

УДК. 614.8

*Рудаков С.В., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ,
Мусяенко А.Н., ад'юнкт, НУГЗУ*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ВЫБРОСОМ ВЗРЫВООПАСНЫХ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ

(представлено д-ром техн. наук Бодянским Э.В.)

В статье проанализированы и обобщены методики расчета параметров пожаровзрывоопасных облаков газопаровоздушных смесей для создания алгоритма расчета последствий аварийных выбросов опасных веществ с использованием CFD-технологий

Ключевые слова: методика, газопаровоздушные смеси, нефтегазовый комплекс

Постановка проблемы. За последние годы на нефтеперерабатывающих предприятиях произошло ряд аварий, связанные с взрывами и пожарами в результате образования пожаро- и взрывоопасных облаков газопаровоздушных смесей, которые унесли сотни человеческих жизней, нанесли значительный урон окружающей среде [1, 2]. Анализ аварий, происходящих на предприятиях химической и нефтехимической промышленности в нашей стране и за рубежом, показывает, что большая часть их (около 90%), связана с образованием и взрывом парогазовых смесей. Из этого числа около 43% аварий приходится на открытые производственные установки. Поэтому анализ и оценка опасностей возможных аварий в результате образования пожаро- и взрывоопасной смеси на потенциально опасных производственных объектах является одной из ключевых проблем техногенной безопасности.

Анализ последних исследований и публикаций. Публикации в данной области весьма обширны [3-5] и, вместе с тем, недостаточны для разработки и практической реализации мероприятий, направленных на защиту опасных производственных объектов от образования пожаровзрывоопасных облаков газопаровоздушных смесей.

Облаком газопаровоздушных смесей называется облако, образованное углеводородными продуктами (метаном, этиленом, пропаном, парами бензина, циклогексана и др.) с кислородом воздуха. Пожаровзрывоопасные облака газопаровоздушных смесей

возникают на наружных установках нефтеперерабатывающих предприятий в зонах застоя.

Под зонами застоя понимаются участки на территории нефтеперерабатывающих предприятий, где скорость ветра не превышает 0.5 м/с. Прогнозирование зон застоя на наружных установках нефтеперерабатывающих предприятий с точки зрения безопасности необходимо, так как в зонах застоя возможно скопление газопаровоздушных смесей со взрывоопасными концентрациями.

В настоящее время сложились три основных подхода для количественного описания процесса рассеивания облаков газопаровоздушных смесей в атмосфере:

- 1) гауссовские модели (дисперсионные) [6];
- 2) модели, базирующие на решении краевых задач для уравнения турбулентной диффузии [7];
- 3) модели, основанные на численном решении системы уравнений сохранения в их оригинальном виде – CFD моделирование [8].

В последнее время, в связи с интенсивным развитием компьютерной техники, получили широкое распространение модели третьей группы, основанные на численном моделировании процессов движения и рассеяния облаков газопаровоздушных смесей с использованием специализированных программных комплексов [8].

Постановка задачи и ее решение. Для прогнозирования вероятных зон застоя на наружных производственных установках нефтеперерабатывающих предприятий предлагается использовать программный комплекс FlowVision и k - ε модель турбулентного течения вязкой жидкости с небольшими изменениями плотности при больших числах Рейнольдса [8].

Этапы прогнозирования зон застоя приведены в табл. 1.

В качестве параметров метода численного моделирования вероятных зон застоя, используется стандартная k - ε модель [8] турбулентности для течения газа, турбулентная вязкость μ_t в которой выражается следующим образом

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (1)$$

где k - турбулентная энергия, м²/с; ε - скорость диссипации турбулентной энергии, м/с³; C_μ - молярная теплоёмкость, Дж/(моль · К); ρ – плотность газа, кг/м³.

Таблица 1 – Этапы прогнозирования зон застоя

Этап 1	Сбор исходной информации о планировке наружной установки, о частоте повторяемости ветра по силе по направлению для данной местности
Этап 2	Создание трехмерной модели (расчетной области) объекта
Этап 3	CFD моделирование метеоусловий на объекте исследования
Этап 4	Определение зон застоя для разных направлений, скорости ветра и безопасной ориентации наружной установки относительно преобладающих

В данной модели турбулентного массопереноса используются уравнения Навье-Стокса

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \nabla(V \otimes V) = -\frac{\nabla P}{\rho} + \frac{1}{\rho} \nabla \left((\mu_r + \mu_t) (\nabla V + (\nabla V)^T) + \left(1 - \frac{\rho_{hyd}}{\rho} \right) g + B \right); \quad (2)$$

$$\nabla V = 0, \quad (3)$$

где V – вектор скорости, м/с; P – давление, Па; ρ_{hyd} – гидростатическая плотность, кг/м³; g – вектор силы тяжести Н/м²; B - коэффициент, учитывающий силы вращения; μ_r – динамический коэффициент вязкости; μ_t – турбулентная вязкость, кг/(м · с).

Уравнение для определения поля концентрации C

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla(V C) = \frac{1}{\rho} \nabla((D + \mu_t) \nabla C), \quad (4)$$

где D – коэффициент диффузии массовой концентрации, м²/с.

Значения k и ε определяются из уравнения для турбулентной энергии (5) и из уравнения для скорости диссипации турбулентной энергии (6)

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \nabla(Vk) = \frac{1}{\rho} \nabla \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right) + \frac{G}{\rho} - \varepsilon; \quad (5)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \nabla(V\varepsilon) = \frac{1}{\rho} \nabla \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right) + \frac{\varepsilon}{k} \left(C_1 \frac{G}{\rho} - C_2 \varepsilon \right), \quad (6)$$

где μ - динамическая вязкость, кг/(м·с); C_1, C_2 - постоянные коэффициенты;

$$G = \mu \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right). \quad (7)$$

Для рассматриваемого случая значения параметров k - ε модели принимаем, согласно рекомендациям [9], $\sigma_k = 1.0$; $\sigma_\varepsilon = 1.3$; $C_\mu = 0.09$; $C_1 = 1.44$; $C_2 = 1.92$.

В качестве начальных условий моделирования естественного движения ветра на наружной установке, принимается: $t=0^\circ\text{C}$ (или задать значение температуры окружающей среды, при которых необходимо выполнить моделирование), компоненты скорости ветра $u=v=w=0$, $C=0\%$. Поток обтекающий установку задается степенным профилем изменения скорости ветра по высоте. При этом сама установка каждый раз ориентируется перпендикулярно направлению ветра, скорость ветра принимаем равной среднему значению интервала силы ветра по шкале Бофорта [10].

По боковым поверхностям расчетной области задаются симметричные граничные условия, а в приземном слое предполагается непроницаемость земной поверхности.

$$V_h = V_0 \cdot \left(\frac{h}{h_0} \right)^\alpha, \quad (9)$$

где V_h - скорость ветра, м/с, на высоте h , м; V_0 - скорость ветра, м/с, измеренная на высоте h_0 , м (как правило, скорости ветра измеряются на высоте 10÷15 м, и в этом случае $h_0 = 10÷15$ м); α - показатель степени, зависящий от типа местности и устанавливаемый экспериментально, в [10] приводятся значения α для крупных го-

родов $\alpha=0.33$, для условий пригорода $\alpha=0.22$, для открытой местности $\alpha=0.14$.

Выводы. Таким образом, применение выше изложенной модели и программного комплекса FlowVision позволяет на этапе проектирования выполнить прогнозирование появления зон застоя, в которых возникают облака газопаровоздушных смесей взрывоопасных концентраций вблизи нефтеперерабатывающих установок. Использование средств компьютерного моделирования дает возможность сократить сроки проектирования опасных производственных объектов и снизить уровень их взрывоопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котляревский В.А. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: Учебное пособие. / В.А. Котляревский, А.В. Забегаева. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 416 с.
2. Прусенко. Б.Е. Анализ аварий и несчастных случаев в нефтегазовом комплексе / Б.Е. Прусенко, В.Ф. Мартынюк. М.: 2004. – 160 с.
3. Маршалл В. Основные опасности химических производств: Пер. с англ./ Под ред. Б. Б. Чайванова, А. Н. Черноплекова. М.: Мир, 1989. – 672 с.
4. Bjerketvedt D., Bakke J.R., Van Wingerden K. (1997) Gas explosion handbook, J. Haz. Mat., Vol. 52, no. 1, pp. 1-150
5. Козлитин А.М., Яковлев Б.Н. Чрезвычайные ситуации техногенного характера. Прогнозирование и оценка. Детерминированные методы количественной оценки опасностей техносферы: Учебное пособие / Под ред. А.И. Попова. Саратов: Саратов.гос.ун-т, 2000. – 124 с.
6. Методика расчета распространения аварийных выбросов основанная на модели рассеивания тяжелого газа /Безопасность труда в промышленности. – 2004. – №9. – С. 38-42.
7. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 271 с.
8. Система моделирования движения жидкости и газа. Руководство пользователя FlowVision. – М.: АВС, 2005. – 305 с.
9. Потапов А.Д. Экология: Учебник / А.Д. Потапов – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 2004. – 528 с.
10. Саймиу Э., Сканлон Р. Воздействие ветра на здания и сооружения. М.: Наука, 1984. – 345с.

Рудаков С.В., Мусієнко О.М.

Методи прогнозування аварійних ситуацій з виникненням хмар паливоповітряних сумішей на підприємствах нафтопереробки

У статті проаналізовані та узагальнені методики розрахунку параметрів пожежовибухонебезпечних хмар газопароповітряних сумішей для створення алгоритму розрахунку наслідків аварійних викидів небезпечних речовин з використанням CFD-технологій

Ключові слова: методика, газопароповітряні суміші, нафтогазовий комплекс

Rudakov S.V., Musienko A.N.

Methods of prognostication of emergency situations with formation fuel mixtures of clouds at the refinery

The article analyzes and summarizes the methodology for calculating the parameters of fire and explosion hazard clouds gas-steam-air mixes to create the algorithm for calculating the effects of accidental releases of hazardous substances using CFD-technology

Key words: methodology, gas-steam-air mixes, oil and gas complex