

УДК 004.9:504:519.6

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ
ЖЕЛТОГО ФОСФОРА В РЕЗУЛЬТАТЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВАРИИ
16 ИЮЛЯ 2007 г. ВОЗЛЕ с. ОЖИДОВ ЛЬВОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

И.В. Ковалец, М.И. Железняк, В.С. Мадерич

Институт проблем математических машин и систем НАН Украины

e-mail: ik@env.com.ua

Введение

В Институте проблем математических машин и систем НАН Украины (ИПММС) разработана и поддерживается в оперативном режиме система численного прогноза погоды для территории Украины на основе региональных моделей прогноза погоды MM5 и WRF [1]-[3]. Система позволяет получать численные поля метеоэлементов (скорость и направление ветра на разных высотах, температура и др.) на сетке с горизонтальным пространственным разрешением 27*27 км., по которым можно рассчитать распространение загрязняющих веществ в атмосфере от различных приземных источников. Для пересчета метеорологических полей MM5 на более детализированную сетку в районе источника загрязнений с разрешением 6*6 км используется диагностическая метеорологическая модель CALMET [4]. Для расчета переноса загрязняющих веществ в атмосфере в разработанный прогностический - диагностический комплекс для территории Украины адаптирована модель CALPUFF [5], рекомендованная для таких расчетов Агентством по охране окружающей среды США [6]

Разработанный в ИПММС программный комплекс был использован для расчетных оценок последствий выбросов в атмосферу продуктов горения желтого фосфора в результате железнодорожной аварии 16 Июля 2007 г. возле с. Ожидов, Буского района Львовской области. В расчетах использовались метеополы, рассчитанные системой MM5 –Украина для периода с 06 ч. 16 .07.2007 до 18 ч. 16.07.2007.

Результаты расчетов

Был задан «консервативный» сценарий распространения продуктов горения желтого фосфора, основанный на максимальной оценке выбросов продуктов горения в атмосферу и без учета окислительных процессов, уменьшающих количество фосфора в облаке. В рамках этого сценария в качестве источника выброса задавалась постоянная скорость поступления продуктов горения желтого фосфора в течение промежутка времени с 17-00 ч. до 22-00 ч., 16 Июля 2007 г. (время тушения пожара). Скорость сгорания желтого фосфора оценивалась из соотношений для турбулентного горения газовой смеси [7]. Исходя из этих соотношений в качестве количества сгоревшего фосфора за 5 часов пожара принято $q=80$ т. Высота выброса продуктов горения в источнике задавалась равной 10 м. Тот факт, что продукты горения фосфора используются в качестве дымовых завес, что также свидетельствует о том, что высота поднятия дыма невелика.

На рисунках 1-3 представлены изолинии концентраций продуктов горения на высоте 1 м от поверхности земли. В качестве ограничивающей облако изолинии принято значения предельно допустимой концентрации (ПДК) 0.02 мг/м³ для кратковременного вдыхания дыма желтого (для этого же химического вещества используется название белый фосфор) Агентства регистрации токсических веществ США (Agency for toxic substances and disease registry ATSDR) [8]. Отметим, что этим же ведомством дается другая предельно допустимая концентрация – 0.1 мг/м³. Это значение чаще всего появляется в различных публикациях, касающихся аварии. В действительности это значение установлено ATSDR для работников химического производства и представляет

собой концентрацию, интегрируемую за промежуток 40 рабочих часов и деленную на 8 ч. То есть, в течение одного месяца человек не может больше одного часа вдыхать концентрацию $>0.02 \text{ mg/m}^3$.

По Украинскому законодательству, предельно допустимая концентрация фосфора в воздухе рабочих помещений – $0,03 \text{ мг/куб.м}$. Временно допустимая концентрация фосфора в атмосферном воздухе – $0,0005$ миллиграмма на кубический метр. Предельно допустимая концентрация фосфора в воде – $0,0001$ миллиграмма на литр.

При выбросе в атмосферу желтый фосфор окисляется и образуется фосфорный ангидрид, или оксид фосфора P_2O_5 . Это соединение быстро реагирует с находящимся в воздухе водяным паром с образованием фосфорной кислоты H_3PO_4 . Смесь P_2O_5 и H_3PO_4 и образует белый дым, формирующий облако аэрозолей над очагом возгорания. ПДК для оксида фосфора равен 0.15 мг/куб.м .

Фосфорный ангидрид находится в газообразной форме и, попадая в дыхательные органы человека, поражает слизистые оболочки человека, вызывая в горле кашель, доходящий до рвоты, удушье, отек легких, слезотечение и резь в глазах

В момент выброса доминировали почти штилевые условия, безоблачная погода, что приводило к развитию высокого (2.2 км) конвективного пограничного слоя. Скорость ветра в точке выброса $\approx 1.5 \text{ м/с}$. К концу выброса (22 ч.) высота пограничного слоя уменьшалась до 300 м , что приводило к “запиранию” ранее выброшенного вещества над верхней границей ночного пограничного слоя.

В начальный период облако относилось на север в сторону с. Ангеливка (рис.2), а затем с разворотом ветра начался перенос к границе Львовской и Ровенской областей и далее на северо-запад в направлении г.Ровно. В результате облако было перенесено ветром на достаточно большие расстояния $\approx 250 \text{ км}$, достигая окрестностей г. Ровно в 7 ч. утра 17 июля. К 9 ч. утра концентрации фосфора в облаке падает ниже ПДК и дальнейшее его распространение происходит на восток при незначительной концентрации фосфора в приземных слоях атмосферы.

Предварительные результаты моделирования согласуются с информацией Минприроды Украины опубликованной в средствах массовой информации «В воздухе сел Ангеливка и Лесное во Львовской области обнаружено превышение фосфорного ангидрида в десятки раз - его концентрация составляет $3,5 \text{ мг/м куб.}$ при норме $0,15 \text{ мг/м.куб.}$ »

После проведения наших расчетов в прессе появилась следующая информация:

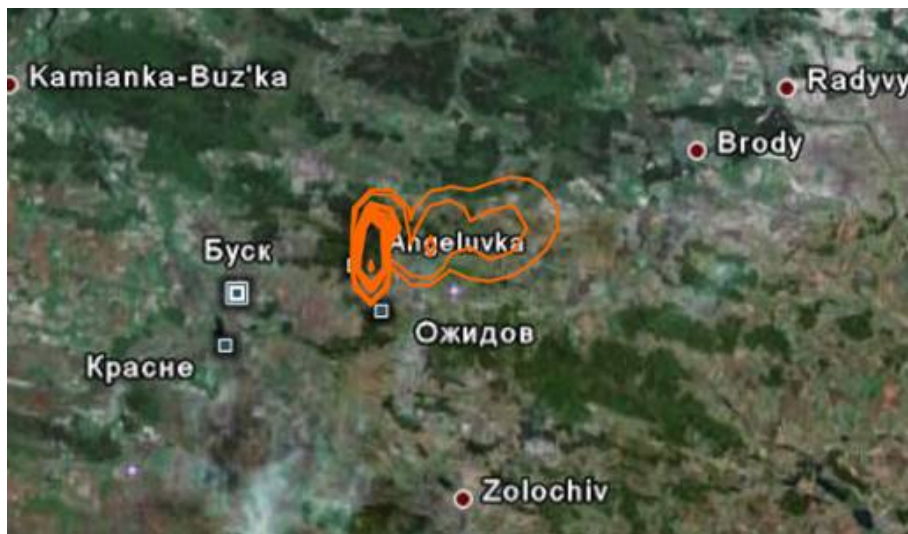


Рис. 1. Концентрация продуктов горения в воздухе вблизи Ожидова 16 Июля 2007 г., 23-00 ч. Показанная граница приземных концентраций равных – $=0.02 \text{ мг/м}^3$.



Рис. 2. Концентрация продуктов горения желтого фосфора, 01-00, 17.07.2007

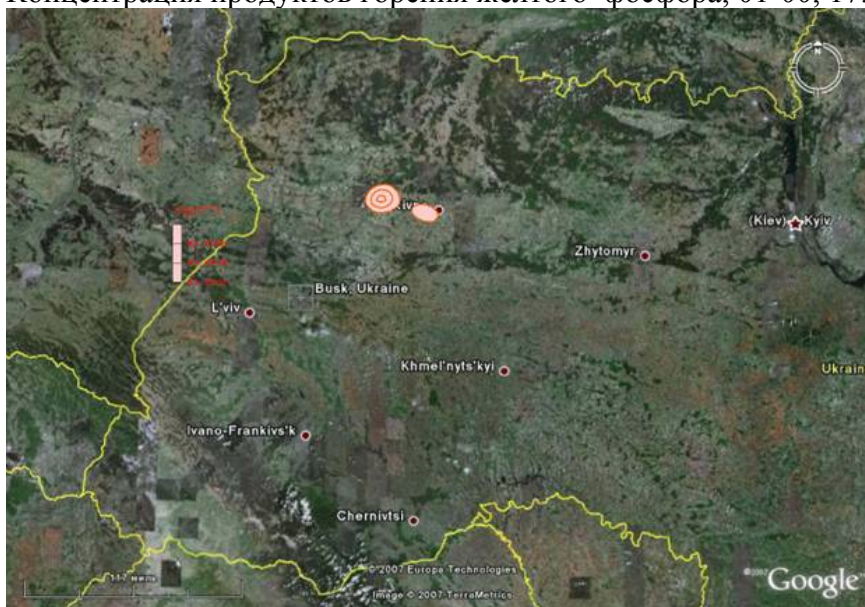


Рис. 3. Концентрация продуктов горения желтого фосфора, 05-00, 17.07.2007

«В связи с запросом Государственной гидрометеорологической службы Украины в федеральном информационно-аналитическом центре Росгидромета (НПО "Тайфун"), была выполнена оценка возможных уровней загрязнения, обусловленных возгоранием фосфора в результате железнодорожной аварии в Буском районе Львовской области. При проведении расчетов на основе экспертных оценок интенсивности пожара (площадь около 100 кв. м) было сделано предположение, что за 5.5 часов основного пожара в атмосферу попало 100 тонн фосфорного ангидрида. С учетом фактической метеорологической обстановки основной перенос загрязненных воздушных масс из района аварии происходил в северо - северо-восточном направлении с дальнейшим поворотом на северо-восток. В условиях поступления продуктов горения фосфора на высоту 200 м расчетная площадь загрязнения с концентрацией фосфорного ангидрида в приземном слое атмосферы более 1 ПДК составляет 187 кв. км, а площадь с концентрацией больше 10 ПДК - 47 кв. км. Длина зоны, в которой концентрация превышает 10 ПДК, около 30 км.

При поступлении фосфорного ангидрида на высоту до 500 м, расчетная площадь загрязнения с концентрацией фосфорного ангидрида в приземном слое атмосферы более 1 ПДК составляет - 164 кв. км, а площадь с концентрацией больше 10 ПДК - 6,4 кв. км.»

Отметим, что аналогичная авария произошла в 1986 в США, г. Майамисбург, штат Огайо [9], в результате которой в окружающую среду попало около 100 т сжиженного белого фосфора, 166 человек было госпитализировано из области бедствия было эвакуировано 30 тыс. человек.

Выводы

Результаты проведенных расчетов носят предварительный и оценочный характер, поскольку важные характеристики процессов сопровождавших горение не были известны. Последствия аварии могут быть проанализированы более детально при совместном использовании результатов мониторинга Минприроды и МинЧС и математической модели ИПММС НАН Украины.

Численные оценки района поражения продуктами горения желтого фосфора, полученные в настоящей статье не могли быть получены с помощью традиционно используемых в Украине гауссовых моделей из-за достаточно больших (100 км) масштабов переноса. Этот вывод также качественно подтверждается представленными на рисунках приземными распределениями опасных концентраций. Следовательно, полученные результаты демонстрируют необходимость создания на основе моделирующего комплекса ИПММС НАН Украины системы поддержки центров оперативного аварийного реагирования МинЧС и Минприроды, которая позволяла бы прогнозировать последствия аварий, связанных с выбросом загрязняющих веществ в атмосферу в Украине, с использованием численного прогноза погоды и научно обоснованных методик расчета распространения загрязняющих веществ в окружающей среде.

Благодарности

Авторы признательны А.М. Гузию за помощь в оформлении рисунков

Ссылки

1. Кушан А., Ковалець І., Железняк М., 2006., Реалізація моделі чисельного прогнозування погоди MM5 на кластерній системі СКІТ. Зб. Праць міжн. Конф. "МОДЕЛЮВАННЯ-2006", Київ, 16-18 Травня, 2006 р., ІПМЕ НАН України.
2. Гузий А.М., Ковалец И.В., Кушан А.А., Железняк М.И., 2008. Система численного прогноза погоды WRF-Украина // Математические машины и системы. № 4 - С. 123-131.
3. Веб сайт METEOPROG www.meteoprog.com.ua
4. J.S. Scire, et.al., A users guide for the CALMET meteorological model (Version 5), 2000, Earth Tech. Inc., Concord, MA, 332pp.
5. Scire J.S. Strimaitis D.G., Yamartino R.J., A user's guide for the CALPUFF dispersion model (Version 5), 1998, Earth Tech. Inc., Concord, MA
6. Revision to the Guideline on Air Quality Models: Adoption of a Preferred Long Range Transport Model and Other Revisions; Final Rule// Environmental Protection Agency, April 15, 2003, 68 FR 18440
7. Salzano E., Marra F.S., Russo G., Lee J.H.S., 2002. Numerical simulation of turbulent gas flames in tubes//J. of Hazardous Materials 95(3) p. 233-247
8. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry ATSD, 1997. Toxicological Profile for White Phosphorus, Appendix A, p. A3 (<http://www.atsdr.cdc.gov>)
9. Scoville W., Springer S., 1989. Crawford J., Response and cleanup efforts associated with the white phosphorus release, Miamisburg, Ohio. Journal of Hazardous Materials, 21, p. 47-64