотность f распределения концентраций C_j , $j = 1, n_1$, загрязняющих веществ в заданной точке A , примыкающей к площадному источнику, а также искомый риск α через интеграл (1). С этой целью установим стохастическую математическую модель закономерностей изменения концентраций.

Концентрации C_j , $j = 1, n_1$, в наихудших условиях в течение 20–30-минутного интервала времени образуют случайное поле в зависимости от координат x , y . Оно характеризуется математическим ожиданием (среднее значение) C_j^* , $j = \overline{1, n_1}$, и случайным разбросом относительно математического ожидания, обусловленным случайным разбросом проектных параметров и характеристик внешней среды λ_k . В соответствии со стохастическим подходом [9, 10] в каждой точке местности, ввиду незначительной величины

рассматриваемого промежутка времени, поле концентраций может быть представлено как система зависимых случайных величин или как векторная случайная величина $(C_1, C_2, \dots, C_{n_1})$.

Тогда при известных нормальных законах распределения возмущающих факторов в соответствии с (2) можно определить закон распределения этой системы случайных величин и плотность распределения f . Для этого зависимость (2) будем рассматривать как функцию случайных аргументов λ_k [3]. Разложив ее в ряд Тейлора и ограничившись, вследствие малости случайных отклонений аргументов, влиянием только линейных членов, которые зависят от первых частных производных концентраций по возмущающим факторам, величину (2) представим как линейную функцию случайных аргументов λ_k .

Если аргументы λ_k подчиняются нормальному закону, то такая функция также подчиняется нормальному закону [3]. Тогда система случайных величин $C_j, j = 1, n_1$, образует n_1 -мерное нормальное распределение со следующими числовыми характеристиками [2, 3]:

– математические ожидания, определяемые по (2) при $\lambda_k = \lambda_k^*$,

$$C_j^* = C_j(\lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_{m_1}^*); \quad (5)$$

– среднеквадратические отклонения

$$\sigma_j = \sqrt{\sum_{k=1}^{k_1} \left(\frac{\partial C_j^*}{\partial \lambda_{kj}} \sigma_{\lambda_{kj}} \right)^2 + \sum_{k=k_1+1}^{m_1} \left(\frac{\partial C_j^*}{\partial \lambda_k} \sigma_{\lambda_k} \right)^2}; \quad (6)$$

– корреляционные моменты K_{jp} и коэффициенты корреляции r_{jp} между концентрациями j -го и p -го загрязняющих веществ

$$K_{jp} = \sum_{k=k_1+1}^{m_1} \frac{\partial C_j^*}{\partial \lambda_k} \frac{\partial C_p^*}{\partial \lambda_k} \sigma_{\lambda_k}^2; \quad r_{jp} = \frac{K_{jp}}{\sigma_j \sigma_p}. \quad (7)$$

Здесь k_1 – число первых возмущающих факторов λ_{kj} , зависящих от вида загрязняющего вещества ($M_j, F_j, \Delta C_j, C_{\Phi j}$); $\partial C_j^* / \partial \lambda_{kj}, \partial C_j^* / \partial \lambda_k$ – первые частные производные концентрации C_j соответственно по возмущающим факторам λ_{kj}, λ_k в точках $\lambda_{kj}^*, \lambda_k^*, k = 1, m_1$.

Производные $\partial C_j^* / \partial \lambda_{kj}$ и $\partial C_j^* / \partial \lambda_k$ находим, проинтегрировав (2). Производные $\partial C_j^* / \partial C_{\Phi j}$

и $\partial C_j^* / \partial \Delta C_j$ равны единице. Для остальных возмущающих факторов получаем

$$\frac{\partial C_j^*}{\partial \lambda_k} = \frac{\partial C_{mj}^*}{\partial \lambda_k} B_j^* + \frac{\partial B_j^*}{\partial \lambda_k} C_{mj}^*. \quad (8)$$

Производные $\partial C_{mj}^* / \partial \lambda_k$ для точечного источника получены в публикациях [4, 12, 13]. В них следует учитывать, что коэффициенты r, S_1, S_2 при рассмотрении площадного источника отсутствуют. Производ-

ные во втором слагаемом (8) для $\lambda_k = H, F_j, D, T_r, T_b$ можно получить в виде

$$\frac{\partial B}{\partial \lambda_k} = 1/2L' \cdot \frac{\partial x_{mj}^*}{\partial \lambda_k} \left(A_1 + \frac{\partial g_5}{\partial x_{mj}^*} \cdot g_7 \cdot b_5 - \frac{\partial (g_1 - g_3)}{\partial x_{mj}^*} \cdot A_1 + \frac{\partial g_6}{\partial x_{mj}^*} \cdot g_8 c_2 \right),$$

где

$$\frac{\partial g_1}{\partial x_{mj}^*} = -x/x_{mj}^*; \quad \frac{\partial g_5}{\partial x_{mj}^*} = 2x_{mj}^*/u_m(2y + L')^2; \quad (9)$$

$$\frac{\partial (g_1 - g_3)}{\partial x_{mj}^*} = -(x - L_2)/x_{mj}^*;$$

$$\frac{\partial g_6}{\partial x_{mj}^*} = 2x_{mj}^*/u_m(2y - L')^2;$$

$$A_1 = \frac{\partial g_1}{\partial x_{mj}^*} \left(g_7 \frac{\partial S_7}{\partial t_1} \Big|_{g_1, g_5} + g_8 \frac{\partial S_7}{\partial t_1} \Big|_{g_1, g_6} \right). \quad (9a)$$

Здесь производные $\partial S_7 / \partial t_1 |_{t_1, t_2}$ и $\partial S_7 / \partial t_2 |_{t_1, t_2}$ в соответствующих точках t_1, t_2 определяются численно по графическим зависимостям, указанным выше.

Производная $\partial x_{mj}^* / \partial \lambda_k$ определяет влияние возмущающих факторов H, F_j, D, w_0, T_r, T_b и имеет общий вид

$$\frac{\partial x_{mj}^*}{\partial \lambda_k} = 0,25(5 - F_j) H a_{kj}, \quad (10)$$

где $a_{kj} = d/H + \partial d / \partial H$ при $\lambda_k = H$;

$$a_{kj} = d/5 - F_j \quad \text{при } \lambda_k = F_j; \quad (10a)$$

$$a_{kj} = \partial d / \partial \lambda_k \quad \text{при } \lambda_k = D, w_0, T_r, T_b.$$

Безразмерный коэффициент d определяется по формулам, приведенным в ОНД-86 [6], и зависит от следующих параметров:

$$f = 1000 \frac{w_0 D}{H^2} (T_r - T_b);$$

$$\vartheta_m = 0,65 \sqrt{0,25 \pi D^2 w_0 \frac{(T_r - T_b)}{H}}; \quad (11)$$

$$\vartheta'_m = 1,3 w_0 \frac{D}{H}, \quad f_e = 800 (\vartheta'_m)^3.$$

Учитывая это, значение производных $\partial d / \partial \lambda_k$, входящих в формулу (10a), можно получить в таком виде:

$$\frac{\partial d}{\partial \lambda_k} = \sum_{i=1}^4 \frac{\partial d}{\partial \xi_i} \frac{\partial \xi_i}{\partial \lambda_k}, \quad (12)$$

$$\xi_1 = \vartheta_m; \quad \xi_2 = f, \quad \xi_3 = \vartheta'_m, \quad \xi_4 = f_e.$$

Входящие в правую часть (12) производные определяются в соответствии с данными таблиц 1 и 2.

Таблица 1. Производные $\partial d/\xi_i$

Диапазоны параметров ϑ_m для $f < 100$	$\partial d/\partial \vartheta_m$	$\partial d/\partial f$	$\partial d/\partial \vartheta'_m$	$\partial d/\partial f_e$
$\vartheta_m \leq 0,5$	0	0	0	$0,232 (f_e^2)^{-1/3}$
$0,5 < \vartheta_m \leq 2$	d/ϑ_m	$0,462 \vartheta_m f^{-2/3}$	0	0
$\vartheta_m > 2$	$d/2\vartheta_m$	$0,653 \sqrt{\vartheta_m} f^{-2/3}$	0	0

Примечание. При $f \geq 100$ или $T_r - T_b \approx 0$ все производные равны 0, кроме $\partial d/\partial \vartheta_m = 11,4$ при $0,5 < \vartheta_m \leq 2$; $\partial d/\partial \vartheta'_m = 0,5d\vartheta'_m^{-1}$ при $\vartheta'_m > 2$.

Таблица 2. Производные $\partial \xi_i/\partial \lambda_k$

λ_k	$\partial \vartheta_m/\partial \lambda_k$	$\partial f/\partial \lambda_k$	$\partial \vartheta'_m/\partial \lambda_k$	$\partial f_e/\partial \lambda_k$
H	$-\vartheta_m/3H$	$-2f/H$	$-\vartheta'_m/H$	$-3f_e/H$
D	$2\vartheta_m/3D$	f/D	ϑ'_m/D	$3f_e/D$
w_0	$\vartheta_m/3w_0$	$2f/w_0$	ϑ'_m/w_0	$3f_e/w_0$
T_r	$\vartheta_m/3(T_r - T_b)$	$-f/(T_r - T_b)$	0	0
T_b	$-\vartheta_m/3(T_r - T_b)$	$f/(T_r - T_b)$	0	0

Величина производной $\partial B/\partial x$ имеет вид

– при $x < L_2$

$$\partial B/\partial x = 1/x(B + a + b + c), \quad (13)$$

где с учетом приведенных в (9а) величин b_2 и c_2

$$a = -\frac{2(a_1 + a_2)y}{x}; \quad b = g_7 \left(\frac{b_1}{x''_{mj}} + \frac{2b_2 g_5}{(2y + x)} \right);$$

$$b_1 = \frac{\partial S_7}{\partial t_1} |g_1, g_5 - \frac{\partial S_7}{\partial t_1} |g_1 - g_3, g_5;$$

$$c = g_7 \left[\frac{c_1}{x''_{mj}} + \frac{2g_6 c_2}{(2y - x)} \right];$$

$$c_1 = \frac{\partial S_7}{\partial t_1} |g_1, g_6 - \frac{\partial S_7}{\partial t_1} |g_1 - g_3, g_6; \quad (13a)$$

– при $x \geq L_2$

$$\partial B/\partial x = (g_7 b_1 + g_8 c_1)/x''_{mj} L'. \quad (14)$$

Для производной $\partial B/\partial y$ можно получить

$$\partial B/\partial y = 2/L' \cdot [a_1 - a_2 - 2(g_5 b_2 + g_6 c_2)]. \quad (15)$$

Производная $\partial B/\partial L_2$ имеет вид

$$\frac{\partial B}{\partial L_2} = \frac{1}{L' x''_{mj}} \left(g_7 \frac{\partial S_7}{\partial t_1} |g_1 - g_3, g_5 + g_8 \frac{\partial S_7}{\partial t_1} |g_1 - g_3, g_6 \right). \quad (16)$$

Поскольку величина L' является меньшей из x и L_2 , то производная для нее будет иметь вид

$$\frac{\partial B}{\partial L'} = \frac{\partial B}{\partial x} \text{ при } x \leq L_2; \quad \frac{\partial B}{\partial L'} = \frac{\partial B}{\partial L_2} \text{ при } x > L_2. \quad (17)$$

Интеграл уравнения (1) для определения суммарного экологического риска от загрязнения атмосферного воздуха всеми загрязняющими веществами определяется как

$$\alpha = 1 - \left[\mu F(h_{j\min}) + (1 - \mu) \prod_{j=1}^n F(h_j) \right]. \quad (18)$$

Безразмерные величины для каждого загрязняющего вещества рассчитываются по формулам

$$h_j = \frac{C_j^{\Gamma\text{ДК}} - \bar{C}_j}{\sigma_j}, \quad j = \overline{1, n}; \quad h_{j\min} = \min_j h_j, \quad j = \overline{1, n}; \quad (19)$$

$$\mu = \frac{1}{\pi n(n-1)} \sum_j \sum_p \arcsin r_{jp}, \quad j \neq p.$$

Для каждого отдельного вещества

$$\alpha_j = 1 - F(h_j), \quad (20)$$

где $F(h_j)$ – одномерная нормальная функция распределения:

$$F(h_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{h_j} \exp\left(-\frac{h_j^2}{2}\right) dh_j, \quad j = \overline{1, n}. \quad (21)$$

ВЫВОДЫ

Разработана математическая модель расчета экологического риска для площадных источников выбросов загрязняющих веществ, включающая зависимости (1)–(21), производные $\partial C_{mj}'' / \partial \lambda_k$ для точечного источника [4, 12, 13] и данные ОНД–86 [6].

Такая модель позволяет определить экологический риск для человека от выбросов прямоугольного площадного источника при ветре, направлен-

ном перпендикулярно одной из сторон источника L_1 или L_2 .

При большом числе загрязняющих веществ n_1 вычисление интеграла (1) целесообразно производить в соответствии с рекомендациями, изложенными в [9].

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку на основе полученной математической модели алгоритма и программы решения задачи на ЭВМ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы [Текст] / М. Е. Берлянд. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 272 с.
- [2] Вентцель, Е. С. Теория вероятностей (задачи и упражнения) [Текст] / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М. : Наука, ФМЛ, 1973. – 198 с.
- [3] Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] : учебник / Е. С. Вентцель. – 6-е изд. – М. : Высш. школа, 1998. – 576 с.
- [4] Влияние случайных возмущающих факторов внешней среды на концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий химической промышленности [Текст] / О. А. Артамонова, А. В. Артамонова [и др.] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту. – 2006. – № 8. – С. 140–150.
- [5] ДБН А.2.2. - 1 – 2003. Склад і вміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд [Текст]. – К. : Держкомбударх, Мінекобезпеки України. – 2003. – 19 с.
- [6] ОНД–86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий [Текст]. – Л. : Гидрометеоиздат, 1987. – 94 с.
- [7] Определение составляющей экологического риска от группы точечных источников [Текст] / В. В. Фалько, Л. Д. Пляцук, В. А. Долодаренко, А. В. Артамонова // Вісник Сум. держ. ун-ту. – 2008. – № 2. – С. 110–115.
- [8] Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочные безопасные уровни воздействия загрязняющих веществ (ОБУВ) в атмосферном воздухе населенных мест [Текст]. – Донецк : Укр. НТЭК, 1998. – 139 с.
- [9] Применение методов системного анализа, аэродинамики приземного слоя и теории надежности для оценки экологического риска [Текст] / А. В. Артамонова, В. А. Долодаренко [и др.] // Екологія і природокористування. – 2003. – № 6. – С. 194–199.
- [10] Применение системной методологии для оценки величины экологического риска [Текст] / А. В. Артамонова [и др.] // Системні технології : регіон. міжвуз. зб. наук. праць. – Д., 2003. – Вип. 4(27). – С. 94–98.
- [11] Фалько, В. В. Алгоритм прогнозной оценки составляющей экологического риска для человека от точечного источника выбросов / В. В. Фалько // Вісник Сум. нац. аграр. ун-ту. Сер. «Механізація та автоматизація виробничих процесів». – 2008. – № 2(18). – С. 149–156.
- [12] Фалько, В. В. Влияние случайных изменений геометрических проектных параметров точечного источника выбросов загрязняющих веществ на их концентрации в атмосферном воздухе / В. В. Фалько, Л. Д. Пляцук // Вісник Кременчуцького держ. політехн. ун-ту. – 2007. – № 5(46). – Ч. 1. – С. 158–162.
- [13] Фалько, В. В. Зависимость числовых характеристик плотностей распределения поля концентраций вредных веществ от случайного разброса проектных параметров точечного источника [Текст] / В. В. Фалько, А. В. Артамонова, В. А. Долодаренко : наук.-техн. конф. викл., співроб., асп. і студ. інж. ф-ту СумДУ. – Суми, 2006. – С. 44–47.

© В. В. Благодатний, В. В. Фалько, В. Ю. Зінченко

Надійшла до редколегії 05.04.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії Вісника НУК
д-р техн. наук, проф. М. І. Радченко

Статтю розміщено у Віснику НУК № 2, 2013