

А. КИНК, Ю. ИВАНОВ

### ГЛУБИНА ПРОНИКНОВЕНИЯ И ГРАНИЦЫ КРУГЛОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ДИФфуЗИОННОГО ГАЗОВОГО ФАКЕЛА В ПОПЕРЕЧНОМ ПОТОКЕ

Рациональное и эффективное использование газообразного топлива подразумевает различную организацию процесса его сжигания в соответствии с требованиями технологического процесса, протекающего в каждой конкретной тепловой установке. Для этого необходимо знать закономерности изменения длины факела, его границ, глубины проникновения в поток, светимости и многих других характеристик, определяемых режимными и конструктивными параметрами газогорелочных устройств.

В настоящей работе решается только часть этой сложной задачи — изучение процесса горения газа, вытекающего из сопла круглого начального сечения в свободное пространство и поперечный поток воздуха.

**1. Глубина проникновения факела в поток.** Существенный интерес с точки зрения конструирования и расчета топочных устройств представляет вопрос о глубине проникновения в поток факела и его границах. Эти характеристики необходимы не только для обобщения закономерностей изучаемых процессов горения газа, но и для расчета и конструирования реальных тепловых аппаратов различных типов. Знание конфигурации пламени позволяет обоснованно выбирать формы и размеры камер сгорания или принимать допустимые размеры факелов в имеющихся камерах. Глубиной проникновения струи в поток называется расстояние от плоскости выхода до оси струи, принявшей направление потока [1]. Как видно из работы [2], теоретически определенной глубины проникновения не существует. Практически, например, можно считать глубиной проникновения  $\bar{x} = \bar{h}$  или  $\bar{y} = \bar{h}$ , при которой ось факела наклонена к потоку под достаточно малым углом  $\nu$  (например,  $10 \div 15^\circ$ ), чтобы факел можно было считать практически принявшим направление этого потока.

Глубину проникновения в вертикальный поток можно определить из уравнения оси факела в параметрической форме

$$\begin{cases} \bar{x} = \bar{s} \cos \nu_0 \\ \bar{y} = 0,065 n_{2u}^{-1} \bar{s}^3 (q_{12} + 2,7 \text{Ar}_\phi) + \bar{s} \sin \nu_0. \end{cases} \quad (1)$$

При дифференцировании (1) с учетом  $\nu$  получаем после некоторых преобразований уравнение (2) для глубины проникновения в поток:

$$\bar{h} = 2,25 [(4 - \text{tg } \nu_0) n_{2u} \cos^3 \nu_0 (q_{12} + 2,7 \text{Ar}_\phi)^{-1}]^{0,5}. \quad (2)$$

Из уравнения оси факела в горизонтальном поперечном потоке

$$\begin{cases} \bar{y} = \bar{s} \sin v_0 + 0,175 n_{2u}^{-1} \text{Ar}_\Phi \bar{s}^3 \\ \bar{x} = \bar{s} \cos v_0 + 0,065 n_{2u}^{-1} q_{12} \bar{s}^3 \end{cases} \quad (3)$$

получаем аналогичным способом для глубины проникновения в поток зависимость

$$\begin{aligned} \bar{h} = & 2,25 n_{2u}^{0,5} [(4 \sin v_0 - \cos v_0) (q_{12} - 11 \text{Ar}_\Phi)^{-1}]^{0,5} \sin v_0 + \\ & + 2 \text{Ar}_\Phi [(4 \sin v_0 - \cos v_0) (q_{12} - 11 \text{Ar}_\Phi)^{-1}]^{1,5}. \end{aligned} \quad (4)$$

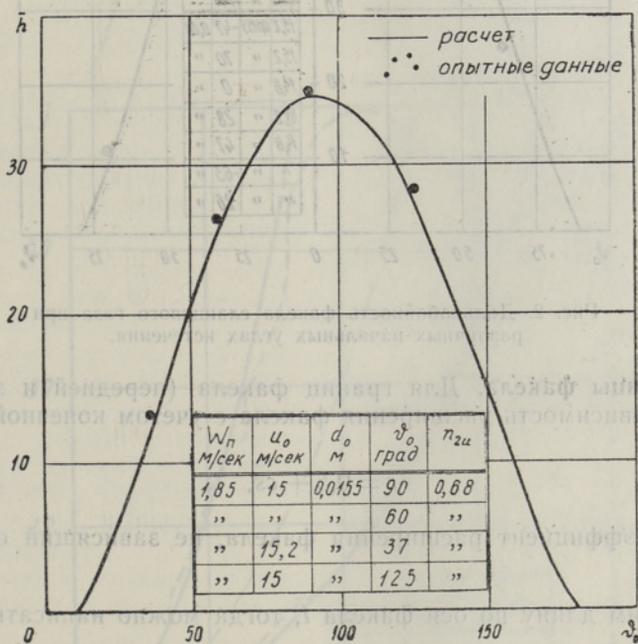


Рис. 1. Глубина проникновения факела в горизонтальный поперечный поток при различных начальных углах истечения.

На рис. 1 сопоставлены результаты расчета по формуле (4) с экспериментальными данными, полученными в опытах по сжиганию сланцевого газа в потоке. Из рисунка следует, что формула (4) дает удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными.

На рис. 2 приведено сравнение расчетной кривой по формуле (2) с экспериментальными данными, полученными в опытах по сжиганию сланцевого газа в открытом пространстве (при отсутствии потока). При этом каждая опытная точка характеризует то же расстояние от плоскости выхода до оси струи, изогнутой только подъемной силой, названное дальностью струи  $\bar{h}$ .

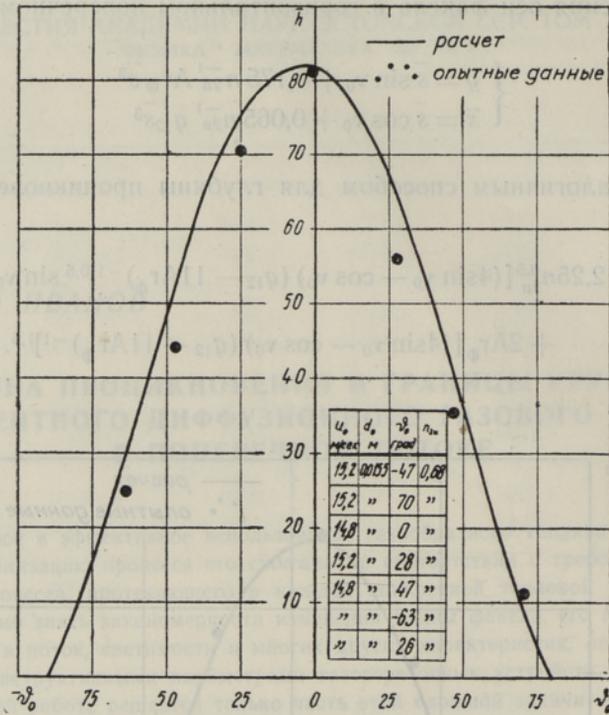


Рис. 2. Дальнейность факела сланцевого газа при различных начальных углах истечения.

2. **Границы факела.** Для границ факела (передней и задней) используем зависимость расширения факела с учетом конечной его ширины в виде

$$\bar{r} = 0,5 + \bar{c}\bar{s}, \quad (5)$$

где  $\bar{c}$  — коэффициент расширения факела, не зависящий от переменной  $\bar{s}$  [2].

Обозначим длину по оси факела  $\bar{l}$ , тогда можно написать

$$d\bar{l} = \sqrt{\bar{x}'^2 + \bar{y}'^2} d\bar{s}. \quad (6)$$

Границы факела в вертикальном поперечном потоке получаем из следующих зависимостей по координатам:

$$\left. \begin{aligned} \bar{y}_{гр} &= \bar{y}_{ось} \pm \bar{r} d\bar{x}/d\bar{l} = \bar{s} \sin \nu_0 + 0,065 n_{2u}^{-1} \bar{s}^3 (q_{12} + 2,7 \text{Ar}_\Phi) \pm \\ &\quad \pm (0,5 + \bar{c}\bar{s}) P^{-0,5} \cos \nu_0 \\ \bar{x}_{гр} &= \bar{x}_{ось} \mp \bar{r} d\bar{y}/d\bar{l} = \bar{s} \cos \nu_0 \mp (0,5 + \bar{c}\bar{s}) [\sin \nu_0 + 0,195 n_{2u}^{-1} \bar{s}^2 (q_{12} + \\ &\quad + 2,7 \text{Ar}_\Phi)] P^{-0,5}, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где

$$P = 1 + 0,39 n_{2u}^{-1} \bar{s}^2 (q_{12} + 2,7 \text{Ar}_\Phi) \sin \nu_0 + 0,038 n_{2u}^{-2} \bar{s}^4 (q_{12} + 2,7 \text{Ar}_\Phi)^2;$$

$\bar{c} = 0,2$ .

Для горизонтального потока также получаем

$$\left. \begin{aligned} \bar{y}_{\text{гп}} &= \bar{s} \sin v_0 + 0,175 n_{2u}^{-1} \text{Ar}_{\Phi} \bar{s}^3 \pm (0,5 + c\bar{s}) (\cos v_0 + \\ &\quad + 0,195 n_{2u}^{-1} q_{12} \bar{s}^2) P^{-0,5} \\ \bar{x}_{\text{гп}} &= \bar{s} \cos v_0 + 0,065 n_{2u}^{-1} q_{12} \bar{s}^3 \mp (0,5 + c\bar{s}) (\sin v_0 + \\ &\quad + 0,525 n_{2u}^{-1} \text{Ar}_{\Phi} \bar{s}^2) P^{-0,5}, \end{aligned} \right\} (8)$$

где

$$P = 1 + (\text{Ar}_{\Phi} \sin v_0 + 0,39 q_{12} \cos v_0) \bar{s}^2 n_{2u}^{-1} + (0,275 \text{Ar}_{\Phi}^2 + 0,038 q_{12}^2) \bar{s}^4 n_{2u}^{-2};$$

$$c = 0,2.$$

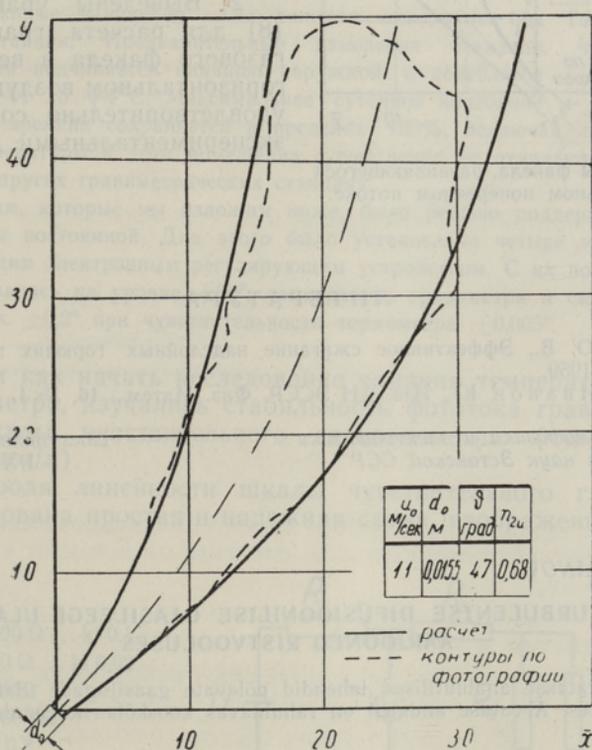


Рис. 3. Границы факела, развивающегося в открытом пространстве.

На рис. 3 приведено сравнение границ факела, рассчитанных по формуле (7), с экспериментальными данными, полученными в опытах по сжиганию сланцевого газа в факеле, ориентированном под углом  $47^\circ$  в открытом пространстве (без поперечного потока).

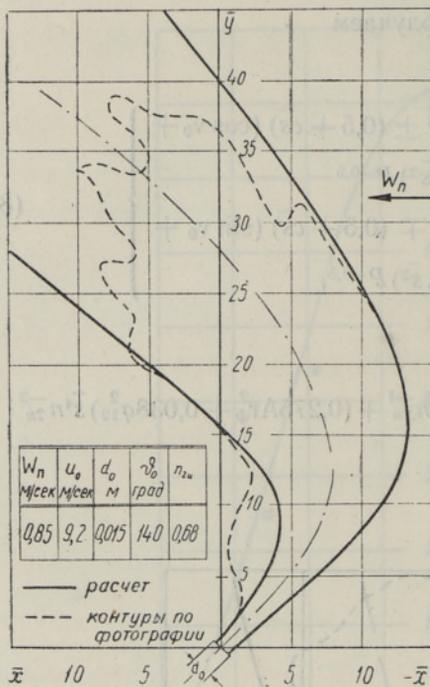


Рис. 4. Границы факела, развивающегося в горизонтальном поперечном потоке.

На рис. 4 сопоставлены результаты расчета границ факела по формуле (8) для горизонтального потока с экспериментальными данными, полученными в опытах с горящим факелом, ориентированным под углом  $140^\circ$  (встречный поток  $v_0 = 180^\circ$ ) в горизонтальный поток.

### Выводы

1. Выведены уравнения (2) и (4) для расчета глубины проникновения в вертикальный и горизонтальный потоки и дальности горящего факела, которые удовлетворительно соответствуют опытным данным.

2. Выведены уравнения (7) и (8) для расчета границ горящего газового факела в вертикальном и горизонтальном воздушном потоках, удовлетворительно совпадающие с экспериментальными данными.

### ЛИТЕРАТУРА

- Иванов Ю. В., Эффективное сжигание надслойных горючих газов в топках, Таллин, 1959.
- Кинк А., Иванов Ю., Изв. АН ЭССР. Физ. Матем., 16, № 1, 94—99 (1967).

Институт термофизики и электрофизики  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
1/XII 1966

A. KINK, J. IVANOV

### UMARA TURBULENTSE DIFUSIOONILISE GAASILEEGI ULATUVUS JA ÄÄRJOONED RISTVOOLUSES

Artiklis esitatakse analüütilised lahendid põlevate gaasijugade ulatuse ja äärjoonte kohta ristvooluses. Arvutuse andmed on rahuldavas kooskõlas katsetulemustega.

A. KINK, J. IWANOW

### EINDRINGUNG UND GRENZLINIEN EINER RUNDEN TURBULENTEN DIFFUSEN GASFLAMME IM QUERSTROM

Vorliegende Arbeit bringt analytische Lösungen über die Eindringung und die Grenzlinien brennender Gasstrahlen im Querstrom.

Die Berechnungsangaben entsprechen den Experimentresultaten.