

- Анализ данных изменения уровня грунтовых вод на дамбе «Балка Скаже-ная» позволяет выделить зоны с повышенным влагосодержанием грунтов, кото-рые оказывают влияние на прочностные и фильтрационные свойства тела дамбы. Эти зоны требуют дополнительных наблюдений и полевых исследований;

- Рекомендуется, для недопущения развития промоин и оврагов на склонах дамбы после сильных дождей или таяния снега, регулярно засыпать образовав-шиеся промоины, а также очищать водоприёмные лотки, обеспечивать беспре-пятственный сброс поверхностных вод с тела дамбы в тальвег балки;

- Целесообразно со стороны шламохранилища дополнительно намыть пе-сок, тем самым увеличить мощность песчаного пляжа и отдалить свободную воду вглубь хвостохранилища;

- Рекомендуются регулярные наблюдения за пьезометрами с частотой не реже одного раза в месяц, оптимально – через 10 дней, для изучения динамики колебания уровней грунтовых вод, особенно в период таяния снега или обиль-ного выпадения дождя. Возможно также бурение скважин на предмет опреде-ления влажности грунтов.

Список литературы

1. Воларович М. П., Соколов Г. А., Пархоменко Э. И. Пьезоэлектрический эффект пег-матитовых и кварцевых жил // Изв. АН СССР, сер. физ. – 1962. – № 2. – С. 145–152.
2. Воробьев А. А. Физические условия залегания и свойства глубинного вещества. Вы-сокие электрические поля в земных недрах. – Томск: Изд-во политехн. ин-та, 1975. – 296 с.
3. Пикареня Д. С. Опыт применения метода естественного импульсного электромагни-тного поля Земли (ЕИЭМПЗ) для решения инженерно-геологических и геологических задач / Д.С. Пикареня, О. В. Орлинская. – Днепрпетровск: Изд-во «СВИДЛЕР», 2009. – 120 с.
4. Орлинская О. В. О влиянии электромагнитных полей на образование гидротермально – метасоматических рудных формаций/ О. В. Орлинская, Д. С. Пикареня, Г. М. Стюас [и др.] // Зб. наук. праць УкрДГРІ. – 2007. – № 2. – С. 98–104.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Собком Б.Ю.
Надійшла до редакції 20.04.2012*

УДК 519.6

© А.В. Зберовский

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВАХ

Розглянута двувимірна чисельна модель забруднення атмосфери при аварійних викидах хімічно-небезпечних речовин. Наводяться результати обчислювального експерименту.

Рассмотрена двухмерная численная модель загрязнения атмосферы при аварийных выбросах химически опасных выбросах. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

A numerical model to simulate the atmosphere pollution after accident ejections is considered . The model is based on the K-gradient transport model and equation of potential flow. The results of numerical experiment are presented.

Введение. Разливы химически опасных веществ на промышленных объектах, транспорте – наиболее часто встречающийся вид аварийной ситуации [1,6]. Зона разлива представляет собой источник эмиссии в атмосферу загрязнителя, причем этот источник нередко действует на протяжении достаточно большого промежутка времени. Это связано с тем, что на ликвидацию последствий аварийной ситуации может потребоваться много времени. В этой связи, при разработке ПЛАСА (план ликвидации аварийной ситуации), возникает задача прогноза уровня загрязнения атмосферы в случае аварийного разлива, с целью определения размеров и интенсивности зон химического заражения. Решение данной задачи составляет основу решения другой, особо важной задачи в области промышленной и экологической безопасности – это организация защитных мероприятий с целью минимизации возможного ущерба от аварии. Решение задачи о рассеивании опасного вещества от зоны разлива и прогнозе уровня загрязнения атмосферы при указанной аварийной ситуации может быть найдено с помощью метода математического моделирования.

Целью работы является разработка численной модели, позволяющей оперативно прогнозировать динамику загрязнения атмосферы при аварийных разливах химически опасных веществ.

Математическая модель. Интенсивность испарения химически опасного вещества от зоны аварийного разлива рассчитывается на базе эмпирической модели [5]

$$Q = (5,83 + 4,1V)P_H \sqrt{M}, \quad (1)$$

где Q – интенсивность испарения от зоны разлива; V – скорость ветра; P_H – давление насыщенных паров; M – молекулярная масса вещества.

Для расчета рассеивания химически опасного вещества в атмосфере, поступившего в воздушную среду от зоны разлива используется следующее уравнение [1-4]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s)C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \sum Q_i(t) \delta(r - r_i) \quad (2)$$

где C – концентрация загрязняющего вещества; u, v, w – компоненты вектора скорости воздушной среды; w_s – скорость оседания примеси; $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ – коэффициенты турбулентной диффузии; Q – интенсивность испарения (определяется на базе модели (1)); $\delta(r - r_i)$ – дельта-функция Дирака; $r_i = (x_i, y_i, z_i)$ – координаты источника эмиссии.

Таким образом, зона разлива моделируется совокупностью точечных источников эмиссии, суммарный выброс которых равен испарению от зеркала свободной поверхности зоны разлива.

Для уравнения (2) ставятся следующие граничные условия [3,4]. На вертикальных плоскостях, где воздушный поток входит в расчетную область, ставится условие

$$C = C_H$$

где C_n – заданное значение концентрации опасного вещества (при проведении прогнозных расчетов часто принимают $C_n=0$).

На вертикальных плоскостях, где воздушный поток выходит из расчетной области, ставится граничное условие

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0$$

где \vec{n} – единичный вектор внешней нормали к границе.

Данное граничное условие означает, что на этой плоскости мы не учитываем процесс диффузии.

На поверхности земли и верхней горизонтальной плоскости ставится условие отсутствия потока загрязняющего вещества

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0$$

Начальное условие для уравнения переноса имеет вид: $C=0$ для $t=0$ (начало аварии).

В разработанной модели используется равномерный профиль ветра. Коэффициенты атмосферной диффузии рассчитываются по зависимостям [2,4]

$$\begin{aligned} \mu_z &= 0,1 \text{ лз} \\ \mu_y &= 0,2 \text{ у}, \\ \mu_x &= \mu_y, \end{aligned}$$

где z – расстояние от поверхности земли.

Метод решения. Решение уравнения переноса определяется на равномерной разностной сетке. Численное интегрирование уравнения рассеивания опасного вещества в атмосфере проводится с помощью попеременно – треугольной разностной схемы [3]. Рассмотрим основные черты этой схемы.

Конвективные производные представим в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u C}{\partial x} &= \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x}, \\ \frac{\partial v C}{\partial y} &= \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y}, \\ \frac{\partial w C}{\partial z} &= \frac{\partial w^+ C}{\partial z} + \frac{\partial w^- C}{\partial z}, \end{aligned}$$

где $u^+ = \frac{u + |u|}{2}$; $u^- = \frac{u - |u|}{2}$; $v^+ = \frac{v + |v|}{2}$; $v^- = \frac{v - |v|}{2}$; $w^+ = \frac{w + |w|}{2}$; $w^- = \frac{w - |w|}{2}$.

Для аппроксимации конвективных производных используем выражения [3]:

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

$$\frac{\partial v^+ C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1,k}^+ C_{i,j,k} - v_{i,j,k}^+ C_{i,j-1,k}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^- C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1,k}^- C_{i,j+1,k} - v_{i,j,k}^- C_{i,j,k}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1},$$

$$\frac{\partial w^+ C}{\partial z} \approx \frac{w_{i,j,k+1}^+ C_{i,j,k} - w_{i,j,k}^+ C_{i,j,k-1}}{\Delta z} = L_z^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial w^- C}{\partial z} \approx \frac{w_{i,j,k+1}^- C_{i,j,k+1} - w_{i,j,k}^- C_{i,j,k}}{\Delta z} = L_z^- C^{n+1},$$

где $L_x^+ = \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{ijk}^{n+1} - u_{ijk}^+ C_{i-1,j,k}}{\Delta x}$, $L_x^- = \frac{u_{i+1,j,k}^- C_{i+1,jk}^{n+1} - u_{ijk}^- C_{ijk}^{n+1}}{\Delta x}$, L_y^+ , L_y^- , L_z^+ , L_z^- – обо-

значения разностных операторов при аппроксимации конвективных производных. Вторые производные аппроксимируем следующими выражениями [3]:

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

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \approx \mu_y \frac{C_{i,j+1,k}^{n+1} - C_{ijk}^{n+1}}{\Delta y^2} - \mu_y \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j-1,k}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1}$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \approx \mu_z \frac{C_{i,j,k+1}^{n+1} - C_{ijk}^{n+1}}{\Delta z^2} - \mu_z \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{ij,k-1}^{n+1}}{\Delta z^2} = M_{zz}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1}$$

В данных выражениях

$$M_{xx}^+ = -\mu_x \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2}, \quad M_{xx}^- = \mu_x \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2}, \quad M_{yy}^+, M_{yy}^-, M_{zz}^+, M_{zz}^- -$$

обозначения разностных операторов при аппроксимации вторых производных. С учетом этих обозначений, разностный аналог трехмерного уравнения переноса примеси будет иметь вид:

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

При интегрировании на временном интервале dt выполним расщепление данного уравнения следующим образом [3]:

на первом шаге $k = n + \frac{1}{4}$:

$$\begin{aligned} & \frac{C_{i,j,k}^k - C_{i,j,k}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} \left(L_x^+ C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k \right) + \frac{\sigma}{4} C_{i,j,k}^k = \\ & = \frac{1}{4} \left(M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^n + M_{yy}^+ C^k + M_{yy}^- C^n + M_{zz}^+ C^k + M_{zz}^- C^n \right), \end{aligned} \quad (2)$$

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

$$\begin{aligned} & \frac{C_{i,j,k}^k - C_{i,j,k}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{i,j,k}^k = \\ & = \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c + M_{zz}^- C^k + M_{zz}^+ C^c) \end{aligned} \quad (3)$$

на третьем шаге $k = n + \frac{3}{4}$; $c = n + \frac{1}{2}$ используется формула (3);

на четвертом шаге $k = n + 1$; $c = n + \frac{3}{4}$ используется формула (3).

На пятом шаге расщепления в дискретной модели учитывается влияние источников на изменение концентрации примеси и расчетная зависимость на этом шаге имеет вид:

$$\frac{C_{i,j,k}^{5n+1} - C_{i,j,k}^{5n}}{\Delta t} = \sum_{l=1}^N \frac{q_l(t^{n+1/2})}{\Delta x \Delta y \Delta z} \delta_l.$$

Функции δ_l тождественно равняются нулю, кроме ячеек, где расположен l -й источник загрязнения.

На основе разработанной численной модели создан специализированный пакет прикладных программ.

Исходные данные для моделирования.

Для реализации модели необходимо ввести типовые исходные данные, характеризующие аварийную ситуацию, а именно:

6. размеры расчетной области.
7. скорость и направление ветра.
8. координаты места аварийного разлива, площадь зоны разлива
9. параметры, характеризующие загрязнитель (молекулярная масса, давление насыщенных паров).
10. время, когда произошел аварийный разлив.
11. время, когда была (или может быть) ликвидирована зона разлива.

Практическая реализация. Рассмотрим применение разработанной численной модели для решения задачи о загрязнении атмосферы на промышленной площадке, где произошел аварийный разлив серной кислоты в поддон.

Рассматривается следующая постановка задачи. Размеры расчетной области $670 \times 430 \times 60$ м; скорость ветра 6 м/с. Площадь зоны аварийного разлива серной кислоты составляет 100 м^2 . Температура воздуха -20°C . Время действия источника 2 часа.

На последующих рисунках показана зона загрязнения атмосферы на высоте 10 м от уровня земли.

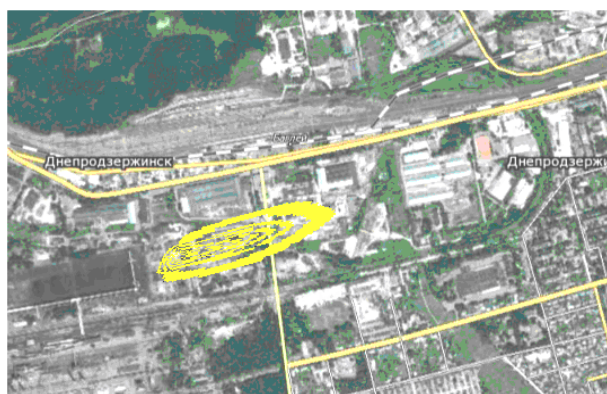


Рис. 1. Зона загрязнения атмосферы для момента времени $t=34$ с. после аварии



Рис. 2 Зона загрязнения атмосферы для момента времени $t=57$ с после аварии

Как показывает результаты вычислительного эксперимента данная зона имеет вид шлейфа, ориентированного в направлении движения воздушных масс. Зона загрязнения покрывает здания, расположенные рядом с местом аварии, что создает риск токсичного поражения людей в этих зданиях. Как видно из представленных данных, примерно через 30 с после аварии длина зоны загрязнения составит порядка 200 м, а через 57 с – примерно 336 м.

Затраты компьютерного времени на решение задачи составили около 10 сек., таким образом данная модель может быть использована при проведении серийных расчетов при разработке ПЛАСа.

Выводы. В работе разработана трехмерная численная модель рассеивания химически опасных веществ в атмосфере, на основе которой построен метод расчета динамики загрязнения воздушной среды при аварийных разливах. Дальнейшее развитие данной модели должно быть направлено на создание численной модели для расчета рассеивания опасных веществ с учетом неравномерного профиля скорости ветра.

Список литературы

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие в 5-ти книгах / Под редакцией В. А. Котляревского и А. В. Забегаева). – М.: Из-во АСВ, 2001 – 200 с.
2. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / Берлянд М. Е. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 273 с.

3. Згуровский М.З. 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. – М.: Наука. – 1982. – 320 с.
5. Мацак В.Г. Гигиеническое значение скорости испарения и давления пара токсических веществ, применяемых в производстве. / Мацак В. Г., Хоцянов Л. К. - М.: Медгиз, 1959. - 231 с
6. Методика прогнозування наслідків впливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті. – К., 2001. – 33 с.
7. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. - М.: Мир, 1980. –616 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.
Надійшла до редакції 20.04.2012*

УДК 550.428:553.93

© В.В. Ишков

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВИНЦА И ХРОМА В УГЛЕ ОСНОВНЫХ РАБОЧИХ ПЛАСТОВ АЛМАЗНО-МАРЬЕВСКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Рассмотрены особенности распределения Pb та Cr в угольных пластах Алмазно-Марьевского геолого-промышленного района. Установлен характер распределения, выполнен расчет средневзвешенных концентраций в углях основных пластов и свит, выявлен состав типоморфной геохимической ассоциации Co и V с другими токсичными и потенциальными элементами в углях района.

Розглянуто особливості розподілу Pb та Cr у вугільних пластах Алмазно-Марьївського геолого-промислового району. Встановлено характер розподілу, виконано розрахунки середньозважених концентрацій у вугіллі основних пластів та світ, з'ясовано склад типоморфної геохімічної асоціації Co та V з іншими токсичними і потенційно токсичними елементами у вугіллі району.

The peculiarities of Pb and Cr distribution in the coal strata of Almazno-Marievsky geological and industrial district have been considered in the article. There was defined the character of distribution, calculated weighted average concentrations in the coals of basic strata and formations, determined the composition of typomorphic geochemical association of Co and V with other toxic and potentially toxic elements in the coals of the district.

Вступление. Исследования распределения свинца и хрома в углях основных рабочих пластов Алмазно-Марьевского геолого-промышленного района Донбасса связаны с повышением требований к охране окружающей среды, обуславливающих потребность в новых научно обоснованных методах прогноза содержания токсичных и потенциально токсичных элементов в добываемой шахтами горной массе, отходах добычи и углеобогащения. Для объективной оценки воздействия угледобывающей промышленности и предприятий теплоэнергетики на экологическую ситуацию и планирования наиболее эффективных мероприятий, направленных на ее улучшение, необходимо располагать сведениями о характере распределения и уровне концентрации токсичных элементов в углях и вмещающих породах, извлекаемых в процессе добычи. С целью полу-