

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ РЕЛЬЕФА НА РАССЕЙВАНИЕ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРЕ

Ступин А.Б., Оверко В.С.

Донецкий национальный университет, г.Донецк

E-mail: stupin@dongu.donetsk.ua

Abstract

Stupin A.B., Overko V.S. Influence of the form of a relief on distributions of emissions in an atmosphere. Influence of the form of a relief on distributions of emissions in an atmosphere is investigated. Zones with high residual concentration of polluting substances and their dependence on the form of hollows are determined.

Общая постановка проблемы. Бурное развитие промышленности и энергетики, гигантские объемы работ по добыче и сжиганию полезных ископаемых поставили перед человечеством острую проблему, связанную с охраной биосферы от загрязнений, обусловленных действиями человека. Сохранение экологического равновесия биосферы в первую очередь связано с охраной атмосферы.

С точки зрения гидромеханики достоверная оценка экологического воздействия загрязняющих веществ на биосферу может быть надежной лишь в случае, когда будут учтены динамика и закономерности распределения примесей в водной и воздушной средах. Многие загрязняющие вещества, попадая в атмосферу, переносятся ветровым потоком и смешиваются с окружающей средой благодаря механизму турбулентного переноса и диффузии. Поэтому исходным моментом исследования процессов загрязнения окружающей среды технологическими отходами от концентрированных или распределенных источников является задача о переносе и диффузии различных веществ и пассивных примесей в атмосфере.

При обтекании ветровым потоком различных препятствий возникают области аэродинамической тени, отрывные зоны, а в отдельных случаях формируются так называемые вихревые дорожки. Данные гидродинамические особенности течения оказывают значительное влияние на диффузию примесей в атмосфере. Кроме того, на процесс рассеивания выбросов оказывает влияние термическая стратификация атмосферы.

Поэтому, большой интерес представляет учет совместного влияния термической стратификации атмосферы и неоднородности рельефа подстилающей поверхности.

Постановка задач исследования. Для определения влияния формы рельефа местности на характер рассеивания выбросов в атмосфере необходимо провести расчет для препятствий различной конфигурации, частности прямоугольной, многоугольной и полуэллиптической формы. Расчет для препятствий подобной конфигурации позволит определить степень влияния формы рельефа на степень деформации полей концентрации в приземном слое по сравнению с сравнительно ровной поверхностью. Примесь будем считать пассивной и консервативной. В качестве метода исследования выбрано математическое моделирование.

Решение задач и результаты исследований. В настоящей работе проведен численный расчет распространения выброса от постоянно действующего источника в стратифицированной атмосфере при наличии препятствий различной формы. Задача решалась в двумерной постановке. С физической точки зрения она адекватна процессу рассеивания промышленных выбросов в районе протяженной гряды холмов или в местах плотной промышленной застройки.

Численное исследование полей концентрации проведено путем решения полной системы уравнений Навье-Стокса в приближении Буссинеска и уравнений тепло- и массопереноса.

Система исходных расчетных уравнений после обезразмеривания имеет вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + RiT, \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{1}{Pe} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (3)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{1}{Pe_d} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right), \quad (4)$$

где $Re = \frac{U \cdot b}{\nu}$ — число Рейнольдса, $Ri = \frac{g \cdot \beta \cdot b(T_0 - T_h)}{U^2}$ — число Ричардсона, $Pe = \frac{U \cdot b}{a}$ —

тепловое число Пекле, $Pe_d = \frac{U \cdot b}{D}$ — диффузионное число Пекле.

Расчеты проводились при следующих значениях безразмерных параметров: $Re = 10000$, $Pe = 7000$, $Pe_d = 7000$.

На левой границе задавались начальные безразмерные профили полей скорости, температуры и концентрации, общий вид которых приведен на рис. 1.

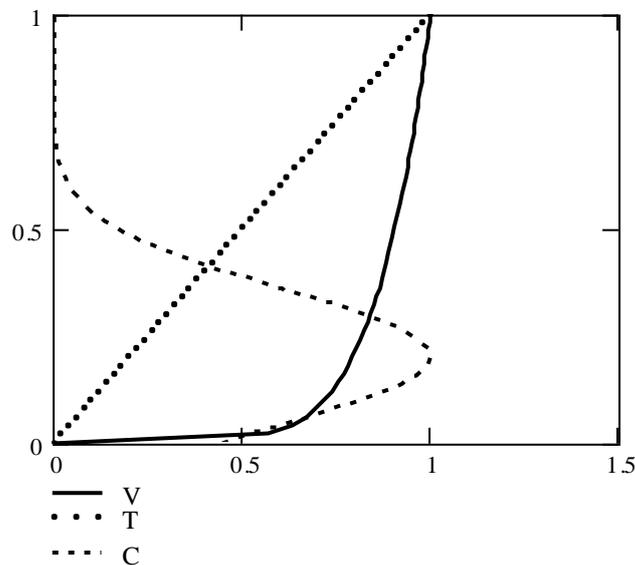


Рисунок 1 — Начальные профили скорости, температуры и концентрации

На выходе, т.е. при $x=L$, используются следующие условия:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = 0, \quad f = (u, w, T, P, C), \quad x=L,$$

$$u(t, x, H) = u(0, 0, H), \quad w(t, x, H) = 0, \quad t > 0, \quad z = H, \quad 0 \leq x \leq L,$$

$$P(t, x, H) = 0, \quad t > 0, \quad z = H, \quad 0 \leq x \leq L,$$

$$T(t, x, H) = T(0, 0, H) = 1, \quad t > 0, \quad z = H, \quad 0 \leq x \leq L.$$

Для концентрации на верхней границе примем условие:

$$C(t, x, H) = 0, \quad t > 0, \quad z = H, \quad 0 \leq x \leq L.$$

На нижней границе рассматриваемой области, т.е. при $z = 0$, примем следующие граничные условия:

$$u(t, x, 0) = 0, \quad w(t, x, 0) = 0, \quad t > 0, \quad z = 0, \quad 0 \leq x \leq L,$$

$$P(t, x, 0) = 0, \quad t > 0, \quad z = 0, \quad 0 \leq x \leq L,$$

$$T(t, x, 0) = T(0, 0, 0) = 0, \quad t > 0, \quad z = 0, \quad 0 \leq x \leq L.$$

Для концентрации примем на нижней границе условие непроницаемости:

$$\frac{\partial C}{\partial z} = 0, \quad t > 0, \quad z = 0, \quad 0 \leq x \leq L.$$

Конечно-разностная аппроксимация исходной системы уравнений и краевые условия изложены в работах [1, 2, 3].

На рис. 2–3 представлены распределения полей концентрации, скорости и линии тока при обтекании прямоугольного препятствия.

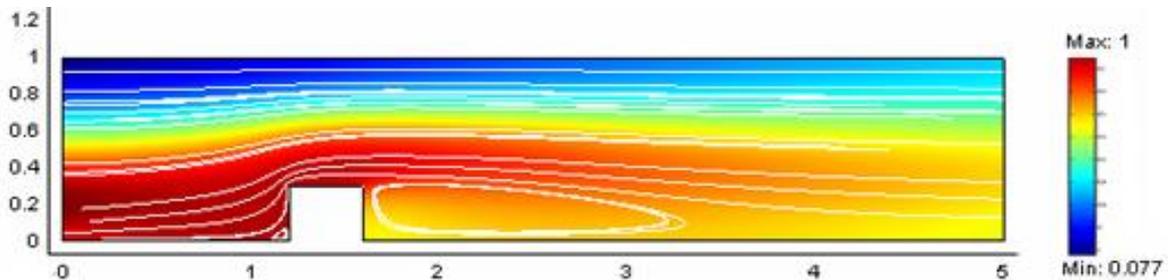


Рисунок 2 — Поле концентрации при обтекании прямоугольного препятствия

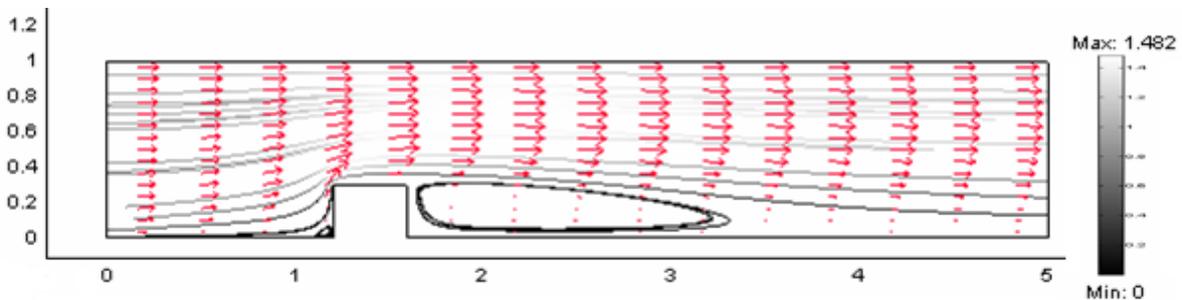


Рисунок 3 — Поле скорости и линии тока при обтекании прямоугольного препятствия

На рис. 4–5 представлены распределения полей концентрации, скорости и линии тока при обтекании многоугольного препятствия.

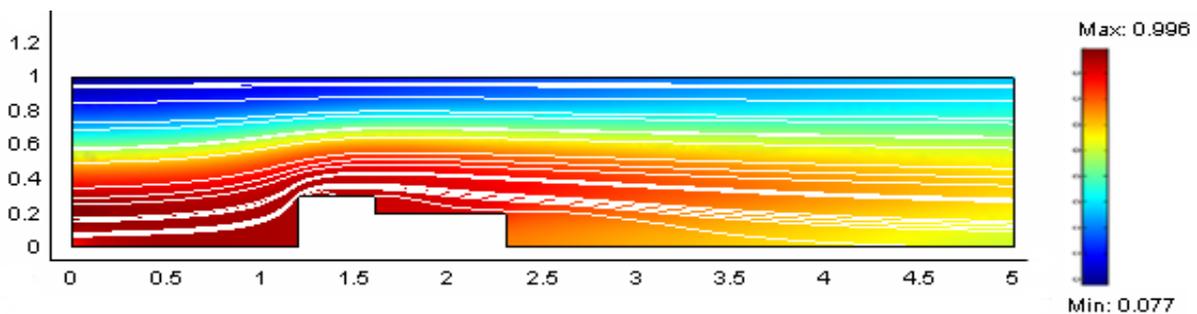


Рисунок 4 — Поле концентрации при обтекании многоугольного препятствия

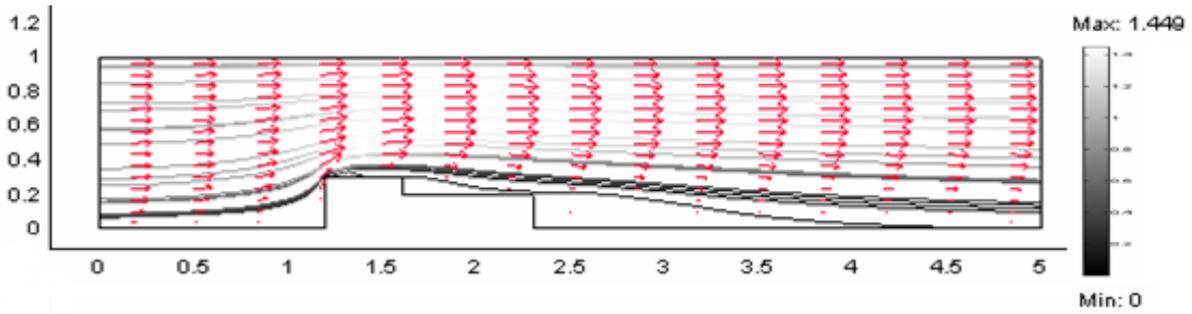


Рисунок 5 — Поле скорости и линии тока при обтекании многоугольного препятствия

На рис. 6–7 представлены распределения полей концентрации, скорости и линии тока при обтекании полуэллиптических препятствий.

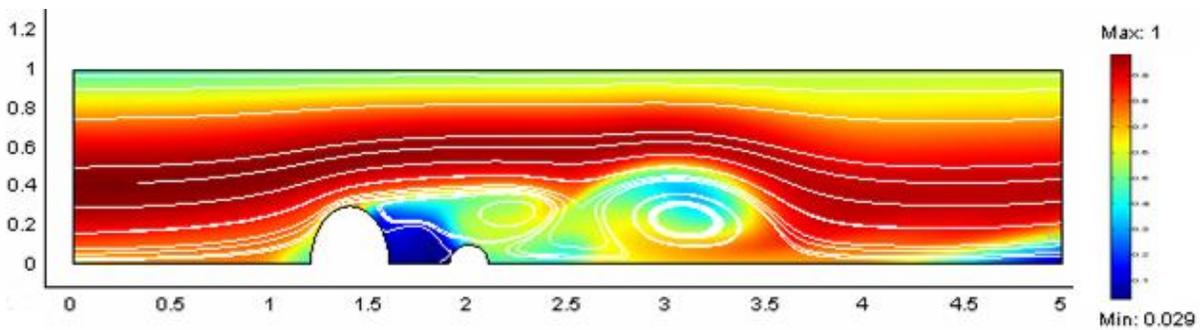


Рисунок 6 — Поле концентрации при обтекании полуэллиптических препятствий

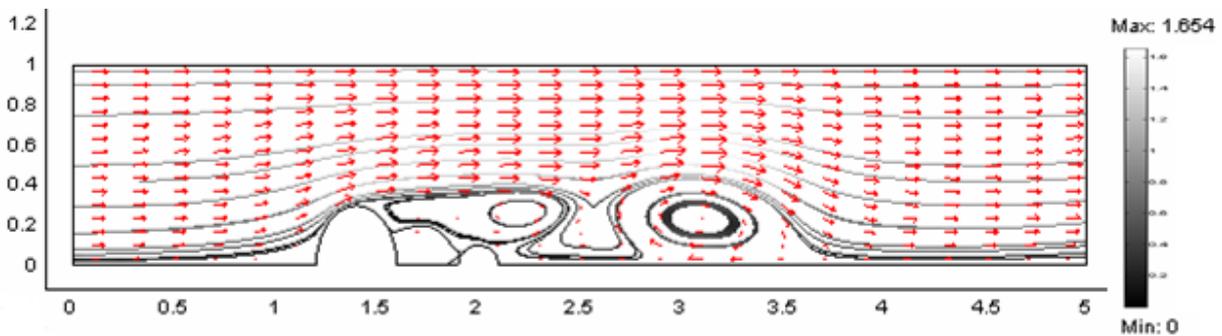


Рисунок 7 — Поле скорости и линии тока при обтекании полуэллиптических препятствий

На рис. 2 и рис. 3. представлены распределения полей концентрации и скорости, соответственно, при обтекании одиночного препятствия прямоугольного сечения. Отчетливо видна деформация поля скорости и образование отрыва в области позади препятствия. Можно отметить, что происходит вытеснение максимума концентрации в область вверх над препятствием и непосредственно перед ним, а также уменьшение в области отрывной зоны. Это можно объяснить изменением давления в этой области.

Для обтекания препятствия многоугольной формы (рис. 4, 5) общая картина рассеивания несколько меняется: нет четко выраженной отрывной зоны, а также за препятствием вертикальное распределение примесей становится более однородным. Можно предположить, что дополнительное перемешивание обусловлено тем, что несмотря на то, что

площадь зоны отрывных течений уменьшается, однако их протяженность в продольном направлении увеличивается.

Рассмотренные выше типы обтекания препятствий достаточно хорошо вписываются в методику, изложенную в ОНД-86. Данная методика является общепринятой для расчетов по определению степени загрязненности атмосферы и основывается на работе [4].

Совершенно иная картина возникает для обтекания двух препятствий полуэллиптической формы (второе препятствие введено для дестабилизации отрывной зоны позади первого). Здесь наблюдается образование вихревой дорожки (рис. 6, 7). В этом случае происходит «прокачка» примеси через вихрь, что приводит к значительной неоднородности и не стационарности распределения примеси, а также увеличению области с высоким содержанием примеси в вертикальном направлении. Влияние данного эффекта не учитывается методах, основанных на аналитическом решении уравнения диффузии, так как аналитическое решение можно получить только при условии безвихревого течения, что влечет за собой отсутствие учета явлений, обусловленных вязкостью потока.

Выводы. В заключение можно сказать, что на процесс рассеивания примесей в приземном слое атмосферы в значительной мере оказывает влияние не столько размер, сколько форма неоднородностей рельефа, что приводит к значительному отклонению натуральных измерений от предсказанных теоретически. В частности, при обтекании препятствий полуэллиптической формы образуется вихревая дорожка, что приводит к увеличению концентрации загрязняющих веществ в нижнем слое атмосферы, так как возникает дополнительное перемешивание слоев воздуха и, как следствие, распределение примесей по высоте становится более однородным. Следствием этого является значительное отклонение концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы от распределения Гаусса.

Кроме того, дополнительное перемешивание слоев воздуха за препятствием полуэллиптической формы приводит к изменению термической стратификации атмосферы и образованию области с однородным распределением температуры, что влечет за собой уменьшение влияния архимедовых сил на процесс рассеивания выбросов в атмосфере.

В качестве рекомендаций для измерения загрязнения атмосферы можно сказать, что измерения должны проводиться в районе препятствий эллипсоидной формы на гораздо большем расстоянии, чем это принято до сих пор.

Литература

1. Е.В. Бруцкий., А.Б. Ступин, В.С. Оверко, Н.А. Дмитренко. Численное исследование полей концентрации вблизи препятствия при его обтекании термически стратифицированным потоком //Вісник Донецького університету. Сер. А: Природничі науки. — 2002, №1. — С. 217–222.
2. А.Б. Ступин, Е.В. Бруцкий., В.С. Оверко, Н.А. Дмитренко. Численное исследование полей концентрации вблизи препятствия в условиях термических инверсий атмосферы //Вісник Донецького університету. Сер. А: Природничі науки. — 2003, №1. —С. 180–183.
3. Марчук Г.И. Вычислительные методы в прикладной математике. — Новосибирск, 1978.
4. М.Е. Берлянд. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. — Л., Гидрометеиздат, 1975. — 448 с.