

УДК 622.012: 502.3

Н. Н. БЕЛЯЕВ – д.т.н., профессор, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, кафедра «Гидравлика и водоснабжение», gidravlika2013@mail.ru

А. В. БЕРЛОВ – инженер, инженер, Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара, кафедра «Аэрогидромеханика и энергомассоперенос», berlov@bigmir.net

Е. Ю. ГУНЬКО – к.т.н., доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, кафедра «Гидравлика и водоснабжение», gidravlika2013@mail.ru

ОЦЕНКА УРОВНЯ АВАРИЙНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ И СОЦИАЛЬНОГО РИСКА В СЛУЧАЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ОПАСНОГО ГРУЗА

Статью представил д. т. н., проф. В. Д. Петренко

Постановка проблемы

Железнодорожный транспорт перевозит большое количество опасных грузов. В частности, таким специфическим грузом является твердое ракетное топливо (ТРТ) ракеты РС-22. Перевозка данного топлива может происходить при доставке его в хранилища или из хранилищ, размещенных, в частности на территории Павлоградского химического завода (рис.1). В этом случае возникает угроза теракта при его транспортировке. Результатом такого теракта может быть детонация топлива и выброс в атмосферу большого количества химически опасных веществ. Исходя из того, что рядом с данным заводом находится г. Павлоград (рис. 1), то возникает актуальная задача – прогноз динамики загрязнения атмосферы при теракте в случае детонации твердого ракетного топлива и оценка риска токсичного поражения людей в г. Павлоград.

Анализ последних исследований и публикаций

В Украине, для прогноза последствий аварий на химически опасных объектах и

транспорте используются нормативная методика или методика РД 52.04.253-90.

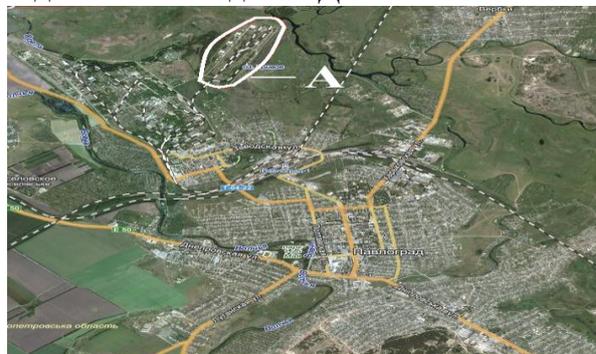


Рис. 1. Положение хранилища твердого ракетного топлива (зона А) возле г. Павлоград

Обе методики основаны на применении эмпирических формул. Недостатком данных методик является отсутствие прямого учета скорости ветра, атмосферной диффузии на процесс формирования зоны загрязнения.

В Украине также применяются аналитические модели и в частности модель Гаусса для прогноза аварийного загрязнения атмосферы. Эти модели позволяют оперативно рассчитать зону загрязнения, но для упрощенных ситуаций типа точечный постоянно действующий источник выброса или точечный мгновенный выброс [8]. Кроме этого, при применении моделей Гаусса необ-

ходимо научное обоснование значений коэффициентов дисперсии для территории Украины, которое в настоящее время - отсутствует. Для практики важно иметь гибкие 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, как на открытом пространстве, так и внутри помещений. Такие модели получили название «diagnostic models».

Цель

Целью данной работы является разработка численной модели для расчета процесса загрязнения атмосферы при детонации твердого ракетного топлива РС-22 и прогнозирование уровня загрязнения атмосферного воздуха в селитебной зоне г. Павлоград.

Рассматривается рассеивание в атмосфере токсичного вещества (диоксины), попавшего в нее при чрезвычайной ситуации (теракт) в случае транспортировки железнодорожным транспортом твердого ракетного топлива РС-22 (рис. 2) по территории Павлоградского химического завода. Цель расчета – исследование динамики загрязнения атмосферы при заданных параметрах метеоситуации и оценка риск токсичного поражения людей, как на открытом пространстве, так и внутри помещений.



Рис. 2. Ракета РС-22

Методика

Процесс рассеивания диоксинов в атмосфере основывается на применении осредненного по высоте переноса H уравнения Г.И. Марчука [2-5,8–10,12,14]

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

где C – концентрация примеси (диоксины); 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 [2, 5, 8].

Модель инфильтрации наружного воздуха в здание.

При оценке социального риска крайне важно прогнозировать уровень загрязнения воздушной среды не только на открытой местности, но и внутри помещений. В данной работе процесс загрязнения воздушной среды в помещении описывается следующим уравнением [13,15]

$$V \frac{dC}{dt} = QC_{np} - QC, \quad (2)$$

где C_{np} – концентрация загрязнителя в приточном воздухе; C – концентрация опасного вещества в выходящем из помещения воздухе; V – объем комнаты; Q – интенсивность воздухообмена; t – время. При применении модели (2) полагается, что концентрация загрязнителя в помещении равна C .

Интенсивность воздухообмена рассчитывается с помощью следующего уравнения [15]

$$Q = ELA \cdot \sqrt{f_s^2 |\Delta T| + f_w^2 U^2}, \quad (3)$$

где f_s – параметр, учитывающий процесс инфильтрации через потолок и пол; f_w – параметр, учитывающий наличие возле здания иных объектов; ELA – площадь инфильтрации; ΔT – перепад температур между температурой внутри помещения и снаружи; U – скорость ветра. При расчетах полагалось, что параметры f_s, f_w равны 0.15.

Численное интегрирование моделирующих уравнений. Для численного интегрирования уравнения (1) используется попеременно – треугольная неявная разностная схема расщепления [2,12]. Для численного интегрирования уравнения (2) используется метод Эйлера [11]. Кодирование численных моделей выполнено на языке FORTRAN.

Практическая реализация численной модели

Полагается, что в результате теракта при транспортировке снаряженного двигателя второй ступени РС-22 произошла детонация ТРТ на территории Павлоградского химического завода. Прогноз загрязнения атмосферы при данной чрезвычайной ситуации проводится при следующих исходных данных: размеры расчетной области $12000 \times 6300 \text{ м}^2$; интенсивность эмиссии – 3974 кг (масса диоксинов) [11]; выброс осуществляется в течение $0,005 \text{ с}$; высота усреднения – 600 м ; $\sigma = 0$; скорость ветра – 5 м/с ; направление ветра – северо-западное (это направление можно считать одним из наиболее опасных, с той точки зрения, что при данном направлении в зону действия источника попадают жилые районы города), значение коэффициентов атмосферной диффузии по обоим направлениям – $2,5 \text{ м}^2/\text{с}$; объем комнаты – 51 м^3 ; площадь щелей в комнате, через которые происходит инфильтрация загрязненного наружного воздуха – 0.0055 м^2 ; разница в температуре наружного атмосферного воздуха и воздуха внутри помещения – $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Координаты источника эмиссии $x = 1200 \text{ м}$, $y = 3150 \text{ м}$; координаты рецептора – здания в начале

селитебной зоны г. Павлограда (рис.3) $x = 6480 \text{ м}$, $y = 2850 \text{ м}$; На рис.3 положение рецептора схематично показано белым «кружком» с цифрой 1.

Результаты

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 детонации ТРТ.

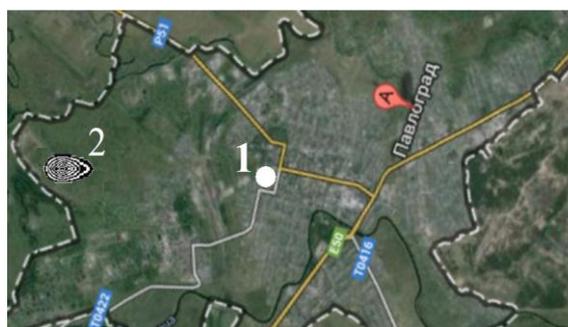


Рис. 3. Место теракта (1 – положение рецептора в жилой зоне, 2 – место теракта)

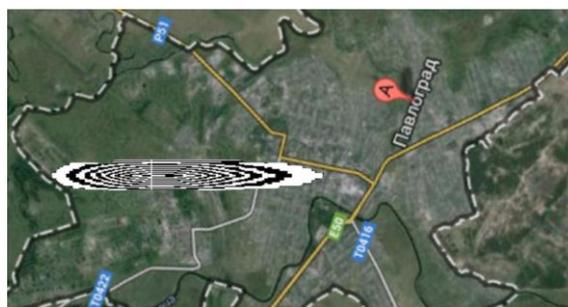


Рис. 4. Зона загрязнения атмосферы диоксидами для момента времени $t = 8 \text{ мин}$

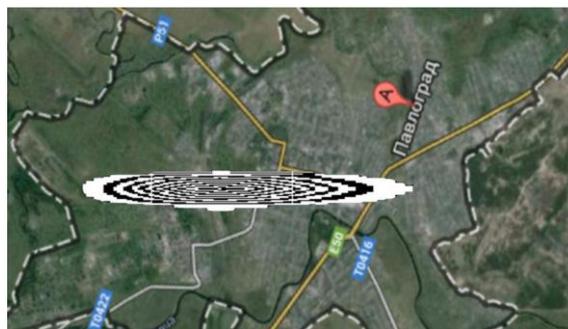


Рис.5. Зона загрязнения атмосферы диоксидами для момента времени $t = 12 \text{ мин}$

Хорошо видно, что в течении короткого промежутка времени селитебная зона в г. Павлоград попадает под влияние источника эмиссии и создается значительная по величине область загрязнения окружающей среды диоксинами. Также очевидно, что формирование зоны загрязнения происходит настолько быстро, что невозможно организовать эвакуацию людей из города и тех районов, которые попадают под влияние источника эмиссии.



Рис. 6. Зона загрязнения атмосферы диоксинами для момента времени $t = 17$ мин

Оценка социального риска

Оценка социального риска – риска токсичного поражения людей в селитебной зоне является заключительным этапом при прогнозе влияния источника эмиссии опасного вещества. Так как выброс опасного вещества имеет место возле г. Павлоград, то крайне важным вопросом является прогноз токсичного поражения людей в городе. Для оценки риска поражения людей на открытой местности и в помещении рассчитывалась относительная концентрация опасного вещества

$$C_R = \frac{C}{ПДК}, \quad (4)$$

где C – концентрация опасного вещества в расчетной точке (точка нахождения рецептора), $ПДК=0,01 \text{ мг/м}^3$ (по фурану).

В табл.1 представлено это значение относительной концентрации опасного вещества на открытой местности и внутри помещения для рецептора, который условно обозначен цифрой 1 на рис. 3.

Как видно из табл. 1 через 15 минут концентрация диоксинов на открытой местности во много раз будет превышать ПДК, что создает риск токсичного поражения людей. Несмотря на то, что внутри помещения концентрация диоксинов будет превышать ПДК примерно в три раза, остается риск для людей, поскольку хорошо известна способность диоксина накапливаться в организме.

Таблица 1

Значение относительной концентрации диоксинов после выброса продуктов детонации

Время t	Относительная концентрация CR (открытая местность)	Относительная концентрация CR (помещение)
7 мин	1,8	0,04
9 мин	8,1	0,24
15 мин	50	3,27

Научная новизна и практическая значимость

Разработана численная модель, позволяющая оперативно рассчитать динамику загрязнения атмосферного воздуха и риска токсичного поражения людей при чрезвычайной ситуации на транспорте, сопровождающейся выбросом химически опасного вещества. Особенностью модели является использование стандартной исходной информации и быстрота в получении расчетных данных, что важно при проведении

серийных расчетов по оценке размеров зон поражения.

Выводы

В работе 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 теракта на территории Павлоградского химического завода при транспортировке твердого ракетного топлива РС-22 создается угроза токсичного поражения людей в г. Павлоград.

Для расчета рассеивания опасного вещества в атмосферном воздухе используется двухмерное уравнение переноса примеси. Дальнейшее развитие данной тематики следует проводить в направлении создания 3-D модели аварийного загрязнения атмосферы при чрезвычайной ситуации на транспорте.

Библиографический список

1. Авария и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий [Текст] / Под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаева. – Москва: Изд-во АСВ, 2001 – 320 с.
2. Беляев, Н. Н. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций [Текст]: монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П. Б. Машихина. – Днепропетровск: «Акцент ПП», 2013. – 159 с.
3. Беляев, Н. Н. Прогнозирование загрязнения приземного слоя атмосферы при горении твердого ракетного топлива в хранилище [Текст] / Н. Н. Беляев,

А. В. Берлов // Збірник наукових праць НГУ. – Днепропетровск: Національний гірничий університет, 2013. – № 42. – С.160-167.

4. Берлов, А. В. Расчет загрязнения приземного слоя атмосферы при горении твердого ракетного топлива [Текст] / А. В. Берлов // Збірник наукових праць «Науковий вісник будівництва» – Харків: Харківський національний університет будівництва та архітектури, 2014. – №1(75). – С.185-189.
5. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы [Текст] / М. Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
6. Гусев, Н. Г. Радиоактивные выбросы в биосфере [Текст] / Н. Г. Гусев, В. А. Беляев. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 257 с.
7. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды [Текст] / Ю. А. Израэль. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
8. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г. И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
9. Машихина, П. Б. Моделирование распространения примеси в атмосфере с учетом рельефа местности [Текст] / П. Б. Машихина // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 27. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2009 – С. 138–142.
10. Самарский, А. А. Теория разностных схем. [Текст] / А. А. Самарский. – Москва: Наука, 1983. – 616 с.
11. Устименко, Е. Б. К вопросу об экологических последствиях утилизации ракет-

- ных двигателей твердого топлива методом взрывания [Текст] / Е. Б. Устименко // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 5. – С. 78-82.
12. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
13. Эльтерман, В. М. Вентиляция химических производств [Текст] / 3-е изд., перераб. – М.: Химия. – 1980. – 288 с.
14. Biliaiev, M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography [Text] / M. Biliaiev – Springer: Air Pollution Modeling and its Application XXI, 2012. – pp. 87-91.
15. Wanyu, R. Chan, Effectiveness of Urban Shelter-in-Place II: Residential Districts.

Lawrence Berkeley / R. Chan/ Wanyu, W. Nazaroff William, N. Price Phillip, J. Gadgil Ashok – National Library. – 2008. – May 15. – 14 p.

Ключові слова: забруднення атмосфери, ракетне паливо, інфільтрація небезпечних речовин в приміщенні, чисельне моделювання

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, ракетное топливо, инфильтрация опасных веществ в помещение, численное моделирование

Keywords: contamination of atmosphere, rocket propellant, infiltration of toxic chemical into apartment, numeral simulation

Надійшла до редколегії 02.04.2013