

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ РИСКА ПРЕВЫШЕНИЯ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГОРОДА

Разработана стохастическая математическая модель изменения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ на городских постах измерений. Концентрации представлены в виде системы случайных величин, многомерная плотность которой определена по результатам статистической обработки данных измерений. С использованием этой модели определен экологический риск как вероятность превышения хотя бы одной концентрацией своего среднесуточного предельно допустимого значения.

Розроблена стохастична математична модель зміни середньодобових концентрацій забруднюючих речовин на міських постах вимірювань. Концентрації представлені у вигляді системи випадкових величин, багатовимірної щільності якої визначена за результатами статистичної обробки даних вимірювань. З використанням цієї моделі визначено екологічний ризик як ймовірність перевищення хоча б однією концентрацією свого середньодобового гранично допустимого значення.

Developed a stochastic mathematical model of the variation of daily average concentrations of pollutants on urban stations measurements. The concentrations presented in the form of a system of random variables, multivariate density of which is determined by the results of statistical processing of measurement data. Using this model identifiable environmental risk as a probability of exceedance of daily average concentrations the maximum permissible values.

**Введение.** В работах [1-3] получены стохастические (вероятностные) математические модели распространения загрязнений от стационарных точечных источников выбросов. Они являются как прогнозными [1-3], так и опытными, использующими данные подфакельных измерений [3], и предназначены для применения в автоматизированной системе экологического мониторинга предприятия. С использованием этих моделей разработаны методики (алгоритмы) прогнозной и опытной оценки экологического риска от загрязнения атмосферы.

Поле  $n$  концентраций  $C_j(x, y)$ ,  $j = \overline{1, n}$ , в окрестности источников выбросов в заданной точке местности с координатами  $x, y$  представлено в виде системы случайных величин (векторной случайной величины [4]) с некоторой многомерной плотностью распределения  $f(C_1, C_2, \dots, C_n)$ . Суммарный экологический риск  $\alpha$  от нормально (штатно) функционирующих источников выбросов рассматривается как интеграл вероятности превышения хотя бы одной концентрацией загрязняющих веществ (ЗВ) своей нормативной максимальной разовой предельно допустимой концентрации ПДК<sub>мрj</sub>,  $j = \overline{1, n}$

$$\alpha = \int_{\text{ПДК}_{\text{мр}1}}^{\infty} \dots \int_{\text{ПДК}_{\text{мр}n}}^{\infty} f \cdot n(C_1, C_2, \dots, C_n) dC_1 dC_2 \dots dC_n \quad (1)$$

Экологический риск от отдельных  $j$ -тых ЗВ характеризуется интегралом вероятности превышения концентрацией  $j$ -го ЗВ своей ПДК $_{мрj}$

$$\alpha = \int_{\text{ПДК}_{мрj}}^{\infty} f_j(c_j) dc_j \quad (2)$$

При этом в соответствии с определением ПДК $_{мрj}$  [5] с вероятностью  $P=1-\alpha$  предотвращается появление запахов, раздражающего действия и рефлекторных реакций у населения, а также острого влияния атмосферных загрязнений на здоровье в период кратковременных подъемов концентраций.

Такой подход отличается от рекомендованного в [6], в котором допускается заболевание населения, что наступает при превышении ПДК $_{мрj}$  в 3-4 и более раз, т.е. допускается превышение действующего норматива. В рассматриваемом подходе при обеспечении малого экологического риска  $\alpha$  ( $\alpha=0,003-0,005$ ) с высокой надежностью  $P$  обеспечивается выполнение нормативов ПДК $_{мрj}$ ,  $j = \overline{1, n}$  в условиях влияния возмущающих факторов – случайных отклонений проектных параметров источников и характеристик внешней среды.

Второй нормативной предельно допустимой концентрацией ЗВ в Украине принята среднесуточная концентрация - ПДК $_{ссj}$ ,  $j = \overline{1, n}$ , при обеспечении которой предотвращается влияние на здоровье населения при длительном поступлении атмосферных загрязнений в организм.

**Целью** настоящей статьи является применение указанного выше подхода к оценке экологического риска превышения среднесуточными концентрациями ЗВ своих ПДК $_{сс}$ . Так как прогнозная методика оценки среднесуточных концентраций ЗВ отсутствует, то они определяются по данным измерений на стационарных постах наблюдения Гидромета.

**Постановка задачи.** При постановке задачи считаются заданными даты измерений за некоторый период  $T$  времени, время  $t$  суточных измерений концентраций  $C_{ji}^{тк}$ , мг/м $^3$ ,  $j$ -тых загрязняющих веществ на  $k$ -том посту за  $i$ -тые сутки (если они есть, т.к. измерение концентраций всех ЗВ производится не всегда и не на всех постах). Заданы также ПДК $_{ссj}$  всех ( $j = \overline{1, n}$ )  $j$ -тых ЗВ, для которых производились измерения на всех  $k$ -тых постах.

Необходимо определить в районе  $k$ -тых постов экологические риски превышения ПДК $_{ссj}$  от загрязнения атмосферы всеми ЗВ  $\alpha_k$  и отдельными ЗВ -  $\alpha_{jk}$ .

**Метод решения.** Построим математическую модель задачи и разработаем метод ее решения. В соответствии с принятым подходом рассмотрим среднесуточную концентрацию отдельного  $j$ -того ЗВ на  $k$ -том посту как случайную величину  $C_{jk}$ , а концентрации всех ЗВ на  $k$ -том посту – как систему зависимых случайных величин ( $C_{1k}, C_{2k}, \dots, C_{nk}$ ).

Тогда экологический риск  $\alpha_{jk}$  от загрязнения атмосферы отдельными веществами на  $k$ -том посту определится как одномерный интеграл вероятности (2), а от загрязнения всеми веществами  $\alpha_k$  – через многомерный

интеграл вероятности (1) в которых пределы интегрирования ПДК<sub>мрj</sub> заменены на ПДК<sub>ссj</sub>. При этом на каждом посту одномерная f<sub>jk</sub> и многомерная f<sub>k</sub> плотности распределения случайных изменений концентраций C<sub>jk</sub> и системы концентраций (C<sub>1к</sub>, C<sub>2к</sub>, ...C<sub>пк</sub>) могут быть получены на основании данных измерений на постах.

Учитывая природу и большое число случайных возмущающих факторов, вызывающих случайный разброс концентраций ЗВ, в соответствии с предельными теоремами теории вероятностей плотности f<sub>jk</sub> и f<sub>k</sub> можно приближенно рассматривать как имеющие соответственно одномерное и многомерное нормальные распределения [4].

Тогда для определения плотностей f<sub>jk</sub> и f<sub>k</sub> экологических рисков (1) и (2) на каждом посту достаточно определить числовые характеристики плотности распределения среднесуточных концентраций – математические ожидания C<sub>j</sub><sup>\*k</sup>, среднеквадратические отклонения σ<sub>j</sub><sup>k</sup> и коэффициенты корреляции r<sub>jp</sub><sup>k</sup> между j-той и p-той концентрациями.

Будем считать, что из всего периода T измерений выбран период Tf, для которого производится оценка экологических рисков α<sub>jk</sub>, α<sub>k</sub>. В нем выделим множество суток I<sub>jk</sub><sup>Σ</sup> и соответствующие им концентрации j-тых ЗВ на k-том посту C<sub>ji</sub><sup>k</sup>, i ∈ I<sub>jk</sub><sup>Σ</sup> за i-тые сутки, которые получают как среднее значение измеренных за рассматриваемые сутки концентраций. Для множества суток I<sub>jk</sub><sup>Σ</sup> на основании статической обработки среднесуточных концентраций определяем [4].

- средние значения среднесуточных концентраций

$$C_j^{*k} = \frac{1}{n_j^k} \sum_{i \in I_{jk}^{\Sigma}} C_{ji}^k, \quad (3)$$

где n<sub>j</sub><sup>k</sup> - число суток в множестве I<sub>jk</sub><sup>Σ</sup>,

- среднеквадратические отклонения

$$\sigma_j^k = \left[ \frac{1}{n_j^k - 1} \sum_{i \in I_{jk}^{\Sigma}} (C_{ji}^k - C_j^{*k})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

- коэффициенты корреляции между r<sub>jp</sub><sup>k</sup> среднесуточными концентрациями j-того и p-го ЗВ

$$r_{jp}^k = \frac{K_{jp}^k}{\sigma_j^k \sigma_p^k}; \quad K_{jp}^k = \frac{1}{n_j^k - 1} \sum_{i=1}^{n_j^k} (C_{ji}^k - C_j^{*k})(C_{pi}^k - C_p^{*k}) \quad (5)$$

Полученные числовые характеристики плотности распределения концентраций (3) – (5) теперь позволяют определить экологические риски (1), (2) превышения не ПДК<sub>мрj</sub>, а величин ПДК<sub>ссj</sub>.

Так как вычисление многомерного интеграла (1) при больших  $n$  вызывает непреодолимые вычислительные трудности, то для определения рисков  $\alpha^k$  воспользуемся его приближенным значением, предложенным в [5, 6].

$$\alpha^k = 1 - F_n^k = \prod_{j=1}^n F(h_j^k) + \frac{1}{n(n-1)\pi} \sum_{j \neq i} \sum_{i=1}^n \arcsin r_{ji}^k \times \left[ F(h_{\min}^k) - \prod_{j=1}^n F(h_j^k) \right] \quad (6)$$

$$h_j^k = \frac{\text{ПДК}_{ccj} - C_j^{*k}}{\sigma_j^k}; \quad h_{\min}^k = \min h_j^k; \quad (6a)$$

где

$F_n^k$  - многомерная нормальная функция распределения [4];

$\alpha_j^k = F(h_j^k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{h_j^k} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$  - одномерная нормальная функция распределения [4], для которой имеются таблицы [4] или стандартные программы вычислений на ПЭВМ с помощью рядов [6];

$C_j^k, \sigma_j^k, r_{ji}^k$  - числовые характеристики, определяемые соответственно по (3) – (5).

При большом числе измерений риски  $\alpha^k$  и  $\alpha_j^k$  будем также оценивать по частоте превышения полученными среднесуточными концентрациями своих  $\text{ПДК}_{ccj}$ , которая при числе измерений  $n_j^k \rightarrow \infty$ , будет стремиться к соответствующим вероятностям [4]:

$$\alpha_j^k = \frac{m_j^k}{n_j^k}; \quad \alpha^k = \frac{m_{\Sigma}^k}{n_j^k}, \quad (7)$$

где  $m_j^k$  - число превышений каждой концентрацией из множества  $I_{jk}^{\Sigma}$  своей  $\text{ПДК}_{ccj}$ ,

$m_{\Sigma}^k$  - число превышений хотя бы одной концентрацией своей  $\text{ПДК}_{ccj}$ .

Тогда решение задачи с помощью полученной математической модели будет состоять в последовательном вычислении следующих промежуточных и конечных величин:

1. Для каждого суток за рассматриваемый период времени  $T_f$  по данным измерений на постах определяются среднесуточные значения концентраций  $C_{ji}^k, i \in I_{jk}^\Sigma$ .

2. По формулам (3)–(5) определяются числовые характеристики плотности случайного распределения среднесуточных концентраций:  $C_j^k, \sigma_j^k, z_{ji}^k, j = \overline{1, n}, p = \overline{1, n}, j \neq p$ .

3. По формулам (6), (6а) определяются экологические риски  $\alpha^k, \alpha_j^k$  на  $k$ -том посту.

4. Путем сравнения среднесуточных концентраций  $C_{ji}^k$  с заданными  $ПДК_{ccj}, j = \overline{1, n}$  по формуле (7) определяем частоты превышения  $ПДК_{mpj}$  каждой среднесуточной концентрацией  $\alpha_{jz}^k$  и хотя бы одной среднесуточной концентрацией  $\alpha_z^k$ .

**Выводы.** Получены математическая модель и порядок вычисления по ней с использованием данных измерений на стационарных постах экологического риска превышения среднесуточными концентрациями величин  $ПДК_{ccj}$ .

Результаты могут быть использованы в экологическом мониторинге города. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку программы решения задачи на ЭВМ и реализацию ее с использованием данных измерений концентрацией на стационарных постах промышленных городов с высоким загрязнением воздуха.

#### Список литературы

1. Разработка стохастической математической модели загрязнения атмосферного воздуха с использованием метода статических испытаний и ее применение для оценки экологического риска / А.В. Артамонова, В.А. Долодаренко, В.В. Фалько и др. // *Екологія і природокористування*. – 2003. - №5. – с.231-236.
2. Применение методов системного анализа, аэродинамики приземного слоя и теории надежности для оценки экологического риска / А.В. Артамонова, В.А. Долодаренко, В.Ю. Каспийцева и др. // *Екологія і природокористування*. – 2003. - №6. – с.194-199.
3. Разработка математической модели оценки экологического риска по данным измерений концентраций загрязняющих веществ / Артамонова А.В., Долодаренко В.А., Полторацкая В.Н., Фалько В.В. // *Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць*. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 5 (52). – с.112-120.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Учебник для вузов, 6-е издание – М. : Высш. школа, 1998. – 576 с.
5. Сан Пин 2.1.6.983-00. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест.

6. Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря». Затверджено наказом МОЗ від 13 квітня 2007 р. №184.

*Рекомендовано к публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Поступила в редакцію 16.01.15*

УДК 622.813:622.76.1.012

© В.І. Кривощоков, І.М. Мацюк

## **ПЕРЕРОБКА ТА УТИЛІЗАЦІЯ БУРОВУГІЛЬНИХ ШЛАМІВ**

Разработана безотходная технология переработки буровугольного шлама и крошки с замкнутым циклом водоснабжения и получением транспортабельного готового продукта для сжигания или брикетирования с содержанием влаги 26% ... 28 %.

Розроблена безвідходна технологія переробки буровугільного шламу та крихти із замкненим циклом водопостачання й одержанням транспортабельного готового продукту для спалювання або брикетування із вмістом вологи 26% ... 28 %.

Wasteless technology of treating brown coal slurry and crumb with closed cycle of water supply and receiving transportability finished product for burning and briquetting with 26–28 moisture content has been developed.

**Вступ.** Балансові запаси вугілля в Україні складають 45 млрд тонн, у тому числі бурого – більше 8 млрд тонн. При традиційній технології брикетування бурого вугілля відходи брикетних фабрик – шлам (до 3 %) і крихта (до 15 %) не переробляються внаслідок відсутності теоретичного та експериментального обґрунтування їх утилізації. Перспективним напрямом удосконалення процесу виробництва буровугільних брикетів є розробка і впровадження безвідходної технології роздільної переробки шламу та крихти, а також замкненого циклу оборотного водопостачання брикетних фабрик, що виключить скидання за їх межі шламів і відповідно забруднення навколишнього середовища.

Проведено аналіз в області технології переробки бурого вугілля Дніпровського басейну та наведено характеристику якості цього вугілля. Розподіл бурого вугілля на землисте молоде та щільне зріле пов'язаний з впливом метаморфізму і петрографічним складом. На відміну від кам'яного вугілля, буре містить бітуми, гумінові та карбонові кислоти, володіє здібністю до пластичних деформацій.

Проблема переробки бурого вугілля полягає у відсутності технології переробки відходів брикетної фабрики (шламу і крихти) та її переведення на замкнений цикл водопостачання, що дозволить додатково отримати транспортабельний готовий продукт, значно знизити споживання чистої води і виключити забруднення навколишнього середовища.

Частка бурого вугілля в світовому виробництві електроенергії складає 4 %, але в окремих країнах вона значно більше, наприклад, у Греції – 68%, Чехії – 63 %. У Німеччині, з урахуванням новітніх технологій спалювання і