

ARTICLE TITLE NUMERICAL MODELING OF THE DISTRIBUTION OF EMERGENCY CLOUDS OF HEAVY GASES IN THE CONDITIONS OF INDUSTRIAL BUILDING

Kuptsov A.I.¹, Gimranov F.M.² (Russian Federation)

Email: Kuptsov554@scientifictext.ru

¹Kuptsov Adel Igorevich – PhD in Technical, Engineer;

²Gimranov Fidais Mubarakovich – Doctor of Technical Sciences, Engineer,

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL SAFETY,

KAZAN NATIONAL TECHNOLOGICAL RESEARCH UNIVERSITY,

KAZAN

Abstract: the article presents a mathematical model based on solving a system of fundamental equations of continuity, momentum transfer, energy and gas using a nonstandard $k-\varepsilon$ model of turbulence. The results of numerical modeling of the propagation of accidental clouds of heavy gases under conditions of industrial construction are presented. It was concluded that at the initial moment of time, the gas concentration, due to high turbulence, turns out to be higher in an unstable atmosphere, and the rate of decrease in the concentration of a gas cloud is lower when the atmosphere is stable.

Keywords: heavy gas, accident, numerical simulation.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АВАРИЙНЫХ ОБЛАКОВ ТЯЖЕЛЫХ ГАЗОВ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЗАСТРОЙКИ

Купцов А.И.¹, Гимранов Ф.М.² (Российская Федерация)

¹Купцов Адель Игоревич – кандидат технических наук, инженер;

²Гимранов Фидайс Мубараквич – доктор технических наук, профессор,

кафедра промышленной безопасности,

Казанский национальный технологический исследовательский университет,

г. Казань

Аннотация: в статье приведена математическая модель, основанная на решении системы фундаментальных уравнений неразрывности, переноса импульса, энергии и газа с использованием нестандартной $k-\varepsilon$ модели турбулентности. Представлены результаты численного моделирования распространения аварийных облаков тяжелых газов в условиях производственной застройки. Сделаны выводы, что в начальный момент времени концентрации газа, вследствие высокой турбулентности, оказываются выше при неустойчивой атмосфере, а скорость убыли концентрации облака газа – ниже при устойчивом состоянии атмосферы.

Ключевые слова: тяжелый газ, авария, численное моделирование.

При решении задач распространения опасных веществ в атмосферном воздухе используется система дифференциальных уравнений: уравнение неразрывности, переноса импульса, энергии, газа. В качестве выражения для турбулентной вязкости используется формула Колмогорова-Прандтля. Для замыкания фундаментальных уравнений используется модель турбулентности $k-\varepsilon$ *realizable*.

За счет использования другой формулировки, по сравнению со стандартной моделью (вводится улучшенный способ расчета турбулентной вязкости, а уравнение для скорости диссипации турбулентной кинетической энергии (далее - ТКЭ) выводится из точного уравнения переноса среднеквадратичного значения пульсационного вихря скорости), модель $k-\varepsilon$ *realizable* лучше описывает подавления чрезмерной генерации ТКЭ в застойной зоне. Преимущество данной модели состоит в том, что она наиболее точно предсказывает распределение диссипации плоских и круглых струй, обеспечивает лучшее предсказание характеристик вращающихся потоков, пограничных слоев, подверженных сильным градиентам давления, отрывных течений, рециркуляционных течений и потоков, в которых существуют развитые вторичные течения.

Для проверки корректности расчетов с помощью выбранной математической модели использовались результаты эксперимента № 26, проведенного на острове Торни [1].

В целом вычисления, проведенные авторами [2] и результаты, полученные иранскими исследователями [3], хорошо коррелируются с экспериментальными данными.

Далее для изучения поведения облака тяжелых газов с помощью численного моделирования нами была выбрана пропан-бутановая смесь в соотношении 1:1. Смесь тяжелых газов, первоначально содержалась в резервуаре, а затем мгновенно освобождалась в присутствии кубического препятствия,

расположенного на расстоянии 50 м по направлению ветра от места выброса. Расчетные концентрации газа вычислены на различных высотах в 27 точках: на передней, задней, верхней и боковых поверхностях здания, а также на расстоянии 5 метров от каждой из соответствующих сторон. Расчет проводился при различных метеоусловиях: учитывалась стратификация атмосферы, а также влияние скорости ветра (1 м/с, 2,5 м/с и 5 м/с).

Результаты численного моделирования распространения аварийных облаков тяжелых газов показали, что основным фактором, влияющим на распространение облака, является скорость ветра. При этом в ходе исследования зона у подветренной стороны здания оказалась менее опасной по сравнению с областью у передней и боковых сторон строения.

Стратификация атмосферы не существенно влияла на рассеивание тяжелого газа в отличие от скорости ветра. Однако важным является вывод, что в начальный момент времени, концентрации газа, вследствие высокой турбулентности, оказываются выше при неустойчивой атмосфере, а скорость убыли концентрации облака газа - ниже при устойчивом состоянии атмосферы.

Список литературы / References

1. *Davies M.E., Singh S.* The Phase II Trials: A data set the effect of obstructions // *Journal of Hazardous Materials*, 1985. V. 11. P. 301-323.
2. *Ортина М.Н., Купцов А.И., Гимранов Ф.М.* Математическое моделирование рассеивания облаков тяжелых газов в условиях промышленной застройки: влияние метеоусловий // *Вестник технологического университета*, 2017. № 10. С. 115-118.
3. *Tauseef S.M., D. Rashtchian D.R., Abbasi S.A.* CFD-based simulation of dense gas dispersion in presence of obstacles // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2011. № 24. P. 371-376.