

Оценка рассеивания опасных газов при разрушении газгольдера в условиях промышленной застройки Паршин Д. В.¹, Козлов Д. П.²

¹Паршин Дмитрий Владимирович / Parshin Dmitriy Vladimirovich - эксперт в области экспертизы промышленной безопасности, начальник управления;

²Козлов Дмитрий Павлович / Kozlov Dmitriy Pavlovich - эксперт в области экспертизы промышленной безопасности, главный специалист,
ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ» «НАГАТИНСКИЙ» (филиал в г. Москва), г. Москва

Аннотация: проведена оценка рассеивания опасных газов при разрушении газгольдера в условиях промышленной застройки на примере численного эксперимента выброса газа на острове Торни.

Ключевые слова: газ, рассеивание, численное моделирование.

Известно, что по сравнению с традиционными методиками только численное моделирование позволяет получать наиболее полную картину рассеивания газов с учетом застройки [1]. Однако в известных нам источниках не представлена полная методика оценки распространения газа в случае разрушения газгольдера и дальнейшего его рассеивания в условиях промышленной застройки вблизи зданий и сооружений.

Помимо этого, в открытой литературе образовался пробел в знаниях относительно экспериментальных данных и результатов численного моделирования атмосферного течения вокруг препятствий. Одной из возможных причин является то, что только совсем недавно лаборатории, в которых установлены аэродинамические трубы, смогли расширить свои возможности в сторону воспроизведения условий, соответствующих атмосфере. Более того, численное моделирование турбулентности в стратифицированной атмосфере до сих пор является трудной для понимания задачей численного моделирования [2].

Стоит также отметить, что наличие застройки или любого другого препятствия, которое возмущает течение атмосферы в пограничном слое атмосферы, оказывает возмущение не только на профиль ветра, но и повышает уровень турбулентности вблизи застройки за счет сдвигового напряжения в самом потоке [3]. В случае распространения газа значения концентраций зависят также от формы препятствий и расстояния между разрушенной емкостью и застройкой. Например, если газгольдер будет расположен на расстоянии, которое повлечет за собой завлечение шлейфа выброса в рециркулируемую область, находящуюся под влиянием здания, распределение концентраций в приземном слое может быть сильно изменено. Необходимо отметить и общую закономерность – увеличение границ шлейфа в боковом и вертикальном направлениях, вследствие сильного рециркуляционного движения внутри области, возмущенной зданием. Объясняется это увеличением уровня турбулентности из-за возмущения препятствия.

Автором предлагается методика, которая позволяет оценить рассеивание газов при разрушении газгольдеров с застройкой местности. Она базируется на основании моделирования пограничного слоя атмосферы и последующего моделирования выброса [3].

В целях применимости модели рассеивания газов при наличии препятствий, был рассмотрен эксперимент под номером № 26, проводимый на острове Торни [4]. В ходе эксперимента смесь фреона и азота (плотность относительно воздуха 2,0) первоначально содержалась в цилиндрической тентовой оболочке (высота – 13 м, диаметр – 14 м) и была моментально освобождена. Препятствие находилось в 50 метрах с наветренной стороны от цилиндра и имело форму куба (9 м x 9 м x 9 м). Концентрации рассеивающего газа были измерены в двух различных точках: на высоте 6,4 м перед препятствием (с наветренной стороны) и на высоте 0,4 м на торце (с подветренной стороны).

Концентрации рассеивающего газа были измерены в двух различных точках: на высоте 6,4 м непосредственно перед препятствием (с наветренной стороны) и на высоте 0,4 м на задней поверхности куба (подветренной стороны). Профиль скорости ветра был задан на основе степенного закона:

$$u_y = u_0 * \left(\frac{y}{y_0}\right)^l \quad (1)$$

На высоте 10 метров u_0 она была равна 1,9 м/с (u_0). Значение показателя степени, l - 0,07. Шероховатость составляла 0,005 м. Устойчивость задана с учетом таблицы Паскуилла [5]. При моделировании атмосферы цилиндрический тент с газом первоначально был препятствием. Затем расчет инициализировался как нестационарный, а цилиндр моделировался уже как свободное облако газа.

Так как граничные условия турбулентных характеристик атмосферы имеют существенное влияние на развитие переходной области турбулентности, использовались их приближенные значения [6]:

$$k = 10^{-4} U_{\infty}^2 \quad (2)$$

$$\varepsilon = 10^{-4} U_{\infty}^4 \quad (3)$$

где k – турбулентная кинетическая энергия, ε – скорость диссипации турбулентной кинетической энергии, U_{∞} – свободный профиль скорости ветра.

В процессе моделирования использовалась модель турбулентности k- ε realizable и применялся источниковый член в уравнении для переноса кинетической энергии турбулентности [3]. На рис. 1 изображено поле турбулентной кинетической энергии после моделирования пограничного слоя атмосферы. Оказалось, что полученное поле не сильно отличается от поля, полученное учеными из Индии и Ирана, которые в своих исследованиях использовали ту же модель k- ε realizable и показали, что она лучше, чем стандартная модель k- ε standart [7].

В таблице 1 проведено сравнение экспериментальных значений с данными, полученными во время моделирования.

Таблица 1. Сравнение экспериментальных значений с расчетными

	Высота 6,4 м перед препятствием		Высота 0,4 м на задней поверхности куба	
	Время, с	Макс. конц., v/v %	Время, с	Макс. конц., v/v %
Эксперимент	10	4,715	22,30	2,124
k- ε realizable	15	4,621	30,00	1,973
k- ε realizable ¹	15,5	4,446	29,50	1,889

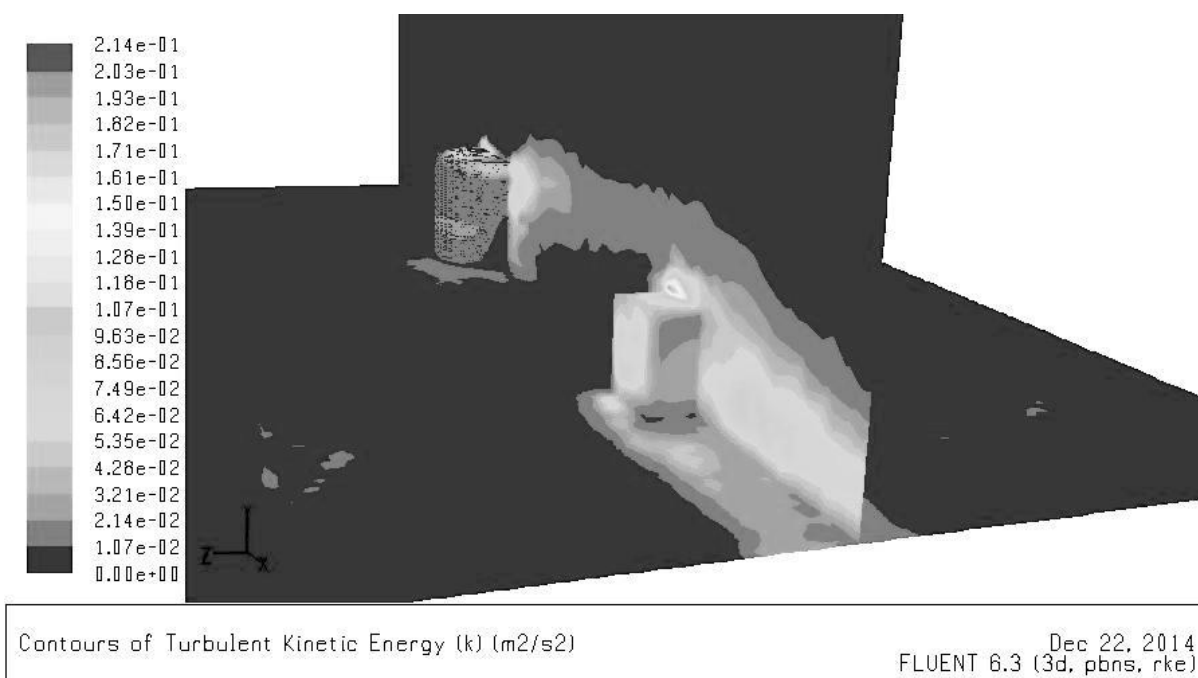


Рис. 1. Поле турбулентной кинетической энергии после моделирования пограничного слоя атмосферы (модель k- ε realizable)

Результаты расчетов показали, что методика на основе модифицированной модели турбулентности k- ε realizable позволяет применять ее и для расчетов, связанных с распространением газа при наличии

¹ Данные предыдущих исследований [7]

застройки. Так как ранее было исследовано применение к-ε моделей при различных параметрах атмосферы, зависящих от масштаба Мони́на-Обухова [5], то можно констатировать, что использование данной методики позволяет решить проблему моделирования распространения газа (при разрушении газгольдеров) в условиях промышленной застройки.

Литература

1. *Купцов А. И.* Проблемы расчета рассеивания легких газов в атмосфере при их выбросах со свечи с учетом рельефа и застройки местности и атмосферной устойчивости. / А. И. Купцов, Р. Р. Акберов, Д. Я. Исламхузин, Ф. М. Гимранов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. № 6. – С. 284-286.
2. *Santos J. M.* Numerical simulation of flow and dispersion around an isolated cubical building: The effect of the atmospheric stratification. / J. M. Santos, N. C. Reis Jr., E. V. Goulart, I. Mavroidis. Atmospheric Environment. – 2009. № 43. – P. 5484–5492.
3. *Купцов А. И.* Численное моделирование пограничного слоя атмосферы с учетом ее стратификации / А. И. Купцов, Р. Р. Акберов, Д. Я. Исламхузин, Ф. М. Гимранов // Фундаментальные исследования. – 2014. - № 9. – С. 1452-1460.
4. *Lees F. P.* (2005). In S. Mannan (Ed.), Loss prevention in the process industries hazard identification, assessment, and control, Vols. 1—3. Oxford: Elsevier/Butterworth-Heinemann.
5. *Sklavounos S., & Rigos F.* (2004). Validation of turbulence models in heavy gas dispersion over obstacles. Journal of Hazardous Materials, 108 (1—2), 9—20.
6. *Arntzen B. J.* (1998). Modelling of turbulence and combustion for simulation of gas explosions in complex geometries. PhD thesis: Norwegian University of Science and Technology.
7. *Tauseef S. M.* CFD-based simulation of dense gas dispersion in presence of obstacles / S. M. Tauseef, D. Rashtchian, S. A. Abbasi. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 24 (4), 371-376.