

2. Запорожец О. І. Принципи моделювання динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях / О. І. Запорожец, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісник НАУ. – 2011. – №2. – С.120–124.
3. Бахрушин В. Е. Моделирование распределения концентрации ионов вблизи ионизатора / В. Е. Бахрушин, М. А. Игнашина, Д. В. Вергинский, А. Ю. Евсюков // Складні системи та процеси. – 2002. – №1. – С.30–36.
4. Толкунов И. А. Теоретическое исследование процессов переноса аэроионов в потоках воздуха в помещениях специального назначения МЧС Украины / И. А. Толкунов, И. И. Попов, В. В. Барбашин // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2010. – Випуск 11. – С.137-145.
5. 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.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.
Надійшла до редакції 20.01.15*

УДК 519.6

© В.В. Беляева, А.В. Берлов

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРИ АВАРИИ НА ХИМИЧЕСКИ-ОПАСНОМ ОБЪЕКТЕ

Представлена численная модель, позволяющая оперативно рассчитать динамику загрязнения атмосферного воздуха и риска токсичного поражения людей при чрезвычайной ситуации на химически - опасном объекте. Рассмотрено применение построенной модели для расчета динамики загрязнения атмосферы в случае аварийного выброса химически-опасного вещества в хранилище твердого ракетного топлива.

Представлена чисельна модель, що дозволяє оперативно розрахувати динаміку забруднення атмосферного повітря і ризику токсичного ураження людей під час надзвичайної ситуації на хімічно - небезпечному об'єкті. Розглянуто застосування побудованої моделі для розрахунку динаміки забруднення атмосфери в разі аварійного викиду хімічно-небезпечної речовини в сховище твердого ракетного палива.

A numeral model allowing operatively to compute the dynamics of contamination of atmospheric air and risk of toxic defeat of people at an emergency on chemically is worked out - dangerous object. The application of the model constructed to calculate the dynamics of air pollution in the event of an accidental release of chemical hazardous substances in the vault of solid rocket propellant.

Вступление. Как известно на территории Павлоградского химического завода в специальных хранилищах (рис.1.) находится твердое ракетное топливо ракетной системы РС-22 (рис.2).

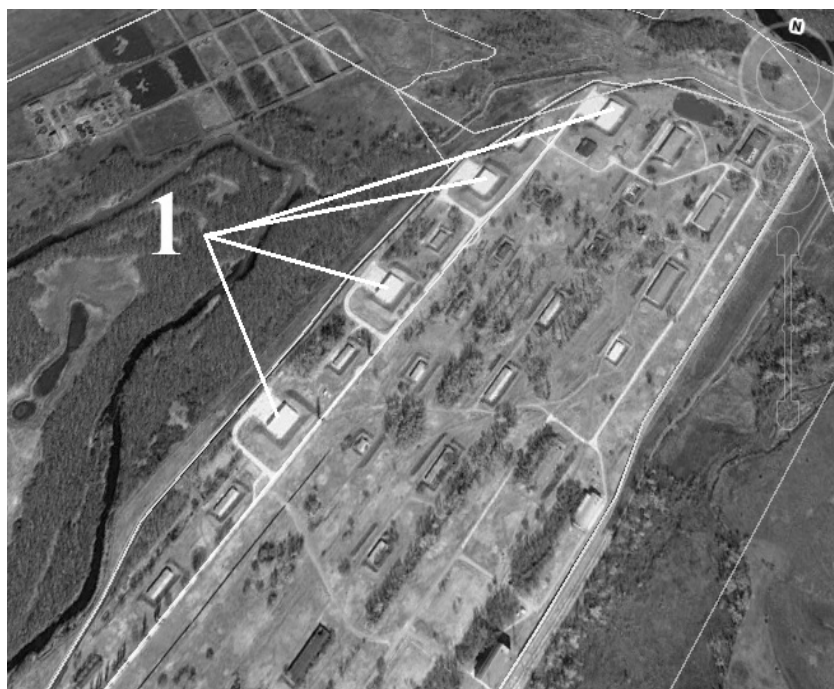


Рис.1. Общий вид хранилищ на территории завода: 1 – хранилище твердого ракетного топлива



Рис.2. Межконтинентальная баллистическая ракета РС-22 («Scalpel»)

Поэтому возникает важная задача по оценке уровня загрязнения атмосферы в случае чрезвычайной ситуации в данном хранилище (диверсия). Одним из сценариев выброса опасных веществ в атмосферу, в этом случае, может быть краткосрочная эмиссия следующих продуктов горения: CO , Al_2O_3 , HCl , NO_2 , диоксины и др. В этом случае крайне важна оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха при такой чрезвычайной ситуации.



Рис.3. Вид расчетной области: 1 – Павлоградский район, 2 – Юрьевский район

Анализ существующих решений. В настоящее время, в Украине, при оценке зон химического поражения в случае аварий на химически-опасных объектах используется нормативная методика, которая основывается на применении эмпирических моделей. Кроме этого применяются аналитические модели и в частности модель Гаусса для прогноза аварийного загрязнения атмосферы [3]. Эти модели позволяют оперативно рассчитать зону загрязнения, но только для упрощенных ситуаций типа точечный постоянно действующий источник выброса или точечный мгновенный выброс. Для практики важно иметь эффективные математические модели, которые позволяли бы прогнозировать зону химического загрязнения с максимальным учетом физических факторов, влияющих на процесс переноса и позволяющих оценивать риск токсичного поражения людей. Такие модели получили название «diagnostic models» [1,2,5].

Целью данной работы является разработка математической модели для оценки уровня загрязнения атмосферы при горении твердого ракетного топлива РС-22 в случае дальнего переноса загрязнителя (масштаб «county»).

Математическая модель. Процесс распространения примеси в атмосфере основывается на применении осредненного по высоте переноса H уравнения Г.И. Марчука [1,3,4]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + Q(t) \cdot \delta(x - x_0) \cdot \delta(y - y_0), \quad (1)$$

где C – концентрация примеси (CO); u, v – компоненты вектора скорости движения ветрового потока; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициенты атмосферной диффузии; t – время; Q – интенсивность эмиссии; x_0, y_0 – координаты источника эмиссии; $\delta(x - x_0), \delta(y - y_0)$ – дельта функция Дирака.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работах [1,2].

Метод решения. Для численного интегрирования уравнения (1) используется неявная разностная схема расщепления [1,2].

Практическая реализация модели. Моделируется следующая ситуация. Полагается, что в результате диверсии на территории Павлоградского химического завода (места расположения хранилищ с твердым ракетным топливом) происходит залповый выброс CO. Прогноз загрязнения атмосферы при данной чрезвычайной ситуации проводится при следующих исходных данных: размеры расчетной области 67км*62км; интенсивность эмиссии – 18 т; высота усреднения – 600м; $\sigma = 0$; скорость ветра – 7 м/с; значение коэффициентов диффузии $\mu_x = \mu_y = 3 \text{ м}^2 / \text{с}$.

Результаты параметрических исследований. Рассмотрим результаты моделирования, полученные на базе разработанной численной модели. На приведенных ниже рисунках (рис.4-6) представлена динамика формирования зоны загрязнения в атмосфере для различных моментов времени после выброса загрязнителя.

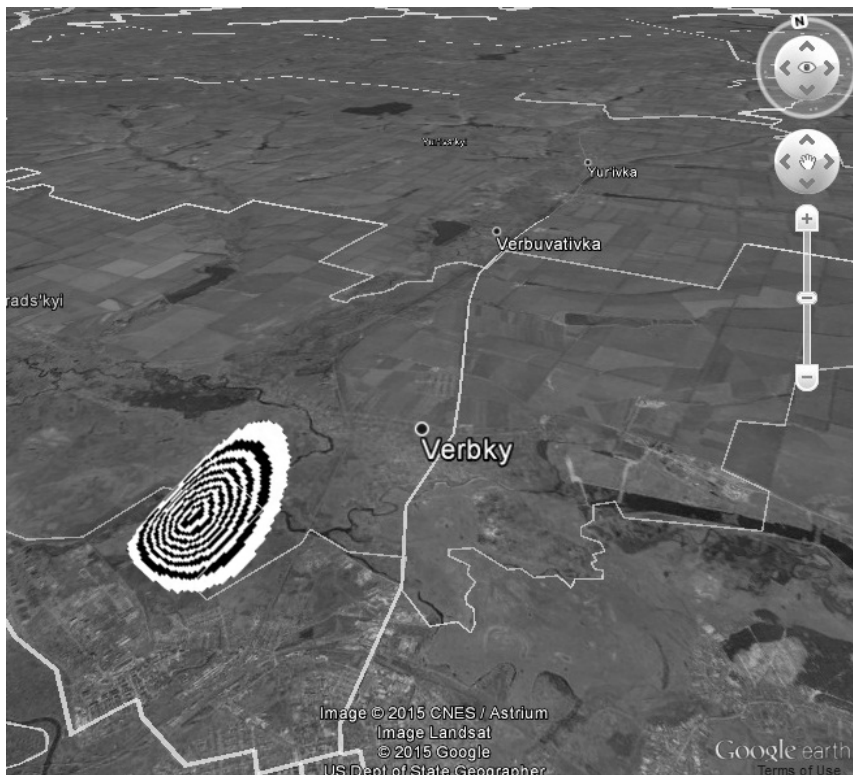


Рис .4. Зона загрязнения атмосферы для момента времени $t = 23$ мин

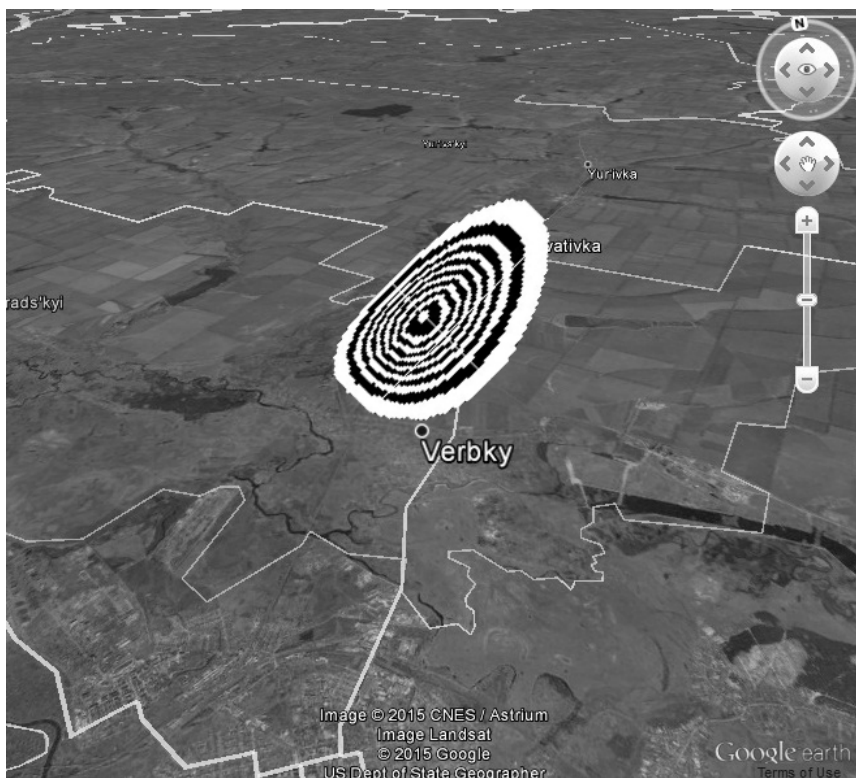


Рис.5. Зона загрязнения атмосферы для момента времени $t = 40$ мин

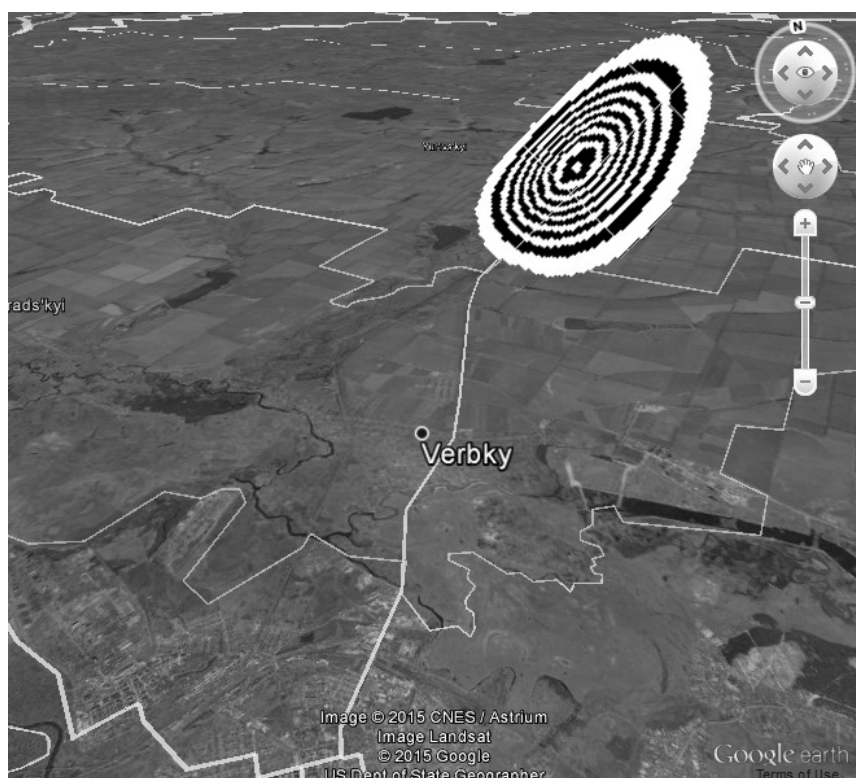


Рис.6. Зона загрязнения атмосферы для момента времени $t = 49$ мин

Как видно из данных рисунков происходит формирование достаточно обширной зоны загрязнения в атмосфере. Поскольку моделировался

«залповый» выброс, то зона загрязнения имеет вид не шлейфа, а пятна, которое расширяется за счет атмосферной диффузии и сносится в направлении движения воздушных масс. Достаточно быстро зона загрязнения достигает соседнего Юрьевского района и создает угрозу химического загрязнения непосредственно в п.г.т. Юрьевка.

Отметим, что затраты компьютерного времени составили 2 секунды на решение задачи, т.е. предложенная математическая модель позволяет оперативно проводить серийные расчеты, что крайне важно при оценке зон химического заражения когда производится разработка ПЛАСа (план ликвидации аварийной ситуации).

Выводы. В статье представлена эффективная численная модель для расчета процесса загрязнения атмосферы при выбросе опасных веществ. Результаты проведенного вычислительного эксперимента, полученные на основе разработанной модели, показали, что в случае диверсии на территории Павлоградского химического завода произойдет опасное загрязнение атмосферы на значительном расстоянии от источника эмиссии и загрязнению подвергнутся прилегающие районы. В этой связи необходимо предусмотреть соответствующие защитные мероприятия, которые бы позволяли снизить риск поражения людей в соседних районах области.

Дальнейшее развитие данной тематики следует проводить в направлении создания 3-D модели аварийного загрязнения атмосферы при чрезвычайной ситуации в хранилище твердого ракетного топлива.

Список литературы

6. 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.
7. Беляев Н. Н. Моделирование нестационарных процессов аварийного загрязнения атмосферы: Монография / Н. Н. Беляев, А. В. Берлов, П. Б. Машихина. – Д.: «Акцент ПП», 2014. – 127 с.
8. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
9. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Марчук Г. И. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
10. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography / M. Biliaiev // Springer: Air Pollution Modeling and its Application XXI, 2012. pp.87 – 91.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.
Надійшла до редакції 25.01.2015*