

УДК 662.23

В. Э. Пчелинцев,радиотехнический факультет,
Московский государственный технический университет
им. Н. Э. БауманаНаучные руководители: канд. техн. наук, доц. А. И. Карнюшкин,
канд. хим. наук, доц. В. Н. Горячева,
канд. хим. наук, доц. Е. А. Елисеева

Анализ зависимости взрываемости метано-воздушной смеси от стехиометрической концентрации и пути её снижения

В статье кратко описываются параметры, влияющие на взрываемость газов, и предлагаются пути снижения риска взрыва бытового газа, которые могут быть дополнительно изложены студентам в процессе изучения курса химии при наличии на это времени.

Ключевые слова: «треугольник взрываемости», концентрационные пределы распространения пламени, стехиометрические коэффициенты, флегматизаторы.

По неутешительной статистике, приведенной новостным порталом, только за 2017–2018 гг. в России произошло более 61 инцидента со взрывом бытового газа в жилых домах [3]. Эта информация заставляет нас задуматься о необходимости создания у людей более четкой картины понимания процессов, из-за которых возникают подобные чрезвычайные ситуации.

Все взрывчатые вещества можно разделить на конденсированные и неконденсированные. К первым, в свою очередь, относятся следующие четыре класса: 1) инициирующие; 2) метательные; 3) бризантные; 4) пиротехнические смеси. Неконденсированные взрывчатые вещества включают в себя три класса: 1) газозвушнные смеси (ГВС); 2) паровоздушные смеси (ПВС); 3) пылевоздушные смеси (ПлВС). На кафедре химии студентам объясняют, что химические взрывы могут происходить при горении парогазовых смесей из углеводородных «горючего + окислителя». Студентам, при наличии времени в период изучения химии, было бы полезно глубже изучить тему взрывчатых веществ и связь стехиометрических коэффициентов со взрывоопасностью, а также определить пределы распространения пламени и методы флегматизации, которые помогут избежать катастроф.

Стехиометрической концентрацией горючего в смеси называется такая концентрация горючего газа (далее — ГГ), при которой количественное соотношение горючего и окислителя соответствует коэффициентам в уравнении хими-

ческой реакции. Эта концентрация оптимальна для горения и потому считается наиболее опасной [4, с. 91].

Часто в быту встречается метано-воздушная смесь, которая относится к классу ГВС. Эта смесь горит и взрывается при концентрации метана от 5 до 15 % (содержание кислорода при этом от 18 до 20 %). Пределы взрываемости смесей метана с воздухом зависят от различных концентраций кислорода (C_K), их можно рассчитать по треугольнику взрываемости, представленному ниже (рис. 1).

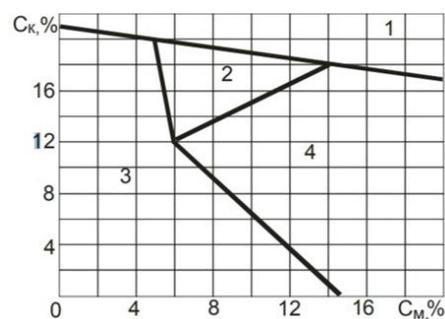


Рис. 1. Объёмные пределы взрываемости метано-воздушных смесей:

- 1 — несуществующая смесь; 2 — взрывчатая смесь; 3 — невзрывчатая смесь; 4 — смесь, способная стать взрывчатой при добавлении воздуха

Чтобы оценить взрываемость смеси ГГ, необходимо определить их общее суммарное содержание и долю каждого в смеси в процентах. По этим

результатам строится треугольник взрываемости, и если найденная точка оказывается внутри треугольника, то газовая смесь признаётся опасной при условии появления источника огня или повышения температуры газа.

Уменьшить область воспламенения можно с помощью процесса флегматизации — замены окислителя (в данном случае кислорода) инертным газом в горючей газовой смеси [5].

Если такую смесь разбавить негорючим газом (флегматизатором), то верхний (φ_v) и нижний (φ_n) пределы воспламенения паров и газов будут изменяться: с увеличением концентрации флегматизатора область воспламенения будет уменьшаться. В экстремальной точке области воспламенения (пик воспламенения) оба предела соединятся в один.

НКПР/ВКПР — нижний/верхний концентрационные пределы распространения пламени — это минимальные концентрации горючего вещества, при которых возможно распространение пламени на любое расстояние от источника зажигания. Другими словами, концентрация между этими пределами называется диапазоном взрываемости (или областью воспламенения) и представляет наибольшую опасность при наличии источника огня.

На принципе вычисления НКПР работает датчик-сигнализатор загазованности, который может сообщить об опасности взрыва при возникновении чрезвычайной ситуации. Он анализирует концентрации определенных газов в воздухе (содержание метана и окисей углерода) и сигнализирует при их повышении (предельно допустимой концентрацией считается концентрация метана 5 %). С позиции студента, при наличии возможности, было бы целесообразно остановиться на принципе его работы более подробно.

Связь области воспламенения с НКПР и ВКПР представлена на рисунке 2.

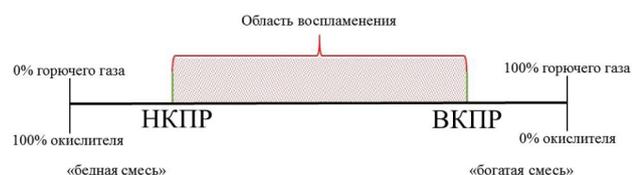


Рис. 2. Схема связи области воспламенения с НКПР и ВКПР

На рисунке 3 показан график флегматизации. Отметим, что горение возможно только внутри области, ограниченной кривой флегматизации.

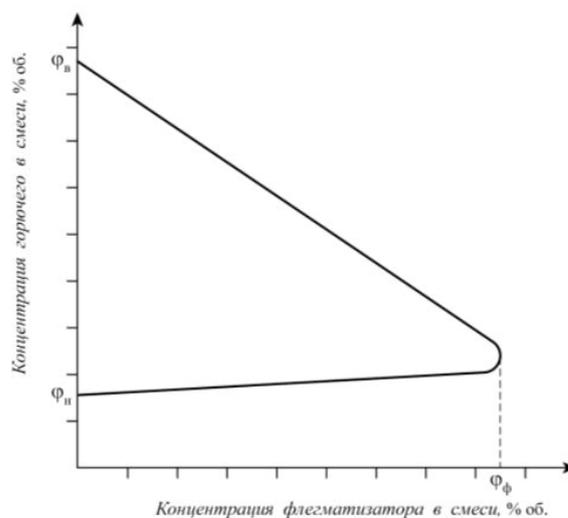


Рис. 3. График флегматизации в зависимости от концентраций флегматизатора и горючего в смеси

Минимальная флегматизирующая концентрация φ (МФК) — это содержание флегматизатора в точке пика воспламенения. Зная её, можно определить минимальное взрывоопасное содержание кислорода (МВСК), которое рассчитывается следующим образом [1, с. 26]:

$$\text{МВСК} = (100 - \varphi_{\text{FC}} - \varphi_{\text{ГФ}}) \times 0,20642,$$

где φ_{FC} — минимальная концентрация флегматизатора в процентах веществ из атомов С, Н, О, N;

$\varphi_{\text{ГФ}}$ — концентрация горючего в точке пика воспламенения.

Содержание ниже МВСК ($\varphi_{02\text{без}}$) считается безопасным (смесь не взрывоопасна) и рассчитывается следующим образом:

$$\varphi_{02\text{без}} = 1,2\varphi_{02} - 4,2,$$

где φ_{02} — минимальное взрывоопасное содержание кислорода, % об.

В качестве основного метода расчёта минимальной концентрации флегматизатора, т. е. концентрации, при которой смесь не может взорваться или загореться, выбран метод, указанный в ГОСТ Р 12.3.047–2012 [5]:

$$C_l = \frac{100}{h_c n_c + h_H n_H + h_0 n_0 + h_N n_N + 1 + h_f \Delta H_f^0},$$

где $h_c = 8,737$;

$h_H = 2,488$;

$h_0 = -0,522$;

$h_N = -0,494$;

$h_f \Delta = 0,0236$ кДж/моль;

ΔH_f^0 — стандартная теплота образования горючего вещества.

В связи с тем, что на значения НКПР и ВКПР оказывают влияние такие факторы, как давление, температура и наличие флегматизаторов, эти знания можно использовать для предупреждения катастроф, связанных с газом. Например, на основании вышеуказанного материала студентам можно предложить использовать в быту (но не в случае утечки газа!) обычные декоративные свечи на парафине/стеарине, которые выступают в роли флегматизаторов и снижают область воспламенения, тем самым уменьшив риск взрыва [2].

Кроме этого, студентам было бы полезно узнать про пределы воспламенения, так как именно из их определения исходят правила проветривания помещения (снижения температуры), а также подтверждается необходимость установки вытяжки на кухне для регуляции давления и счётчиков загазованности для постоянного мониторинга содержания газа в воздухе. Таким образом, данный материал может быть не просто полезен для изучения, но и применим в реальной жизни.

1. Взрывы бытового газа в жилых домах в 2017–2018 годах // РИА Новости. — 2018. — 31 дек. — URL: <https://ria.ru/20181231/1548946218.html> (дата обращения: 25.09.2020).

2. *Малинин А. В., Донин С. Н.* Обзор расчётных методов определения минимальной концентрации флегматизатора и минимального взрывоопасного содержания кислорода // *Химическая техника*. — 2014. — № 2. — С. 25–27.

3. Методы расчёта показателей пожарной опасности газов и жидкостей : учеб.-метод. пособие / сост. С. К. Сафонов. — Ульяновск : УВАУ ГА, 2005. — 42 с.

4. *Портола В. А., Луговцова Н. Ю., Торосян Е. С.* Расчёт процессов горения и взрыва : учеб. пособие. — Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2012. — 108 с.

5. Расчёт концентрационных пределов распространения пламени парогазовых смесей сложного состава : метод. пособие / Ю. Н. Шебеко [и др.]. — М. : ВНИИПО, 2012. — 49 с.