DOI: 10.17117/na.2016.07.01.411

Поступила (Received): 02.07.2016

<http://ucom.ru/doc/na.2016.07.01.411.pdf>**Купцов А.И., Гимранов Ф.М.****Процедура прогнозирования распространения опасного газа в случае сброса через свечу рассеивания****Kuptsov A.I., Gimranov F.M.****Prediction procedure spread of dangerous gases in the event of dumping by the spark dispersion**

Разработана численная модель, которая позволяет спрогнозировать характер распространения облаков опасных газов в атмосфере в результате сброса через свечу. На основе предварительно выполненных численных расчетов предложена процедура оперативного прогнозирования масштабов и характера рассеивания опасного газа в окружающем пространстве

Ключевые слова: сброс газа, свеча рассеивания, численное моделирование, программа

Купцов Адель Игоревич

Инженер

Казанский национальный исследовательский технологический университет

г. Казань, ул. К. Маркса, 68

Гимранов Фидаис Мубаракovich

Доктор технических наук, зав. кафедрой

Казанский национальный исследовательский технологический университет

г. Казань, ул. К. Маркса, 68

A numerical model that allows you to predict the nature of the spread of hazardous gas clouds in the atmosphere as a result of dumping by the spark plug. On the basis of pre-made numerical procedure proposed operational forecasting the extent and nature of the dispersion of hazardous gas in the surrounding area

Key words: gas discharge, spark dispersion, numerical simulation program

Kuptsov Adel Igorevich

Engineer

Kazan national research technological university

Kazan, Karl Marx st., 68

Gimranov Fiadis Mubarakovich

Doctor of Technical Sciences, Head of Department

Kazan national research technological university

Kazan, Karl Marx st., 68

В случае возникновения аварийной ситуации предусматриваются системы экстренного опорожнения технологического оборудования химических производств. Для легких газов допускается сброс газа через свечу рассеивания (подразумевается залповый выброс газа через сбросную трубу непосредственно в атмосферу). Следует отметить, что подобные сбросы в атмосферу также могут являться регламентированной процедурой, проводимой для опорожнения технологического оборудования и трубопроводов перед плановыми ремонтными работами.

Однако, как показал анализ происшедших аварий на ряде предприятий [1,2] и экспериментальных данных по выбросам природного газа [3] подобные

процедуры опорожнения оборудования могут при определенных условиях стать опасными. Так как у поверхности земли могут образовываться токсичные и/или взрывоопасные концентрации газа, пожары [4]. Поэтому возникает необходимость оценки пространственно-временного распространения газоздушного облака с учетом метеоусловий (класс устойчивости атмосферы, скорость ветра), а также с учетом конструкционных и режимных параметров свечи рассеивания. И это при условиях крайнего недостатка времени, когда при аварийной ситуации необходимо принять решения о сбросе газа через свечу, причем последствия сброса должны оставаться безопасными.

В настоящее время для прогнозирования последствий, связанных с распространением газа в атмосфере, активно начали применяться физико-математические модели, основанные на технологии CFD (computational fluid dynamics) и использующие программные комплексы. Одним из таких программных комплексов является многоцелевой пакет Fluent [5].

Физико-математическая модель, базируется на совместном решении нижеприведенных уравнений [6]:

уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

где ρ – плотность воздуха или газо-воздушной смеси, кг/м³; x_i – координаты x, y, z в метрах (x – координата в направлении ветра; y – координата в направлении поперек ветра; z – вертикальная координата); u_i – компоненты осредненной скорости ветра u, v, w , м/с;

уравнение переноса импульса:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] - \frac{\partial(\rho u'_i u'_j)}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (2)$$

где p – давление, Па; u'_i – пульсационные составляющие компонентов скорости, м/с;

уравнение переноса энергии:

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i h)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda + c_p \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (3)$$

где $h = c_p T$ – энтальпия, кДж/кг; c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, кДж/(кг·К); T – температура воздуха, К; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); Pr_t – турбулентное число Прандтля, $Pr_t = 0.85$;

уравнение переноса газа:

$$\frac{\partial(\rho Y_s)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i Y_s)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\rho D + \frac{\mu_t}{Sc_t} \right) \frac{\partial Y_s}{\partial x_i} \right] + S_c \quad (4)$$

где Y_s – массовая доля компонента s газо-воздушной смеси; Sc_t – турбулентное число Шмидта; D – коэффициент молекулярной диффузии, зависящий от состава смеси, м²/с; S_c – источниковый член, определяющий генерацию газовой примеси, кг/(м³·с);

уравнение переноса k (турбулентной кинетической энергии):

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \text{grad } k \right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} + G_b - \rho \varepsilon + S_k \quad (5)$$

где S_k – источниковый член, (кг/м·с³), G_b – член генерации (подавления) турбулентности;

уравнение переноса ε (скорости диссипации турбулентной кинетической энергии):

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \text{grad } \varepsilon \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (2\mu_t E_{ij} E_{ij} + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (6)$$

где S_ε – источниковый член, кг/(м·с⁴), который здесь принимается равным нулю; тензор E_{ij} определяется стандартными выражениями k - ε модели; $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, C_μ , σ_k , σ_ε – коэффициенты турбулентности; $C_{3\varepsilon}$ – коэффициент, связанный с силами плавучести.

Особенностью данной модели является использование модифицированных значений констант турбулентности, а также добавление источникового члена в уравнение переноса турбулентной кинетической энергии (5), который позволяет учесть различные варианты атмосферной устойчивости на основе теории подобия Монина-Обухова [7].

Положительными моментами предложенной физико-математической модели являются: учет стационарности параметров атмосферы от времени [8] и реализация моделирования нестационарных сбросов [9,10]. Данные обстоятельства становятся особенно существенным для продолжительных по времени выбросов. Кроме этого применение модели позволяет проводить анализ влияния конструктивных параметров свечи на процесс истечения и дальнейшего рассеивания газа, что необходимо для проектирования новых свеч и оптимизации режимных параметров при эксплуатации уже существующих свеч [11].

Однако время расчета одного варианта может занимать от нескольких часов до нескольких недель, что неприемлемо, когда требуется оперативная оценка последствий сбросов при аварийных ситуациях.

Поэтому для принятия экстренных мер по локализации и ликвидации аварии, или не допущения негативных последствий опорожнения технологического оборудования через свечу рассеивания, нами предлагается воспользоваться процедурой заблаговременных численных расчетов [12]. Подобная процедура включает в себя реализацию ряда самостоятельных задач:

1) подбор базовых параметров для предварительных расчетов (параметры атмосферной стратификации, скорость ветра, высота и диаметр свечи, давление и температура опасного газа в оборудовании), а также их наиболее характерные диапазоны изменения;

2) численное моделирование сброса опасного газа на основе выбранных параметров с последующим внесением результатов моделирования в базу данных программы ЭВМ;

3) представление результатов из базы данных (например, при необходимости в 3D-изображении) в доступной форме для ответственных должностных

лиц, руководящих локализацией аварийной ситуации на технологической установке.

По предложенной процедуре становится логичным осуществление предварительных расчетов для конкретной технологической установки. В частности, массив данных для этиленового производства одного из предприятий нефтехимического синтеза включает 486 характерных численных расчетов. При возникновении аварийной ситуации диспетчеру необходимо ввести исходные данные (для этого достаточно несколько минут времени), после чего программа [13] выбирает результаты одного из 486 уже заранее выполненных расчетов и выдает информацию диспетчеру.

На случай, когда исходные параметры не совпадают с теми, что заданы в программе, предлагается использовать параметр с предположительным наиболее пессимистическим сценарием относительно исходного. Например, в таких случаях скорость ветра принимается в сторону уменьшения. В результате вычисленное максимальное расстояние загазованной зоны от места сброса будет с неким запасом по сравнению с действительным.

При сбросах газа через технологические свечи при определенных метеопараметрах непосредственно на территории промышленной площадки могут образовываться зоны с взрывоопасными и токсичными концентрациями. Предложена процедура заблаговременных расчетов, которая позволяет за кратчайшее время спрогнозировать распространения опасного газа в случае сброса со свечи, и тем самым, оперативно принимать экстренные меры по локализации и ликвидации аварии.

Список используемых источников:

1. Информационная бюллетень Ростехнадзора. Информация о групповых несчастных случаях и случаях со смертельным исходом за 8 месяцев. 2007.
URL: http://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull_32/Bull_32_32-41.pdf
2. Завгороднев А. В., Мельников А.В., Сафонов В.С. Проблема обеспечения безопасности сброса газа в атмосферу на объектах транспортирования и хранения природного газа // Безопасность труда в промышленности. 2011. №11. С. 66-71.
3. Результаты исследований рассеивания в атмосфере организованных нестационарных выбросов газа на объектах газотранспортных предприятий /А.В. Завгороднев [и др.] // ТЕРРИТОРИЯ НЕФТЕГАЗ. 2011. № 12. С. 90-97.
4. Купцов А.И., Исламхузин Д.Я., Гимранов Ф.М. Анализ действующих нормативных методик расчета последствий пожара пролива горючих веществ на нефтехимических производствах // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №9. С. 243-245.
5. Fluent Inc. Fluent 6.3. User's Guide, Lebanon, 2006.
6. Купцов А.И., Акберов Р.Р., Исламхузин Д.Я., Гимранов Ф.М. Численное моделирование пограничного слоя атмосферы с учетом ее стратификации // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-7. С. 1452-1460.
7. Обухов А.М. Турбулентность и динамика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 413 с.
Kuptsov A.I, Zubkov A.G., Gimranov F.M. Computational fluid dynamics. Influence of atmospheric stratification on discharge of hazardous gases through a stack to the atmosphere // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №23. С. 129-130.
8. Купцов А.И., Акберов Р.Р., Исламхузин Д.Я., Гимранов Ф.М. Проблемы расчета рассеивания легких газов в атмосфере при их выбросах со свечи с учетом рельефа и застройки местности и атмосферной устойчивости // Вестник Казанского технологического университета. 2014. №6. С. 284-286.
9. Купцов А.И., Акберов Р.Р., Гимранов Ф.М. Расчет длительности опорожнения технологического оборудования через свечи сброса // Пожаровзрывобезопасность. 2015. №6. С. 36-41.

10. Купцов А.И., Акберов Р.Р., Гимранов Ф.М. Влияние метеоусловий на динамику рассеивания опасного газа, сбрасываемого через технологические свечи // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. № 4. С. 171-177.
11. Adel I. Kuptsov, Roald R. Akberov, Fidais M. Gimranov / Developing nomograms using CFD results for predicting propagation of hazardous gases released through vent stacks to the atmosphere // Contemporary Engineering Sciences, Vol. 9, 2016, no. 3, 113-124.
12. Купцов А.И., Акберов Р.Р., Гимранов Ф.М. Developing of computer program using CFD results for predicting propagation of hazardous gases released through vent stacks to the atmosphere // Вестник Казанского технологического университета. 2016. №11. С. 140-144.

© 2016, Купцов А.И., Гимранов Ф.М.

Процедура прогнозирования распространения
опасного газа в случае сброса через свечу
рассеивания

© 2016, Kuptsov A.I., Gimranov F.M.

Prediction procedure spread of dangerous gases in the
event of dumping by the spark dispersion