

Х. ЛУБИ, С. ИСАЕВА

О РАСЧЕТЕ ДЛИНЫ ДИФфуЗИОННО-КИНЕТИЧЕСКИХ ФАКЕЛОВ СЛАНЦЕВОГО ГАЗА

В газовом хозяйстве Эстонской ССР в связи с постепенным переходом от сланцевого газа к использованию природного стал актуальным вопрос о влиянии смесей газа на длину факела в условиях различной степени его предварительного смешения с первичным воздухом. Степень предварительного смешения газа с воздухом, или так наз. первичный коэффициент избытка воздуха (α), является дополнительным фактором, определяющим длину диффузионно-кинетического факела.

Для установления влияния избытка воздуха на длину факела в Институте термодинамики и электрофизики АН ЭССР проводятся специальные опыты по определению длины диффузионно-кинетического факела при сжигании сланцевого газа. Для решения поставленной задачи нами была смонтирована опытная установка. Газ, предварительно хорошо смешанный с первичным воздухом в заданном соотношении, поступал через выравниватель скорости в сопло. Учитывая неустойчивость диффузионно-кинетического факела по отношению к отрыву, сопла были выполнены с поджигающим устройством в виде кольцевой щели вокруг основного огневого отверстия, как показано на рис. 1. Расход газа на «дежурную горелку», играющую роль стабилизатора, составлял меньше 1% от расхода газа через сопло.

Так как основной целью работы было получить экспериментальный материал по влиянию коэффициента первичного избытка воздуха на длину диффузионно-кинетического факела, то опыты проводились при одинаковых условиях, чтобы сократить до минимума число факторов, влияющих на длину факела. Исследовались газо-воздушные струи, вытекающие вертикально в открытое пространство из цилиндрических сопел с выходными диаметрами $d = 11; 15,6; 19; 21,5; 24,5$ мм.

Длина факела определялась визуально с помощью координатника при многократном повторении одних и тех же режимов. Отклонение экспериментальных значений не превышало 15%. Для сопоставления отдельных опытов предварительно составлялись программы их проведения.

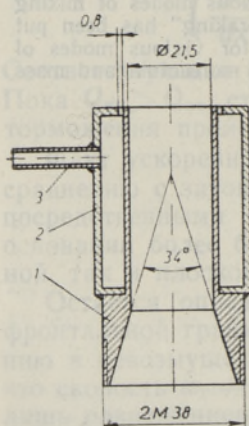


Рис. 1. Конструкция сопла.

1 — сопло; 2 — кожух;
3 — газоподводящая труба.

Режимные и конструктивные параметры диффузионно-кинетического факела связаны между собой по формуле

$$u = \frac{4(V_r + V_0\alpha V_r)}{\pi d^2} = \frac{4V_r(1 + V_0\alpha)}{\pi d^2}, \quad (1)$$

где u — средняя скорость газо-воздушной смеси при выходе из сопла;
 V_0 — объемное количество воздуха, необходимое для полного сжигания 1 м^3 газа;

V_r — объемное количество газа.

Отсюда видно, что изменить длину горящего факела можно за счет предварительного перемешивания следующими двумя способами:

а) сохраняя выходную скорость смеси постоянной $u = \text{const}$: при этом увеличение α производится за счет уменьшения расхода газа так, чтобы суммарный объем газа с воздухом во всем диапазоне изменения α был постоянным;

б) сохраняя постоянным расход газа $V_r = \text{const}$; при этом увеличение α производится за счет увеличения количества воздуха, что сопровождается одновременным увеличением выходной скорости согласно формуле (1).

Анализ экспериментальных данных, полученных при сжигании сланцевого и природного газов без предварительного смешения газа с воздухом, показал, что относительная длина факела (Z) описывается формулой

$$Z = L/d = k \cdot \text{Fr}^{0,17}, \quad (2)$$

где L — абсолютная длина факела; k — коэффициент пропорциональности и Fr — критерий Фруда. Это совпадает с результатами исследований других авторов [1-3].

Общее уравнение длины диффузионно-кинетического факела теоретически было получено И. Семикиным и С. Авериним [4]

$$\begin{aligned} Z^2 \left[1 + G_0 \frac{\omega_{\text{в}}}{\omega_{\text{г}}} + \frac{k_{\text{г}} \cdot \Delta p}{Q_{\text{г}} \cdot \omega_{\text{г}}^2} \right] + Z^5 \frac{f(G_0) f(\gamma)}{\text{Fr}} = \\ = \frac{\gamma_{\text{г}}}{\gamma_{\text{см}}} \left[N_0 (1 + G_0) - \frac{1}{b_0} \right]^2, \end{aligned} \quad (3)$$

где

$$f(\gamma) = \frac{\gamma_{\text{окр}}}{\gamma_{\text{г}}} \left(\frac{\gamma_{\text{окр}}}{\gamma_{\text{см}}} - 1 \right); \quad (4)$$

$\gamma_{\text{окр}}$, $\gamma_{\text{см}}$, $\gamma_{\text{г}}$ — удельный вес среды, смеси и газа соответственно;

$$b_0 = 0,47; \quad N_0 = 11,2.$$

При сжигании газа в холодном воздухе решающее влияние на длину факела оказывает подъемная сила, т. е. при небольших значениях числа Фруда получаем условие

$$Z^2 \left[1 + G_0 \frac{\omega_{\text{в}}}{\omega_{\text{г}}} + \frac{k_{\text{г}} \cdot \Delta p}{Q_{\text{г}} \cdot \omega_{\text{г}}^2} \right] \ll Z^5 \frac{f(G) \cdot f(\gamma)}{\text{Fr}}, \quad (5)$$

которое приводит к уравнению

$$Z = \frac{L}{d} = k \cdot \text{Fr}^{0,20}, \quad (6)$$

практически совпадающему с уравнением (2).

Учитывая условие (5), приведем уравнение (3) к виду

$$Z = \sqrt[5]{\frac{Fr}{f(G_0) \cdot f(\gamma)} \cdot \frac{\gamma_r}{\gamma_{см}} \left[N_0(1 + G_0) - \frac{1}{b_0} \right]^2} \quad (7)$$

Опыты, проведенные с предварительным смешением воздуха, частично удается описать с помощью формулы (7), если учесть, что входящие в нее величины функционально определены предварительным смешением, т. е. величиной

$$\alpha = \frac{V}{V_0} = \frac{G}{G_0}, \quad (8)$$

где G и V — весовое и объемное количество первично смешанного воздуха;

G_0 и V_0 — весовое и объемное количество воздуха, необходимое для полного сжигания газа.

Рассмотрим в дальнейшем влияние величины α на характеристики газа, вытекающего из сопла, учитывая, что от этого зависит длина диффузионно-кинетического факела.

1. Расчет $\gamma_r(\alpha)$ газо-воздушной смеси. Общая формула удельного веса газовой смеси дает

$$\gamma_{см} = \sum_1^n r_k \cdot \gamma_k \quad (9)$$

Здесь r_k — объемные доли составляющих компонентов газа и воздуха;

$$\gamma_{см} = r_r \gamma_r + r_v \gamma_v; \quad r_r = \frac{1}{1 + \alpha V_0}; \quad r_v = \frac{\alpha V_0}{1 + \alpha V_0}.$$

Итак, для предварительно смешанного с воздухом газа

$$\gamma_r(\alpha) = \frac{\gamma_r + \alpha V_0 \gamma_v}{1 + \alpha V_0} \quad (10)$$

Графически эта зависимость для сланцевого газа представлена на рис. 2.

2. Расчет количества воздуха $V^*(\alpha)$, химически необходимого для сгорания 1 м^3 полученной газовой смеси.

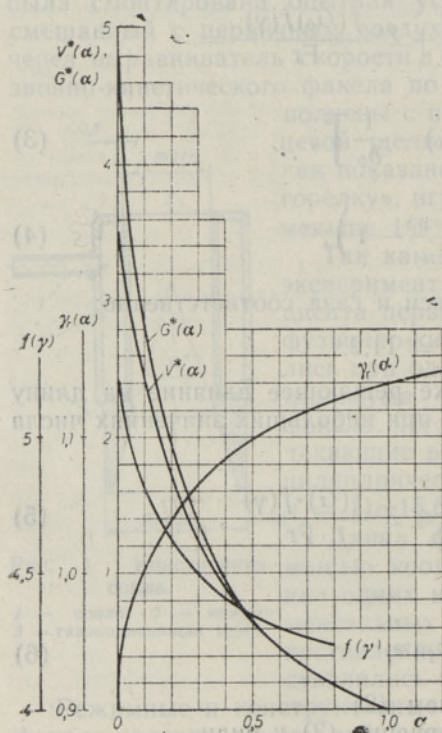
Величина объемной доли горючего компонента составляет

$$\frac{r_i}{1 + \alpha V_0}$$

Величина

$$\sum_1^i \frac{r_i}{1 + \alpha V_0} C_i \quad (11)$$

есть количество кислорода, необходимое для сгорания горючих компонентов газо-воздушной смеси. Она определена коэффициентами C_i , стоящими перед кислородом в уравнениях химических реакций горения.



← Рис. 2.

(Коэффициенты, стоящие перед горючими компонентами, приняты равными единице.) Суммирование в (11) идет по числу горючих компонентов i .

Так как смесь содержит долю кислорода, равную

$$\frac{r_{O_2} + 0,21\alpha V_0}{1 + \alpha V_0},$$

то для полного сгорания горючих компонентов 1 м³ смеси достаточно количество кислорода, равное

$$\sum_1^i \frac{r_i}{1 + \alpha V_0} C_i - \frac{r_{O_2} + 0,21\alpha V_0}{1 + \alpha V_0}$$

или воздуха соответственно

$$V^*(\alpha) = \frac{\sum_1^i r_i C_i - (r_{O_2} + 0,21\alpha V_0)}{(1 + \alpha V_0) 0,21}. \quad (12)$$

Весовой стехиометрический коэффициент для газо-воздушной смеси $G^*(\alpha)$ определяется по формуле

$$G^*(\alpha) = V^*(\alpha) \frac{\gamma_B}{\gamma(\alpha)}. \quad (13)$$

При расчетах величин $V^*(\alpha)$ и $G^*(\alpha)$ складывались объемные доли газа и воздуха. В данном случае это возможно, так как γ_r и γ_B близки по величине. В случае, если они значительно разнятся, правильнее складывать их весовые доли.

Зависимости (12) и (13) представлены на рис. 2.

3. Расчет величины $\gamma_{см}$ в конце пути захвата. Экспериментальные данные позволяют принять допущение, что в пределах точности эксперимента величина $\gamma_{см}$ в конце пути захвата не зависит от коэффициента предварительного смешения. Расчет $\gamma_{см}$ проведен по методу И. Семикина и С. Аверина [2-4]. Для сланцевого газа при $\alpha = 0$ $\gamma_{см} = 0,24$ кг/м³.

4. Расчет функции $f(\gamma)$. Если использовать формулу (4) и учесть, что $\gamma_{см} = 0,24$ кг/м³, а величина $\gamma_r(\alpha)$ определяется уравнением (10), то функция $f(\gamma)$ примет вид

$$f(\gamma) = \frac{4,8(1 + \alpha V_0)}{\gamma_r + \alpha V_0 \gamma_B}. \quad (14)$$

Эта зависимость представлена графически на рис. 2.

5. Расчет функции $f(G)$. В работе [4] эта функция приведена в аналитическом и графическом виде. Для сланцевого газа функция $f(G)$ определена в зависимости от α и графически представлена на рис. 3.

Таким образом, в случае предварительного смешения газа с воздухом расчет относительной длины факела можно производить по формуле (7), учитывая влияние, оказываемое величиной α . Формула (7) в этом случае принимает вид

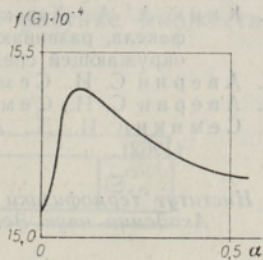


Рис. 3.

$$Z = \sqrt[5]{\frac{F_{\Gamma}}{f(G) \cdot f(\gamma)} \frac{\gamma_{\Gamma}(\alpha)}{\gamma_{\text{см}}} \left\{ N_0 [1 + G^*(\alpha)] - \frac{1}{b_0} \right\}^2}, \quad (15)$$

где $f(\gamma)$ вычисляется по формуле (14).

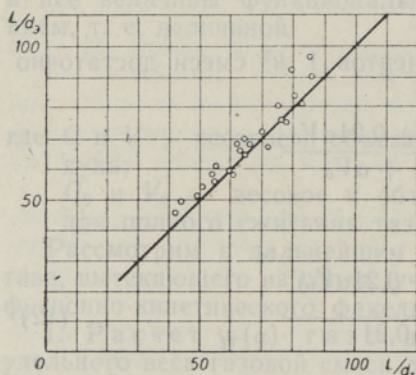


Рис. 4. Сравнение экспериментальных данных с расчетными.

Однако этот метод ограничен величиной $G^*(\alpha) \geq 0,576$, что существенно для случая предварительного смешения. Для сланцевого газа оказывается, что $G^*(\alpha) = 0,576$ уже при $\alpha = 0,54$.

При $\alpha > 1$ этот метод принципиально не применим. Сопоставление расчетных данных по длине газового факела с экспериментальными в указанных пределах приведено на рис. 4.

Возможно использовать и другие методы расчета диффузионного факела для расчета диффузионно-кинетического факела, но при этом необходимо учитывать изменение характеристик предварительно перемешанного с воздухом газа в соответствии с формулами (10) и (12).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кинк А. А., Характеристики круглого турбулентного диффузионного газового факела, развивающегося в неограниченном поперечном потоке и неподвижной окружающей среде. Дисс. канд. техн. н., Таллин, 1967.
2. Аверин С. И., Семикин И. Д., Изв. ВУЗов, Черная металлургия, № 6 (1962).
3. Аверин С. И., Семикин И. Д., Изв. ВУЗов, Черная металлургия, № 8 (1962).
4. Семикин И. Д., Аверин С. И., Изв. ВУЗов, Черная металлургия, № 4 (1962).

Институт термofизики и электрофизики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
13/X 1970

H. LUBI, S. ISAEVA

PÕLEVKIVIGAASI DIFUUSSE-KINEETILISE LEEGI PIKKUSE ARVUTAMISEST

Artiklis käsitletakse difuusse-kineetilise leegi pikkuse arvutusmeetodikat, lähtudes difuusse leegi mudelist. Ühtlasi võrreldakse põlevkivigaasi difuusse-kineetilise leegi pikkuste kohta eksperimentaalselt saadud väärtusi arvutuslikega.

H. LUBI, S. ISAYEVA

ON THE CALCULATION OF DIFFUSION-KINETIC FLAMES OF OIL-SHALE GAS

A method of calculation of diffusion-kinetic flames, on the basis of a model for the diffusion flames is proposed. A comparison of the calculated length of flames with experimental data of oil-shale gas is also presented.