

УДК 004.021

О. С. Колясев, А. М. Сверчков *, Т. В. Савицкая

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия
125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20, корп. 1
*e-mail: andrey_sverchkov@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА TOXI+RISK

Проанализирован ряд методик по расчету интенсивности истечения газа при разрушении газопровода, расчету геометрических размеров пламени котлованного и струевого типов и расчету теплового потока с поверхности пламени. Проведен анализ результатов, полученных при использовании модуля "Струевое горение газа" входящего в состав программного комплекса TOXI+Risk.

Ключевые слова: опасный производственный объект, магистральные газопроводы, пламя колонного типа, струевое пламя, пробит-функция.

Эксплуатация опасных производственных объектов (ОПО), в том числе объектов систем газораспределения и газопотребления, связана с высоким риском возникновения аварий, экономические потери от которых составляют десятки миллионов рублей. Так, например, за последние 5 лет, по данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору на объектах газораспределения и газопотребления произошло 204 аварии, общий ущерб от которых составил порядка 2,6 млрд. рублей [1].

Наиболее распространенным фактором антропогенного воздействия, приводящего к отрицательным последствиям, является загрязнение окружающей среды и, в частности, перенос вредных веществ на большие расстояния.

В целях повышения уровня промышленной безопасности ОПО транспортировки газа ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ» разработало методические указания по проведению анализа риска для ОПО газотранспортных предприятий [2].

Данный документ содержит подробное описание последовательных этапов количественного анализа риска применительно к технологическим объектам транспорта газа. Также он содержит ряд приложений, включающих расчетные методики, например:

- Методика расчета интенсивности истечения и количества выбрасываемого газа при разрушениях газопроводов;
- Методика расчета пространственно-временного распределения выбрасываемых продуктов с учетом их физико-химической трансформации;
- Методика расчета физических параметров и масштабов распространения поражающих факторов аварий и др.

На основе вышеуказанных приложений в закрытом акционерном обществе «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности» (ЗАО НТЦ ПБ) разработан ряд программных модулей, включенных в состав программного комплекса TOXI+Risk [3]. Он используется на кафедре компьютерно-интегрированных систем в химической технологии в учебном процессе и предоставлен на безвозмездной основе ЗАО НТЦ ПБ [4, 5].

В программном комплексе TOXI+Risk начиная с версии 4.3 реализован модуль «Струевое горение газа». Рассмотрим его работу и проанализируем результаты расчета. В данном модуле реализованы несколько методик [2]:

1. Методика расчета интенсивности истечения газа при разгерметизации одноточечного газопровода;
2. Методики расчета геометрических размеров пламени котлованного и струевого типов;
3. Методики расчета теплового потока с поверхности пламени (пламя колонного типа в виде вертикального цилиндра и пламя струевого типа в виде лежащих полуцилиндров).

Самой трудоемкой, в плане реализации расчетов и получаемых форм изолиний интенсивности теплового излучения, методикой является расчет теплового потока с поверхности пламени в виде двух лежащих полуцилиндров.

Рассмотрим последовательность данных вычислений. Расчет угловых коэффициентов излучения проводится для точек поверхности земли расположенных на лучах $L_1 - L_6$ от боковой поверхности панели, на лучах L_{C1} и L_{C2} от торцевых поверхностей полуцилиндра (рис. 1). Лучи L_1, L_3, L_4 и L_6 проводится по нормали к оси цилиндра через боковую поверхность цилиндра, лучи L_2 и L_5 – по нормали к оси цилиндра на половине его длины. Лучи L_{C1} и L_{C2} проводятся по оси цилиндра в направлении от торцевых

поверхностей, начало этих лучей лежит на торцевых поверхностях цилиндра.

Для лучей $L_1 \dots L_6$ угловой коэффициент излучения от лежащего полуцилиндра для вертикально ориентированных площадок-приемников излучения φ_6 и для горизонтального расположения площадок φ_2 , расположенных на поверхности грунта, рассчитывается по формулам:

$$\begin{aligned} \varphi_6 = & \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot H_1} \cdot \left(\arctg \left(\frac{L_1}{\sqrt{H_1^2 - 1}} \right) - L_1 \cdot \arctg \left(\frac{\sqrt{H_1 - 1}}{\sqrt{H_1 + 1}} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{L_1 \cdot (X_1 + Z_1)}{2 \cdot \sqrt{X_1 \cdot Z_1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(H_1 - 1) \cdot X_1}{(H_1 + 1) \cdot Z_1}} \right) \right) + \\ & + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot H_2} \cdot \left(\arctg \left(\frac{L_2}{\sqrt{H_2^2 - 1}} \right) - L_2 \cdot \arctg \left(\frac{\sqrt{H_2 - 1}}{\sqrt{H_2 + 1}} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{L_2 \cdot (X_2 + Z_2)}{2 \cdot \sqrt{X_2 \cdot Z_2}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(H_2 - 1) \cdot X_2}{(H_2 + 1) \cdot Z_2}} \right) \right); \\ \varphi_7 = & \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\arctg \left(\sqrt{\frac{H_1 + 1}{H_1 - 1}} \right) - \frac{L_1^2 + H_1^2 - 1}{\sqrt{X_1 \cdot Z_1}} \cdot \right. \\ & \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(H_1 - 1) \cdot X_1}{(H_1 + 1) \cdot Z_1}} \right) + \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\arctg \left(\sqrt{\frac{H_2 + 1}{H_2 - 1}} \right) - \right. \\ & \left. - \frac{L_2^2 + H_2^2 - 1}{\sqrt{X_2 \cdot Z_2}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(H_2 - 1) \cdot X_2}{(H_2 + 1) \cdot Z_2}} \right) \right); \\ H_1 = & \frac{x}{R_{\text{эке}}}; L_1 = \frac{L_{\phi 1}}{R_{\text{эке}}}; X_1 = (H_1 + 1)^2 + L_1^2; \\ Z_1 = & (H_1 - 1)^2 + L_1^2; H_2 = \frac{x}{R_{\text{эке}}}; L_2 = \frac{L_{\phi 2}}{R_{\text{эке}}}; \\ X_2 = & (H_2 + 1)^2 + L_2^2; Z_2 = (H_2 - 1)^2 + L_2^2. \end{aligned}$$

где $R_{\text{эке}}$ – эффективный диаметр факела, м; x – расстояние по горизонтали от оси цилиндра до места расположения приемника излучения, м; $L_{\phi 1}$ – длина полуцилиндра пламени с одной стороны от луча, проведенного по нормали к оси полуцилиндра, м; $L_{\phi 2}$ – длина полуцилиндра пламени с другой стороны от луча, проведенного по нормали к оси полуцилиндра, м. Для лучей L_{C1} и L_{C2} расчет угловых коэффициентов излучения при $x > R_{\text{эке}}$ проводится по формуле:

$$\varphi = \frac{1}{\pi} \cdot \left(\arctg \left(\frac{R_{\text{эке}}}{x} \right) - \frac{x \cdot R_{\text{эке}}}{x^2 + R_{\text{эке}}^2} \right)$$

В результате данных расчетов определяют так называемый геометрический фактор. Умножая его на коэффициент поглощения излучения атмосферой и на интенсивность излучения с единицы поверхности пламени, получаем искомую величину – радиационное тепловое

воздействие пожаров на газопроводах на прилегающие объекты.

Первым действием при работе с модулем (рис. 2) является выбор типа пламени, который будем рассматривать (пламя колонного типа или струевое пламя). Далее необходимо выбрать вещество, после чего произойдет автоматическое заполнение всех необходимых для расчета величин. Стоит отметить, что вещества берутся из общей для всех модулей базы данных веществ. Данная база имеет несколько десятков самых распространенных веществ. Пользователь может вносить изменения в данную базу, как в существующие записи, так и добавлять новые вещества. В данном модуле поля ввода для свойств вещества являются активными, что позволяет, при необходимости, изменить те или иные свойства. Далее необходимо задать диаметр трубопровода и интенсивность выброса газа при аварии, причем, если выбрано пламя колонного типа, то значение интенсивности выброса газа будет одно. Если же выбрано струевое пламя, то значений интенсивности выброса газа будет уже два. Одно для нагнетающего участка трубопровода, второе для всасывающего участка трубопровода. Для задач определения расстояния от точки выброса по заданной интенсивности теплового излучения и определения интенсивности теплового излучения в заданной точке пространства никаких дополнительных исходных данных больше не нужно, можно приступить к расчету.

Для задач определения расстояния от точки выброса по заданной вероятности поражения тепловым излучением и определения вероятности поражения тепловым излучением в заданной точке пространства необходимо выбрать методику, пробит-функция из которой будет применяться в расчетах. Если пользователю не известно значение интенсивности выброса газа при аварии, то рядом с соответствующим полем ввода есть кнопка с изображением калькулятора, при нажатии на которую откроется окно определения интенсивности выброса со своим перечнем исходных данных.

После заполнения всех необходимых исходных данных в левой части программного модуля перейдем к правой. Существует шесть детерминированных критериев, рекомендуемых [6, 7], численные значения интенсивности излучения которых равны, например: 1400 Вт/м^2 – без негативных последствий; 4200 Вт/м^2 – безопасно для человека в брезентовой одежде; 13900 Вт/м^2 – воспламенение древесины и др. Пользователю предоставляется возможность расчета неограниченного количества интересующих его значений в рамках одной задачи. Для этого необходимо нажать на знак "+" в соответствующем типе расчетов и заполнить критерий расчета.

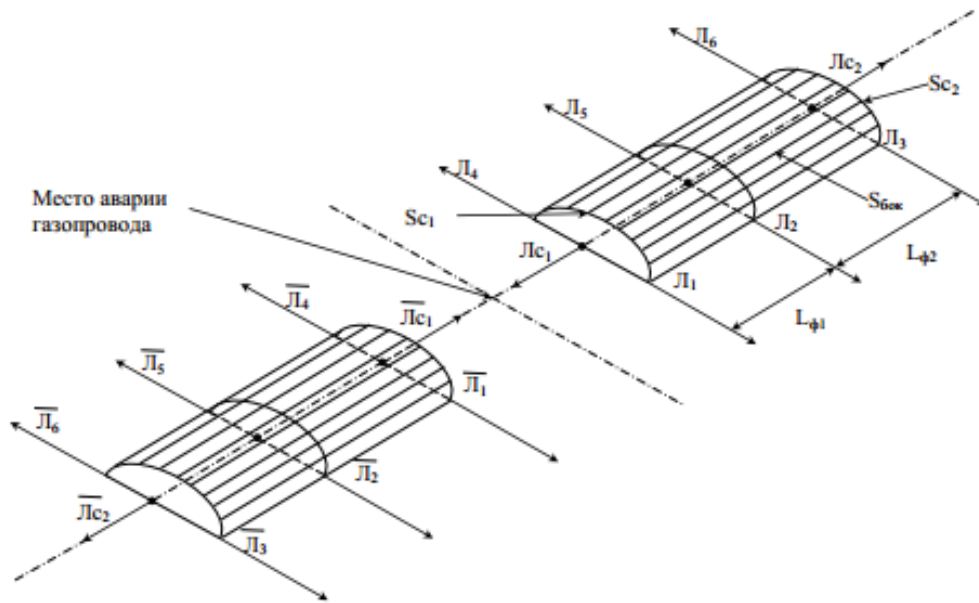


Рис. 1. Модель излучателя в виде двух лежащих полуцилиндров

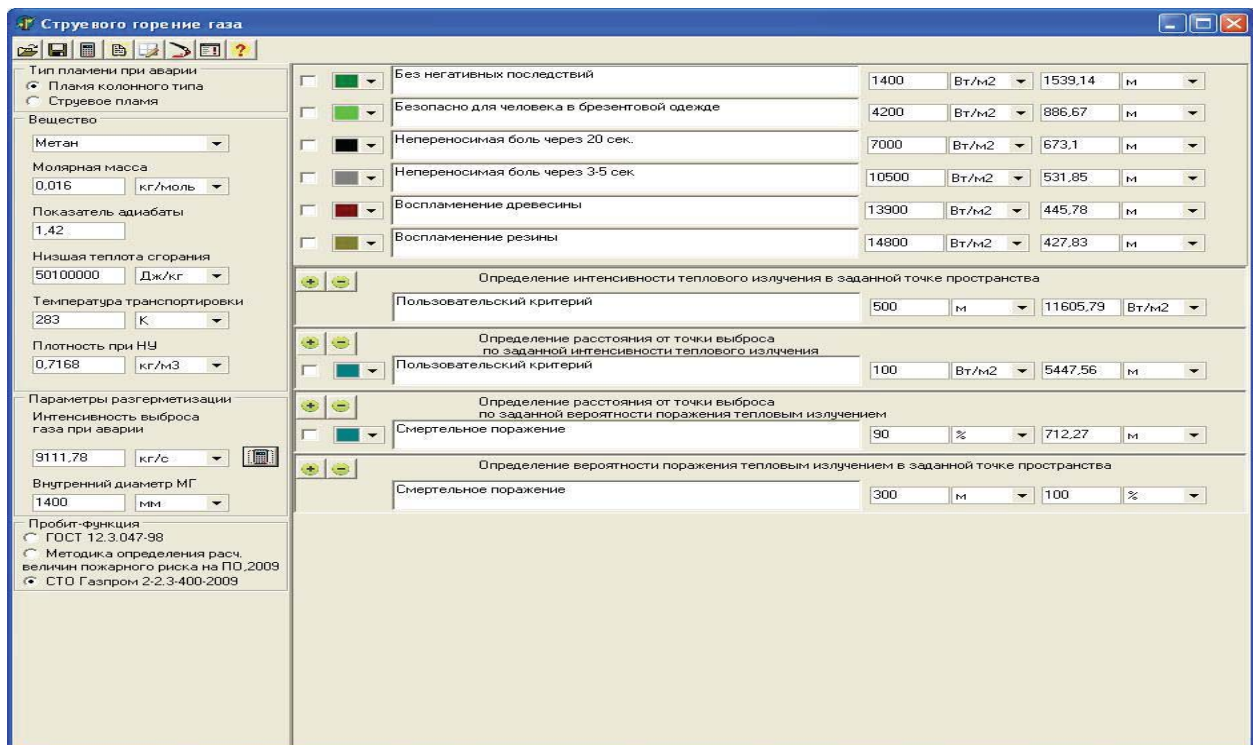


Рис. 2. Главное окно программного модуля "Струевое горение газа"

Рассмотрим результаты расчета на конкретном примере, исходными данными которого являются: внутренний диаметр трубопровода, транспортирующего природный газ - 1400мм; температура транспортировки - 283К; рабочее давление - 7,5МПа; тип труб - стальные новые; время отключения компрессорной станции - 270с; время перекрытия задвижек - 360с; расстояние от места разрыва до задвижки по ходу движения газа и против - по 10000м; расстояние от места разрыва до компрессорной станции по ходу движения газа и против - по 60000м.

В ходе моделирования аварийной ситуации (гильотинного разрыва газопровода) проведены

расчеты для различных видов пламени и для различных видов пробит-функций, на основе которых определялись вероятности термического поражения. Кроме того, были проведены исследования для конкретной удаленной от эпицентра аварии точки для разных сценариев. Результаты показали, что интенсивность излучения на расстоянии в 500 м для пламени колонного типа - 11605,8 Вт/м², а для струевого пламени в направлении, перпендикулярном оси струи для нагнетающего отрезка трубопровода - 7762,9 Вт/м². Сценарий с пламенем колонного типа для конкретной удаленной точки является более опасным, чем сценарий со струевым

пламенем, т.к. в первом случае массовый расход газа суммируется для обоих концов разрушенного трубопровода.

Расчеты также показывают, что одна и та же вероятность поражения, например 90%, достигается на расстоянии: 447,8 м по методике [6]; 559,62 м по методике [7] и 712,27 м в соответствии с [2]. Таким образом на результаты сильное влияние оказывает вид пробит-функции.

Результаты расчета зон поражения тепловым излучением, полученные из данного модуля, участвуют в построении полей потенциального риска в программном комплексе TOXI+Risk, так как методология риск-анализа является эффективным инструментом управления показателями безопасности сложных технологических объектов.

Колясев Олег Сергеевич, студент факультета информационных технологий и управления РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва

Сверчков Андрей Михайлович, аспирант кафедры КИС ХТ РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва

Савицкая Татьяна Вадимовна, д.т.н., профессор кафедры КИС ХТ РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва

Литература

1. Пантюхова Ю.В. Методика оценки уровня промышленной безопасности опасных производственных объектов систем газораспределения и газопотребления: дис. канд. техн. наук. – М, 2011. – 127 с.
2. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром»// Газпром экспо. – 2009. – 310 с.
3. Агапов А.А., Лазукина И.О., Марухленко А.Л. и др. Использование программного комплекса ТОКСИ+Risk для оценки пожарного риска// Безопасность труда в промышленности. – 2010. – № 1. – С. 46-52.
4. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Агапов А.А. Опыт использования программного комплекса ТОКСИ+Risk для подготовки специалистов// Безопасность труда в промышленности. – 2012. – № 5. – С. 22-25.
5. Савицкая Т.В., Егоров А.Ф., Запасная Л.А. и др. Сравнительный анализ результатов моделирования последствий химических аварий с использованием программного комплекса ТОКСИ+Risk// Безопасность труда в промышленности. – 2012. – № 8. – С. 78-83.
6. ГОСТ Р 12.3.047-98. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.// ИПК Издательство стандартов. – 1998. – 85 с.
7. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утв. приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий 10.07.09 № 404). – 2009. – 63 с.

Kolyasev Oleg Sergeevich, Sverchkov Andrey Mikhaylovich, Savitskaya Tatyana Vadimovna*

D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

*e-mail: andrey_sverchkov@mail.ru

MODELING THE CONSEQUENCES OF ACCIDENTS ON TRUNK GAS PIPELINES USING SOFTWARE, TOXI+RISK

Abstract

Analyzed a number of methods for the calculation of the intensity of the gas flow in the destruction of the pipeline, the calculation of geometrical sizes of flame of columned and of jet types and calculation of the heat flux from the surface of the flame. The analysis of the results obtained using the module "jet-burning gas" is part of the software package TOXI+Risk.

Key words: Hazardous production facility, the trunk gas pipelines, flame of columned type, flame of jet type, prohibit-func