

ЛИТЕРАТУРА:

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: Учеб. Пособие. В 6-ти кн. / Под ред. В.А. Котляревского и А.В. Забегаяева. – М.: Изд-во АСВ, 2001. – 200 с.
2. Антошкина Л.И. Оценка экологического риска при авариях с химически опасными веществами / Л.И. Антошкина, Н.Н. Беляев, Е.Ю. Гунько – Д.: Наука и образование, 2008. – 136 с.
3. Басманов А.Е. Зонирование местности в районе непрерывно действующего источника опасного химического вещества / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков, М.В. Васильев // Збірка наукових праць «Проблеми надзвичайних ситуацій». – 2011. – Вип. 13. – С. 20 – 33.
4. 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.
5. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 273 с.
6. Бруцкий Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Бруцкий Е.В. – К.: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
7. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Марчук Г.И. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
8. Самарский А. А. Теория разностных схем / Самарский А.А. – М.: Наука, 1983. – 616с.
9. Соботович Е. В. Аварія з фосфором у Львівській області: факти, проблеми, екологічні наслідки / Е. В. Соботович, Г. В. Лисиченко, Ю. Л. Забулонов, В. В. Ковалевський, М. Г. Бондаренко, Б. В. Сліпченко // Вісник Інституту геохімії навколишнього середовища. – 2007. – Вип. 14. – С. 8–18.
10. 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.

УДК 519.6

Беляев Н.Н., Берлов А.В., Кириченко П.С.

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
им. академика В. Лазаряна*

ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Вступление. Железнодорожный транспорт осуществляет перевозку в больших масштабах химически опасных грузов и в частности компонентов ракетного топлива. К числу наиболее опасных источников возможного химического загрязнения окружающей среды при авариях, диверсиях на железной дороге относится твердое ракетное топливо (ТРТ) ракетной системы РС-22 (рис. 1). При таких чрезвычайных ситуациях происходит возгорание ракетного топлива, которое сопровождается интенсивной эмиссией химически опасных веществ в атмосферу. Это создает угрозу масштабного загрязнения окружающей среды и риска токсичного пора-

жения людей не только вблизи места аварии, но и на значительном расстоянии от нее. Поэтому, одной из важных задач в области экологической безопасности является прогноз уровня загрязнения атмосферного воздуха при чрезвычайной ситуации при транспортировке ракетного топлива и разработка технологий по минимизации уровня загрязнения воздушной среды. Решение данной задачи составляет основу разработки ПЛАСа (план ликвидации аварийной ситуации). Как известно в соответствии с законом Украины «Об объектах повышенной опасности» данный документ обязан быть разработан для потенциально опасных объектов.



Рис. 1. Перевозка снаряженных корпусов твердотопливных ракетных двигателей РС-22 железнодорожным транспортом

Анализ литературы. Прогноз уровня загрязнения атмосферы в случае аварий на железнодорожном транспорте выполняется с помощью нормативной методики оценки последствий аварийных ситуаций на транспорте и методики ОНД-86 [4]. Данные методики являются эмпирическими и не учитывают скорость ветра, атмосферную диффузию на процесс формирования зоны загрязнения. Кроме этих методик для решения задач данного класса также применяются различные аналитические модели и модель Гаусса [2, 8]. Эти модели позволяют быстро рассчитать зону загрязнения, но только для упрощенных ситуаций типа точечный постоянно действующий источник выброса или точечный мгновенный выброс [2]. Сейчас осуществляется активная разработка CFD моделей для решения задач прогноза аварийного загрязнения атмосферы. Это связано с тем, что модели данного класса позволяют максимально учитывать те физические факторы, которые оказывают влияние на формирование зон загрязнения [1, 3, 5, 6, 7].

Целью данной работы является разработка метода защиты атмосферы от загрязнения продуктами горения твердого ракетного топлива и создание численной (CFD) модели для обоснования принимаемых технических решений.

Описание технологии защиты атмосферы. При горении ТРТ в атмосферу будут поступать различные загрязняющие вещества, и произойдет масштабное загрязне-

ние воздушной среды [1]. Особую опасность вызывает эмиссия хлористого водорода. Поэтому возникает важная задача по уменьшению уровня загрязнения атмосферы при возможной диверсии.

Здесь следует подчеркнуть особенность рассматриваемой задачи, с точки зрения защиты атмосферы и людей от загрязнения:

Эмиссия продуктов горения – очень мощная, но происходит в течение короткого промежутка времени.

За короткое время не успевают подъехать аварийные бригады к месту чрезвычайной ситуации.

Таким образом, возникает важная задача по разработке такой технологии локализации источника эмиссии, которая позволила бы быстро и эффективно защитить атмосферу от загрязнения.

По рекомендациям МЧС для нейтрализации HCl в атмосфере предлагается использовать раствор NaOH. Однако технология такой нейтрализации предусматривает подъезд насосной установки и емкости с реагентом к месту аварии и подачи реагента в шлейф токсичного газа. При такой технологии необходимо большое время на прибытие восстановительного поезда или подразделений МЧС. При такой длительной задержке может произойти полное выгорание ТРТ, образование значительной зоны загрязнения в атмосфере, которая распространяясь, приведет к загрязнению прилегающих к месту аварии (диверсии) регионов. Чтобы минимизировать масштаб загрязнения и риск токсичного поражения людей в случае чрезвычайной ситуации при транспортировке ТРТ предлагается иная технология, направленная на локализацию источника эмиссии продуктов горения ТРТ. Предлагается включить в состав поезда, который транспортирует ТРТ, вагон с насосной установкой и цистерну с запасом нейтрализующего раствора. Также предлагается включить буферный вагон между вагоном, где транспортируется ТРТ и вагоном с насосной установкой. Этот буферный вагон будет служить «экраном» для защиты вагона с насосной установкой от теплового

воздействия при горении ТРТ. При такой технологии организуется быстрая подача нейтрализующего раствора в шлейф продуктов горения и тем самым минимизируется время свободного поступления продуктов горения ТРТ в атмосферу. Кроме этого, в отличие от традиционной схемы подачи нейтрализатора в виде струи предлагается подача реагента через спринклер,

который размещен на выдвижной штанге (рис. 2). Это связано с тем, что температура продуктов горения ТРТ в атмосфере – высока и если используется традиционная подача в виде струи, то произойдет быстрое испарение капель реагента на пути его движения от струйной установки до шлейфа.

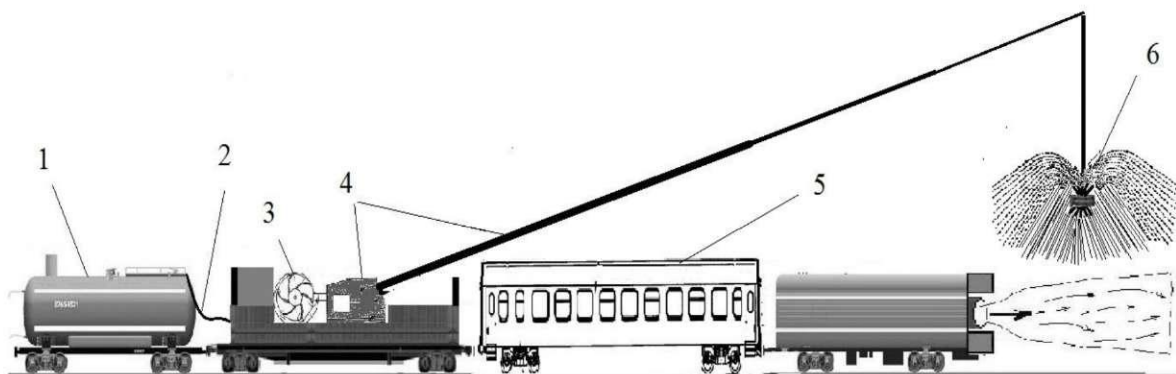


Рис. 2. Схема подачи нейтрализатора в струю продуктов горения ТРТ (предлагаемый вариант подачи от выдвижной стрелы со спринклером): 1 – емкость с реагентом, 2 – трубопровод, 3 – насосная установка, 4 – выдвижная стрела, 5 – пассажирский (буферный) вагон, 6 – спринклер

При подаче реагента через спринклер, установленный на выдвижной штанге такие потери можно избежать. Это достигается путем размещения на головке спринклера набора трубок, через которые происходит подача нейтрализатора в шлейф продуктов горения (рис. 3).

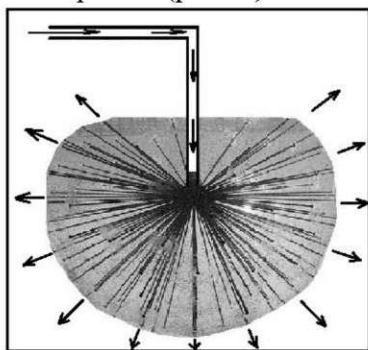


Рис. 3. Схема предлагаемого спринклера при подаче реагента для нейтрализации опасных веществ

Очевидно, что для эффективной локализации источника эмиссии продуктов горения ТРТ необходимо два основных условия:

Максимально быстрая, после начала горения ТРТ, подача нейтрализатора в шлейф.

Обеспечение эффективной нейтрализации, за счет правильного подбора количества реагента и места его подачи.

Реализация первого условия может быть достигнута за счет применения предлагаемой выше технологии – когда оборудование для подачи реагента, емкость реагента включены в состав поезда, который транспортирует ТРТ.

Однако реализация второго условия требует проведения расчетов, поскольку постановка и проведение физического эксперимента практически нереализуема. Единственным средством решения задачи по определению эффективности метода нейтрализации и обоснования рациональных параметров нейтрализации может быть вычислительный эксперимент.

Для моделирования процесса нейтрализации HCl использовались следующие уравнения, составляющие основу разработанной численной модели:

- уравнения Навье-Стокса для определения поля скорости ветрового потока при обтекании вагона и выхода струи продуктов горения из этого вагона (рис.4) [1];
- уравнение массопереноса HCl в атмосфере [1];
- уравнение массопереноса NaOH в атмосфере;
- уравнение химического взаимодействия хлористого водорода с NaOH:

$$\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}.$$

Данное уравнение позволяет рассчитать, какое количество щелочи необходимо для нейтрализации опасной примеси.

Алгоритм расчета решения задачи по нейтрализации продуктов горения ТРТ заключается в следующем:

- решается аэродинамическая задача по определению поля скорости ветрового потока;
- рассчитывается перенос HCl в атмосфере при эмиссии его из вагона (рис.4);
- рассчитывается перенос нейтрализатора в атмосфере;
- рассчитывается процесс химического взаимодействия (HCl+нейтрализатор);
- расчет повторяется, начиная с пункта 2.

Разработанная методология была использована для оценки эффективности процесса нейтрализации HCl.

Рассматривалась следующая ситуация: происходит выброс продуктов горения ТРТ вблизи здания на станции «Павлоград-1». Размеры расчетной области 75м*26м. Скорость ветра 7 м/с, скорость выхода продуктов горения из вагона 20 м/с. Расчет выполнялся для следующих вариантов задачи:

- нет подачи нейтрализатора;
- подача реагента осуществляется на высоте 3,5м; интенсивность подачи нейтрализатора 8 кг/с.

При проведении вычислительного эксперимента полагалось, что процесс

нейтрализации начинается в момент времени $t=15\text{с}$, а до этого момента времени струя продуктов горения ТРТ свободно развивается в атмосфере.

На последующих рисунках показана зона загрязнения атмосферы в случае рассматриваемых вариантов. Первый рисунок (рис.4) соответствует ситуации, когда отсутствует подача реагента. На втором рисунке (рис.5) представлена зона загрязнения при подаче реагента.

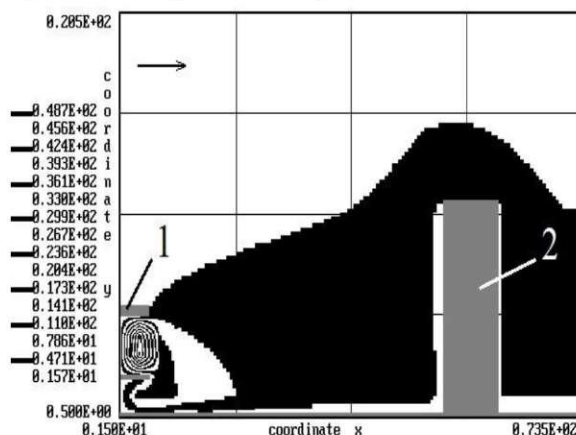


Рис. 4. Зона загрязнения атмосферы при отсутствии подачи реагента ($t = 120 \text{ с.}$): 1 – вагон с ТРТ, 2 – здание на примыкательной территории

В табл. 1 представлены данные по оценке нейтрализованного HCl для различных моментов времени. Хорошо видно, что подача реагента в указанном месте позволяет нейтрализовать более 60% хлористого водорода, поступившего в атмосферу.

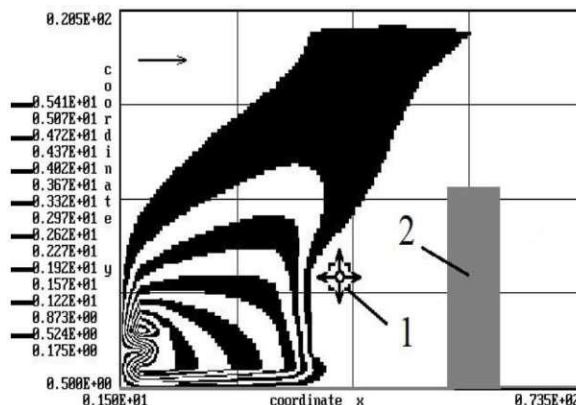


Рис. 5. Зона загрязнения атмосферы при подаче реагента ($t = 120 \text{ с.}$): 1 – спринклер, 2 – здание на примыкательной территории

Таблица 1 – Эффективность нейтрализации

t	45 сек	75 сек	120 сек
Эффективность нейтрализации	44%	56%	62%

Как видно из представленных рисунков подача нейтрализатора дает возможность уменьшить зону загрязнения атмосферы и тем самым способствует защите примыкающей территории.

Выводы. Разработана эффективная методика защиты атмосферы от загрязнения в случае диверсии при транспортировке твердого ракетного топлива. Для поддержки принятия решений при организации предложенного метода защиты разработана численная модель. На основе разработанной модели выполнена оценка эффективности применения нейтрализатора для локализации зоны загрязнения в случае горения твердого ракетного топлива в железнодорожном вагоне.

ЛИТЕРАТУРА:

1. 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.
2. Бруцкий Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е. В.

- Бруцкий. – К.: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
3. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 316 с.
4. Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті. – К., 2001. – 33 с.
5. 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.
6. Belyaev M. Air Pollution Modelling of Technogenic Catastrophes caused by Terrorist Attacks on Rail Transport of Chemical Substances.// Simulation and Assessment of Chemical Processes in a Multiphase Environment . NATO Science for Peace and / Security Series. – С.: Environmental Security, Springer, 2007. P.327 – 336.
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. – Torino, Italy, 2010. – № P1.7.
8. Hanna S. Air Quality Modeling Over Short Distances.// College on Atmospheric Boundary Layer and Air Pollution Modeling: 16 May-3 June 1994. №SMR/760-2 – P. 712 – 743.

УДК 504.06:51-74:628.3

Самохвалова А.И., Лебедева Е.С., Юрченко В.А.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИРОДООХРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕЙСТВИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ

Для планирования эксперимента прежде всего необходима модель самого эксперимента и, как правило, математическая. В качестве таковой может рассматриваться то или иное уравнение, описывающее зависимость между значе-

ниями факторов и параметром оптимизации, то есть функция отклика. Как правило, стараются выбрать линейную модель, которая имеет следующий вид:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots \quad (1)$$