

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПО ВОПРОСАМ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Анализ статистических данных показывает, что количество аварийных и катастрофических ситуаций, связанных с возникновением взрывов на промышленных предприятиях и в транспортных системах в последние десятилетия неуклонно возрастает [1,2]. Более половины промышленных катастроф 1900–1990 гг. приходится на 1970–1990 гг., причем на 1980–1990 гг. – более одной третьей [2]. В СССР на химико-технологических объектах за период с 1970-го по 1990-ый годы произошло около 180 крупных взрывов с тяжелыми последствиями, причем большая их часть пришлась именно на 80-ые годы [2]. После распада СССР, несмотря на значительное сокращение объемов промышленного производства в ряде стран СНГ, число непреднамеренных (случайных) взрывов на производстве существенно выросло. Развитие химико-технологических производств в связи с более углубленной переработкой сырья способствует росту общего числа потенциально взрывоопасных объектов, что является основным объективным фактором увеличения числа аварийных взрывов. Очевидна необходимость в совершенствовании подходов к оценке и обеспечению промышленной взрывобезопасности. Для этого в первую очередь нужно разработать теоретические методы оценки взрывоопасности объектов различной природы, что позволяет принимать научно обоснованные решения по проблемам построения объектов с учетом взрывобезопасности и в какой-то мере управлять развитием взрывоопасных процессов.

Принятие решений по вопросам взрывобезопасности в рамках классической модели [3], основанной на точных или приближенных (но с известной и заранее заданной точностью) математических расчетах в большинстве реальных случаев не представляется возможным из-за чрезвычайной сложности задачи и существенных погрешностей (как теоретических, так и экспериментальных) в определении базовых физико-химических параметров. Для построения интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСПР) по вопросам

взрывобезопасности можно использовать как математическую модель принятия решений в условиях неопределенности, базирующуюся на теории нечетких множеств и нечеткой логике, так и математическую модель принятия решений в условиях риска, базирующуюся на теории вероятностей и вероятностной логике. Для сложных промышленных и транспортных систем применение первой модели представляется более предпочтительным [4]. В самом деле, многие параметры, необходимые для применения второй модели, определяются при обработке статистических данных, которые для взрывных процессов в ряде случаев являются весьма неполными или вообще отсутствуют. К тому же, сами эти статистические данные часто являются в некотором смысле «нечеткими». И хотя в принципе всегда возможно составление графа вероятностей переходов системы из взрывобезопасного состояния во взрывоопасное, а также составление матрицы вероятности таких переходов, эффективность подобной методологии представляется невысокой [4]. Учитывая вышеизложенное, достаточно универсальные и эффективные ИСПР по вопросам взрывобезопасности должны предусматривать условия нечеткости в сочетании с применением строгой математической теории горения и взрыва.

Первоочередной задачей оценки взрывоопасности системы является оценка ее пожароопасности, так как и пожар, и взрыв имеют в своей основе один и тот же неконтролируемый процесс окисления различных горючих веществ с выделением тепловой энергии. По скорости протекания физико-химического процесса окисления эти два явления, – пожар и взрыв, – выделяются в различные группы, однако так как взрыв без горения невозможен, то оценку пожароопасности системы можно считать предварительной оценкой её взрывоопасности: если система не является пожароопасной, она тем более не взрывоопасна.

Рассмотрим вопрос об оценке пожаро- и взрывоопасности смеси, состоящей из топлива и окислителя, которым является кислород или воздух.

С целью программной реализации ИСПР, составлена достаточно полная база данных (БД) различных видов горючего с указанием их термодинамических и термохимических свойств, а также концентрационных пределов воспламенения – нижнего (НКПВ) и верхнего (ВКПВ). Концентрационные пределы воспламенения того или иного

топлива в воздушной смеси, – если они неизвестны, – могут быть оценены по концентрационным пределам воспламенения этого же топлива в смеси с кислородом, исходя из процентного содержания кислорода в воздухе (21% O_2 по объёму). Указанная БД допускает возможность пополнения и расширения, что можно считать, в определенном смысле, способностью системы к обучению. При этом эксперт, пополняющий БД, кроме названия и/или химической формулы горючего вещества должен указать его параметры (что, впрочем, отчасти можно реализовать с помощью встроенной справочной системы) и концентрационные пределы воспламенения. Если последние неизвестны, эксперт может указать известный вид горючего, по аналогии с которым даётся оценка НКПВ или ВКПВ топлива, вводимого в БД. Для оценки пожароопасности системы эксперт указывает топливо, окислитель (кислород или воздух) и объемную концентрацию окислителя. Кроме того в БД вводится информация о геометрической форме, в которую заключена горючая смесь (круглая труба, канал прямоугольного сечения, отсутствие ограничивающих стенок – открытое пространство, точнее свободное газовое облако) и соответствующие размеры, а также начальное давление. Именно эти факторы являются ключевыми для принятия решения о пожароопасности или пожаробезопасности системы с горючей смесью.

Пожароопасность системы выражается нечеткой логической переменной (нечетким высказыванием) \tilde{P} , которое, в свою очередь, можно рассматривать как конъюнкцию трех нечетких высказываний, а именно:

1) нечеткого высказывания \tilde{K} , выражающего соблюдение концентрационных пределов воспламенения;

2) нечеткого высказывания \tilde{D} , выражающего соблюдение отсутствия гасящего расстояния;

3) нечеткого высказывания \tilde{P} , выражающего превышение начального давления над критическим, ниже которого горение в данных условиях невозможно.

Таким образом

$$\tilde{P} = \tilde{K} \wedge \tilde{D} \wedge \tilde{P} \quad (1)$$

Областью суждений (универсальным множеством, базовым множеством, базовой шкалой) для нечеткой переменной \tilde{K} является множество значений объёмной концентрации топлива C , выраженное в процентах ($0 \leq C \leq 100$). Функция принадлежности μ_K для нечеткой переменной \tilde{K} имеет трапецеидальный вид, заданный формулами

$$\mu_K = \begin{cases} \frac{C}{\text{НКПВ}}, & \text{при } 0 \leq C \leq \text{НКПВ} \\ 1, & \text{при } \text{НКПВ} \leq C \leq \text{ВКПВ} \\ 1 - \frac{C - \text{ВКПВ}}{100}, & \text{при } \text{ВКПВ} \leq C \leq 100 \end{cases} \quad (2)$$

В случае, когда $\mu_K = 1$, систему можно оценить как безусловно пожароопасную по концентрации топлива. В случае, когда $\mu_K = 0$, система оценивается как безусловно пожаробезопасная.

Областью суждений для нечеткой переменной \tilde{D} является множество значений ширины канала (при этом под шириной канала понимается больший из двух линейных размеров прямоугольного сечения) или диаметра трубы d ($d \geq 0$). Функция принадлежности μ_D для нечеткой переменной \tilde{D} имеет кусочно-линейный вид, заданный формулами

$$\mu_D = \begin{cases} \frac{d}{d_{\text{кр}}}, & \text{при } 0 \leq d \leq d_{\text{кр}} \\ 1, & \text{при } d_{\text{кр}} \leq d \end{cases} \quad (3)$$

Под величиной $d_{\text{кр}}$ понимается гасящее расстояние [1] между стенками канала или критический диаметр трубы. Если гасящее расстояние неизвестно из экспериментов, то в качестве $d_{\text{кр}}$ можно принять величину, меньшую размера ячейки пламени, оценка которого приведена в работах [6,7]. В случае, когда $\mu_D = 1$, систему можно оценить как безусловно пожароопасную по геометрии ограничивающего пространства. В случае, когда $\mu_D = 0$, система считается пожа-

робезопасной. Если ограничивающие стенки отсутствуют, то принимается $\mu_D = 1$, т.е. величина \tilde{D} постоянна и подобная система всегда пожароопасна.

Наконец, областью суждений для нечеткой переменной \tilde{P} является множество значений начального давления газовой смеси p ($p \geq 0$). Функция принадлежности μ_p для нечеткой переменной \tilde{P} имеет кусочно-линейный вид, заданный формулами

$$\mu_p = \begin{cases} \frac{p}{p_{кр}}, & \text{при } 0 \leq p \leq p_{кр} \\ 1, & \text{при } p_{кр} \leq p \end{cases} \quad (4)$$

Под величиной $p_{кр}$ понимается минимальное давление, при котором зажигание и горение еще возможны [1,2].

В случае, когда $\mu_p = 1$, систему можно оценить как безусловно пожароопасную по начальному давлению. В случае, когда $\mu_p = 0$, система может считаться пожаробезопасной.

Подобным образом, при помощи конъюнктивных форм типа (1) для различных нечетких переменных можно оценить детонационную способность и собственно взрывоопасность системы, возможность перехода горения в детонацию, длину преддетонационного участка и т.п.

Таким образом, результаты вычислений значений разнообразных нечетких логических выражений позволяют оценить возможность взрыва, а также тип взрывного процесса. Эти оценки представляют собой основу для принятия соответствующих решений по вопросам взрывобезопасности и взрывозащиты. Решение по предотвращению взрыва или подавлению взрывных волн может быть принято заблаговременно, уже на стадии проектирования объекта или в оперативном режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Взрывные явления. Оценка и последствия: В 2-х кн. Кн.1 /У. Бейкер, П. Кокс, П. Уэстайн и др. – М: Мир, 1986. – 319с.

2. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. – М.: Химия, 1991. – 432 с.
3. Энта Ё. Теория нечетких решений: Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. Часть IV. Практические задачи. – С. 301-312.
4. Волков В.Э. Теоретические основы построения систем интеллектуальной поддержки принятия решений по вопросам взрывобезопасности // Информационные системы и технологии: Тез. докл. II-го семинара. – Одесса. – 2004. – С. 6-7.
5. Волков В.Э. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений по вопросам взрывобезопасности // Зернові продукти і комбікори, 2007. – №2, червень 2007. – С. 44-47.
6. Асланов С.К., Волков В.Э. Интегральный метод анализа устойчивости ламинарного пламени. – Физика горения и взрыва, 1991, №5. – С. 160-166.
7. Aslanov S., Volkov V. On the Instability and Cell Structure of Flames. – Archivum combustionis, 1992, Vol.12, Nr. 1-4. – P.81-90.