

ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ И КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ «ЗАЩИТА SIP»

асп., Росточило Н. В.

Постановка проблемы. В настоящее время, за рубежом, активизировалась разработка систем защиты людей от поражения в зданиях, в случае эмиссии в атмосферу опасных веществ. Такая защита получила название «*shelter – in - place*» (SIP). SIP – это комплексная защита, сочетающая в себе ряд различных элементов: установка специальных фильтров, изменение режима вентиляции помещения и т.д. Ключевой задачей SIP – является минимизация уровня загрязнения атмосферного воздуха, поступающего в здание и минимизация уровня загрязнения воздушной среды в конкретных помещениях. Учитывая возрастание, в последнее время, риска чрезвычайных ситуаций, терактов, можно утверждать, что создание технологий, способствующих повышению эффективности защиты SIP – является важной задачей в области экологической и промышленной безопасности. Одним из перспективных направлений в рамках данного направления является минимизация уровня загрязнения атмосферного воздуха возле здания. Это приводит к инфильтрации в здание менее загрязненного воздуха и тем самым, уровень загрязнения воздушной среды в здании – уменьшается.

Анализ научных публикаций. Рассматриваемый класс задач SIP связано с проблемой моделирования переноса опасных веществ в атмосфере. В Украине для решения этих задач используются аналитические модели и эмпирические [3, 5]. Но модели данного класса не позволяют учесть деформацию поля скорости ветрового потока возле здания и, поэтому, для решения задач SIP необходима разработка численных моделей [1, 2, 7].

Целью данной работы является разработка численных моделей и комплекса программ, для решения следующих задач SIP:

1. применение метода нейтрализации токсичного газа для минимизации пиковых концентраций возле здания;
2. применение защитных экранов для отклонения загрязненного потока воздуха от здания;
3. применение воздушной завесы возле здания для отклонения загрязненного потока воздуха и минимизации количества инфильтрующегося загрязненного воздуха в здание.

Моделирующие уравнения. В настоящее время для решения задач «защита SIP» основным методом получения интересующих данных является метод математического моделирования. Рассмотрим математические модели, которые положены в основу разработанных численных моделей.

Модель массопереноса. Для решения перечисленных задач SIP используется осредненное по ширине B переноса (профильная задача) уравнение [3, 4, 7]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial (v-w)C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \sum Q_c(t) \delta(x - x_c(t)) \delta(y - y_c(t)) \quad (1)$$

где

C – концентрация примеси (опасное вещество);

$u, v,$ – компоненты вектора скорости движения ветрового потока;

w – скорость гравитационного оседания примеси;

$\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициенты атмосферной диффузии; t – время;

Q_{Ci} – интенсивность точечного источника эмиссии примеси в точке x_c, y_c ;

$\delta(x - x_c) \delta(y - y_c)$ – дельта-функция Дирака;

Ось Y направлена вертикально вверх.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работе [4].

Для расчета профиля скорости ветра (продольная составляющая) на входе в расчетную область и коэффициентов атмосферной диффузии используются такие зависимости [3]:

$$u = u_1 \left(\frac{y}{y_1} \right)^n,$$

$$\mu_y = 0,11y; \mu_x = 0,2u,$$

где

u_1 – скорость ветра на высоте y_1 , y – текущее значение высоты;

$n = 0,15$ – параметр.

Для прогноза уровня загрязнения воздушной среды в помещении, с учетом инфильтрации и его вентилирования используется модель Karisson & Huber:

$$\frac{d(CV)}{dt} = Q_f C_{out} - Q_f C - \sum_i^N A_i \frac{dm_i}{dt},$$

где

C – концентрация опасного вещества в выходящем из помещения воздухе;

V – объем комнаты;

Q_f – интенсивность воздухообмена;

N – количество сорбирующих материалов внутри помещения;

C_{out} – концентрация токсичного вещества в приточном воздухе;

A_i – площадь поверхности сорбирующих материалов;

m_i – масса отсорбированного вещества.

Данная модель позволяет учесть сорбцию опасного вещества на различных поверхностях в помещении.

Модели аэродинамики. Для решения уравнения (1) необходимо знать неравномерное поле скорости ветрового потока при обтекании здания и при воздействии на ветровой поток защитных экранов, воздушной завесы. Для решения этой аэродинамической задачи применяются две модели. Первая модель – модель вихревых течений идеальной жидкости. Вторая модель – модель потенциального течения. В рамках первой модели базовые уравнения имеют вид:

1. уравнение Пуассона для функции тока:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega. \quad (2)$$

2. уравнение переноса завихренности $\omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ в воздушном потоке:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u \omega}{\partial x} + \frac{\partial v \omega}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

В рамках данной модели компоненты вектора скорости воздушного потока рассчитываются по зависимостям:

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}; v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (4)$$

Основой второй модели аэродинамики является уравнение для потенциала скорости

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (5)$$

где P – потенциал скорости.

Компоненты вектора скорости потока определяются соотношениями:

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, v = \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (6)$$

Постановка краевых условий для уравнений аэродинамики рассмотрена в [1, 2, 4].

Численное интегрирование моделирующих уравнений. Для численного интегрирования уравнений аэродинамики и массопереноса используется прямоугольная разностная сетка. Для численного интегрирования моделирующих уравнений применяются попеременно – треугольная неявная разностная схема, метод Ричардсона, метод Либмана, метод А.А. Самарского [1, 2, 4]. Для программирования построенных численных моделей использовался ФОРТРАН.

Описание кодов, входящих в разработанный комплекс программ.

1. **Код Jet-2D** – реализует расчет рассеивания примеси в атмосфере с использованием гидродинамической модели отрывных течений невязкой жидкости.

В состав кода входят следующие подпрограммы:

– RUP1 – расчет процесса переноса токсичного вещества на первом и четвертом шаге расщепления (численное решение уравнения транспорта токсичного вещества в атмосфере);

- RUP2 – расчет процесса переноса токсичного вещества на втором и третьем шаге расщепления (численное решение уравнения транспорта токсичного вещества в атмосфере);
- RB – реализация граничных условий для уравнения транспорта токсичного вещества в атмосфере;
- RiW – решение уравнения для переноса завихренности;
- RiPSI – решение уравнения для функции тока;
- RWP – реализация граничных условий для уравнения переноса завихренности;
- RPSIP – реализация граничных условий для уравнения для функции тока;
- RSP – расчет поля скорости воздушного потока в расчетной области;
- RPE – печать результатов расчета;
- RWVX.dat – файл исходных данных.

Данный код позволяет рассчитать эффективность применения воздушной завесы для снижения величины пиковых концентраций возле здания.

2. **Код “SHIELD” (и последующая его модификация – код InFLOW-2D)** – реализует расчет рассеивания примеси в атмосфере с использованием гидродинамической модели потенциального течения.

В состав кода входят следующие подпрограммы:

- RUP1 – расчет процесса переноса токсичного вещества на первом и четвертом шаге расщепления (численное решение уравнения транспорта токсичного вещества в атмосфере);
- RUP2 – расчет процесса переноса токсичного вещества на втором и третьем шаге расщепления (численное решение уравнения транспорта токсичного вещества в атмосфере);
- RB – реализация граничных условий для уравнения транспорта токсичного вещества в атмосфере;
- NPOT – решение уравнения для потенциала скорости;
- UVN – расчет компонент вектора скорости ветрового потока;
- KH – численное решение уравнения Harrison @ Huber;
- NNEU – расчет процесса химического взаимодействия «опасное вещество + нейтрализатор»;
- RPE – печать результатов расчета.
- NW.dat – файл исходных данных.

Данный код позволяет рассчитать эффективность применения защитных экранов, метода нейтрализации и воздушной завесы для снижения величины пиковых концентраций возле здания.

Практическая реализация CFD модели. Для практической реализации разработанного комплекса программ необходимо задать следующую информацию:

1. параметры метеоситуации;
2. положение зданий и их форму;

3. вид защиты – экран, нейтрализация, воздушная завеса;
4. положение места воздухоудовки, создающей воздушную завесу; скорость вдува и ширину участка вдува (положение защитного экрана, его размеры, форма; положение установки, подающей нейтрализатор, вид реагента, интенсивность подачи реагента);
5. координаты рецептора;
6. концентрацию опасного вещества на входе в расчетную область;
7. объем помещения, площадь сорбирующих поверхностей, расход воздуха Q , подаваемый для вентиляции помещения.

На рис.1 представлена зона загрязнения возле здания, где применяется воздушная завеса. Расчет выполнен с помощью разработанного комплекса программ.

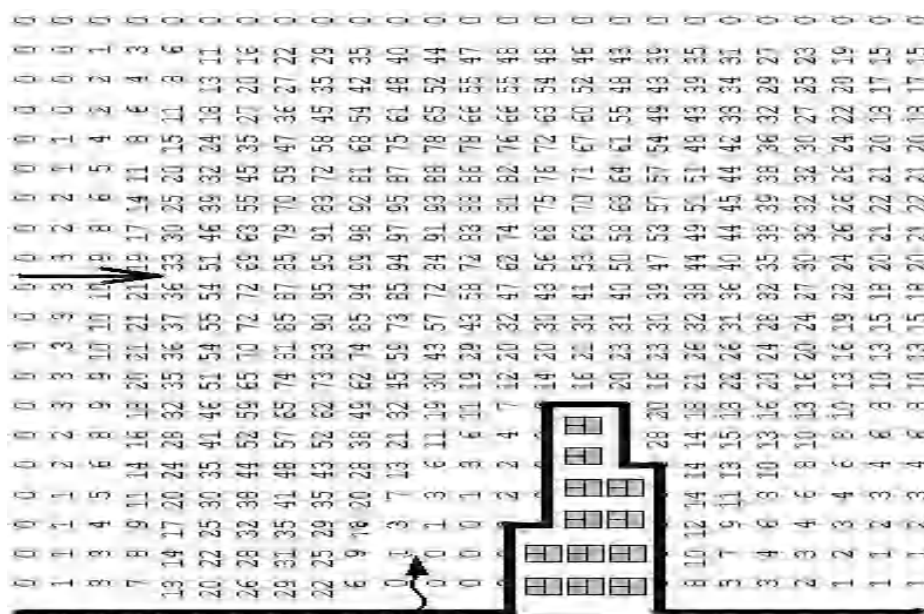


Рис.1. Зона загрязнения возле здания, где применяется воздушная завеса (концентрация HCN).

Из рис.1 хорошо видно, что применение воздушной завесы позволяет снизить уровень загрязнения возле здания и минимизировать тем самым поступление загрязнения в здание.

В заключение отметим, что расчет на базе разработанных моделей составляет порядка 10с компьютерного времени.

Выводы. В работе представлены новые модели для решения ряда задач СИП. Для практической реализации на ПК моделей требуется несколько секунд времени, что является крайне важным для ее практического применения как в режиме «on-line», так и в случае проведения серийных расчетов при разработке ПЛАСа (план ликвидации аварийной ситуации). Разработанные

модели может служить эффективным инструментом решения комплекса задач в области экологической и промышленной безопасности.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Беляев Н. Н.** Защита атмосферы от загрязнения при миграции токсичных веществ: Монография / Н. Н. Беляев, В. М. Лисняк.– Д.: ООО «Инновация», 2006. – 150 с.

2. **Беляев Н. Н.** Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций: Монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П.Б. Машихина. – Д.: «Акцент ПП», 2013. – 159 с.

3. **Берлянд М. Е.** Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / Берлянд М. Е.– Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.

4. 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.

5. Методика прогнозування наслідків впливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті. – К., 2001. – 33 с.

6. **Belayev N. N.** Computer simulation of the pollutant dispersion among buildings / N. N. Belayev, M. I. Kazakevitch, V. K. Khrutch // Wind Engineering into 21st Century: Proceedings of the Tenth Intern. Conf. on Wind Engineering, Copenhagen (Denmark) A. A. BALKEMA / Rotterdam - BROOKFIELD, 1999.– P. 1217-1220.

7. **Biliaiev M.M.** Numerical simulation of indoor air pollution and atmosphere pollution for regions having complex topography / M. M. Biliaiev, M. M. Kharytonov / Conference Abstracts of 31st NATO / SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and it's Application, 27 September – 01 October, Torino, Italy, 2010. № P1.7.