

аварийной ситуации диспетчером производится выработка перечня превентивных мероприятий.

Выводы. Научная новизна данных исследований заключается в разработке методов и алгоритмов, позволяющих с достаточной степенью достоверности объективно оценить аэрогазовую ситуацию с учетом анализа и прогноза значений параметров шахтной атмосферы и нестационарного характера их изменения во времени, выработать и выполнить превентивные мероприятия, направленные на недопущение аварий на шахтах или снижение их последствий.

Список литературы

1. Азбель М.Д. Мониторинг безопасности промышленных предприятий. Учебное пособие. - М.: МГГУ. -2007.325 с.
2. Бондаренко В.В., Куляница А.Л. и др., Подход к прогнозированию развития ситуации и определение управляющих воздействий в интеллектуальной системе поддержки принятия решений. М.: Информационные технологии. -2003. -№8. - С. 13-19.
3. Громов Ю.Ю, Земский Н.А, Иванова О.Г. и др., Фрактальный анализ и процессы в компьютерных сетях: Учеб. пособие. -Тамбов: Издательство ТГТ 2004. -№10. – С. 21-24.
4. Дуброва. Т.А. Статистические методы прогнозирования. М.:ЮНИТИ. -2003. 206 с.
5. Душейко О.С., Томилин Ю.В. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций с использованием интерполяционных формул. //XXIX Неделя науки СП ГТУ. Материалы межвузовской научной конференции. Ч. I. -2001. С.78.
6. Егоров Н., Карпов А. Диагностические информационно-экспертные системы. СПб.: Санкт-Петербургский университет. -2002.320 с.
7. Журавков М. А., Кириенко В. М. Автоматизированная система "План ликвидации аварий" для подземных рудников. //Горный журнал. М.: МГГУ. -2004. -№10.- С. 37-40.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Алексєєвим М.О.
Надійшла до редакції 18.01.15.*

УДК 519.6

© Н.Н. Беляев, П.Б. Машихина, Л.Я. Мунтян

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ОТ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Разработан метод расчета загрязнения атмосферы от подвижного состава. Метод базируется на численном интегрировании трехмерного уравнения миграции примеси в воздухе.

Розроблено метод розрахунку забруднення атмосфери від рухомого складу. Метод базується на чисельному інтегруванні тривимірного рівняння міграції домішки у повітрі.

The method of calculation of the atmosphere pollution from locomotives and trains was developed. A method is based on numeral integration of three-dimensional equation of admixture dispersion.

Актуальность. Как известно при транспортировке грузов железной дорогой может происходить достаточно интенсивное загрязнение атмосферного воздуха. С одной стороны, это происходит при эксплуатации локомотивов на дизельном топливе, а также при сносе ветром сыпучих грузов из полувагонов, а с другой стороны – при аварийных выбросах и разливах. Для оценки загрязнения атмосферы во всех случаях используется нормативная методика ОНД-86 [2]. Данная методика основана на применении эмпирических зависимостей, которые не отвечают современным требованиям к прогнозным моделям. Поэтому возникает важная задача по разработке эффективных методов прогноза загрязнения атмосферы при эксплуатации железнодорожного транспорта.

Целью данной работы является разработка численной модели для оперативного прогноза уровня загрязнения атмосферы при эксплуатации подвижного состава на железной дороге.

Математическая модель. Для моделирования процесса рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере используется трехмерное уравнение миграции примеси [1-4]

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s)C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \sum Q_i(t) \delta(r - r_i), \end{aligned} \quad (1)$$

где C – концентрация примеси; u, v, w – компоненты вектора скорости воздушной среды; w_s – скорость оседания примеси; $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ – коэффициенты атмосферной турбулентной диффузии; Q – интенсивность выброса примеси (выброс от локомотива и т.п.); $\delta(r - r_i)$ – дельта-функция Дирака; $r_i = (x_i(t), y_i(t), z_i(t))$ – координаты источника эмиссии.

Краевые условия для данного уравнения рассмотрены в [1,3,4].

Изменение скорости ветра с высотой учитывается, в построенной модели, следующей зависимостью [2]

$$\omega = \omega_1 \frac{\lg z/z_0}{\lg z_1/z_0},$$

где ω_1 – значение скорости ветра на высоте Z_1 (высота флюгера); Z_0 – шероховатость поверхности.

Шероховатость подстилающей поверхности определяется экспериментальным путем и ориентировочно составляет: для почвы без покрова $z_0 \approx 0,005$ м; для леса $z_0 \approx 1$ м; для травы $z_0 \approx 0,01$ м. Для зданий эта величина рассчитывается так:

$$Z_0 = (1, 0-1, 4) H,$$

где H – высота здания.

Для расчета коэффициентов диффузии используются зависимости [2]

$$\mu_y = k_0 \cdot u, \quad k_0 = 0,1,$$

$$\mu_z = k_1 \cdot \left(\frac{Z}{Z_1} \right)^m,$$

где Z – высота, на которой определяется величина коэффициента μ_z ; $m \approx 1$, $\mu_x = \mu_y$.

Для расчета массы примеси, попавшей на конкретный участок земной поверхности, при эмиссии примеси от источника загрязнения на транспорте используется зависимость:

$$G = (w_s + \mu_z \alpha) C(x, y, z = 0) T,$$

где S – рассматриваемый участок поверхности (лес, посадки и т.д.). T – промежуток времени; $\alpha > 0$ – коэффициент, который учитывает «захват» части примеси поверхностью земли [4].

Метод численного решения. Численно решение уравнения транспорта загрязнителя осуществляется на прямоугольной разностной сетке. Для интегрирования применяется неявная разностная схема [1,2]. Рассмотрим основные черты этой схемы.

Проведем следующую аппроксимацию производных, входящих в уравнение [1,3]

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n}{\Delta t};$$

$$\frac{\partial u C}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x}; \quad \frac{\partial v C}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y}; \quad \frac{\partial w C}{\partial z} = \frac{\partial w^+ C}{\partial z} + \frac{\partial w^- C}{\partial z};$$

$$\frac{\partial u^+ C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{ijk}^{n+1} - u_{ijk}^+ C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^- C_{i+1,j,k}^{n+1} - u_{ijk}^- C_{ijk}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1};$$

где $u^+ = \frac{u + |u|}{2}$; $u^- = \frac{u - |u|}{2}$ и т.д.

Вторые производные аппроксимируем следующим образом:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \approx \tilde{\mu}_x \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{ijk}^{n+1}}{\Delta x^2} - \tilde{\mu}_x \frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1}.$$

В используемых выражениях L_x^+ , L_x^- , M_{xx}^+ , M_{xx}^- – обозначения разностных операторов [1,3].

С учетом этих обозначений разностный аналог уравнения (1) будет иметь вид:

$$\frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^{n+1} + L_x^- C^{n+1} + L_y^+ C^{n+1} + L_y^- C^{n+1} + L_z^+ C^{n+1} + L_z^- C^{n+1} + \sigma C_{ijk}^{n+1} = \\ = \left(M_{xx}^+ C^{n+1} + M_{xx}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1} + M_{yy}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1} + M_{zz}^- C^{n+1} \right).$$

Решение данного разностного уравнения расщепляется при интегрировании на временном интервале dt так:

– на первом шаге $k = \frac{1}{4}$:

$$\frac{C_{ijk}^{n+k} - C_{ijk}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} \left(L_x^+ C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k \right) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ = \frac{1}{4} \left(M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^n + M_{yy}^+ C^k + M_{yy}^- C^n + M_{zz}^+ C^k + M_{zz}^- C^n \right),$$

– на втором шаге $k = n + \frac{1}{2}; c = n + \frac{1}{4}$:

$$\frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} \left(L_x^- C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k \right) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ = \frac{1}{4} \left(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c + M_{zz}^- C^k + M_{zz}^+ C^c \right),$$

– на третьем шаге $k = n + \frac{3}{4}; c = n + \frac{1}{2}$:

$$\frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} \left(L_x^+ C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k \right) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ = \frac{1}{4} \left(M_{xx}^- C^c + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c + M_{zz}^- C^k + M_{zz}^+ C^c \right),$$

– на четвертом шаге $k = n + 1; c = n + \frac{3}{4}$:

$$\frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} \left(L_x^- C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k \right) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ = \frac{1}{4} \left(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^c + M_{yy}^+ C^k + M_{zz}^- C^c + M_{zz}^+ C^k \right).$$

В данные разностные соотношения входит «возмущенный» коэффициент диффузии $\tilde{\mu}$ [4].

Практическая реализация модели. На основе данной разностной схемы разработана компьютерная модель, реализованная в виде программы «Emission». Данная программа ориентирована на решение таких задач:

1. Прогноз уровня загрязнения атмосферы от передвижных источников на железнодорожном транспорте (локомотивы, вагоны).
2. Прогноз уровня загрязнения атмосферы при аварийных выбросах, разливах на железнодорожном транспорте.
3. Проведение экологической экспертизы для оценки уровня загрязнения примагистральной территории.

На рис.1,2, в качестве иллюстрации, представлены результаты расчета зоны загрязнения атмосферы при аварийном разливе аммиака на ст. Павлоград.



Рис.1. Зона загрязнения для момента времени $t=7$ мин (уровень $Z=12$ м)



Рис.2. Зона загрязнения для момента времени $t=19$ мин (уровень $Z=12$ м)

Как видно из данных рисунков зона загрязнения представляет собой «язык», который вытягивается в направлении движения воздушных масс, подвергая загрязнению жилые районы.

Выводы. В работе построена компьютерная модель и на ее основе разработан эффективный метод расчета динамики загрязнения атмосферы от подвижного состава. Дальнейшее совершенствование данного направления следует проводить в направлении создания модели для расчета рассеивания примеси совместно с расчетом аэродинамики воздушного потока.

Список литературы

1. Беляев Н. Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ: Монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило. – Д.: «Акцент ПП», 2014. – 136 с.
2. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
3. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
4. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Марчук Г. И. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
5. Самарский А. А. Теория разностных схем / Самарский А. А. – М.: Наука, 1983. – 616 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.
Надійшла до редакції 22.01.15*

УДК 519.6

© Н.Н. Беляев, В.И. Ночвай

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Предложен комплексный подход к созданию математической модели и ее численной реализации, позволяющий рассчитать динамику регионального и локального загрязнения атмосферного воздуха с учетом организованных и неорганизованных источников выбросов загрязняющих веществ вследствие хозяйственной деятельности и возможных чрезвычайных ситуаций.

Запропоновано комплексний підхід до створення математичної моделі та її чисельної реалізації, що дозволяє розрахувати динаміку регіонального і локального забруднення атмосферного повітря з урахуванням організованих і неорганізованих джерел викидів забруднюючих речовин внаслідок господарської діяльності та можливих надзвичайних ситуацій.

A comprehensive approach to the creation of a mathematical model and its numerical implementation, which allows to calculate the dynamics of regional and local air pollution taking into account organized and others sources of pollutant emissions due to economic activities and possible emergencies.

Вступление. В связи с ухудшением экологической обстановки, ослаблением государственного экологического контроля и практически неконтролируемом использовании природных ресурсов задачи обеспечения экологической безопасности являются приоритетными при построении моделей регионального развития. При этом актуальной задачей является разработка комплексных математических моделей процессов антропогенного влияния на окружающую среду и их численная реализация в региональном масштабе. От таких моделей требуется как расчет усредненных показателей