

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Н. И. СЫРОМЯТНИКОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ
ТЕЧЕНИИ ГАЗА В УГОЛЬНОМ КАНАЛЕ**

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 22 III 1954)

Для обоснованного выбора и расчета некоторых рациональных методов скоростного сжигания и газификации натурального топлива необходимо знать закономерность изменения состава газа по длине реакционной камеры. Эта задача для простейшего случая — чисто углеродного канала — решалась А. С. Предводителевым, З. Ф. Чухановым, Л. Н. Хитриным, О. А. Цухановой, С. А. Гольденбергом и др. Найденную ими зависимость длины кислородной зоны от диаметра канала и турбулентности потока при диффузионном режиме можно записать в виде:

$$Z = C d R e^n, \quad (1)$$

где постоянные коэффициенты имеют значения: по данным З. Ф. Чуханова ⁽¹⁾ $C = 25$ и $n = 0,2$; по данным О. А. Цухановой ⁽²⁾ $C = 12,5$

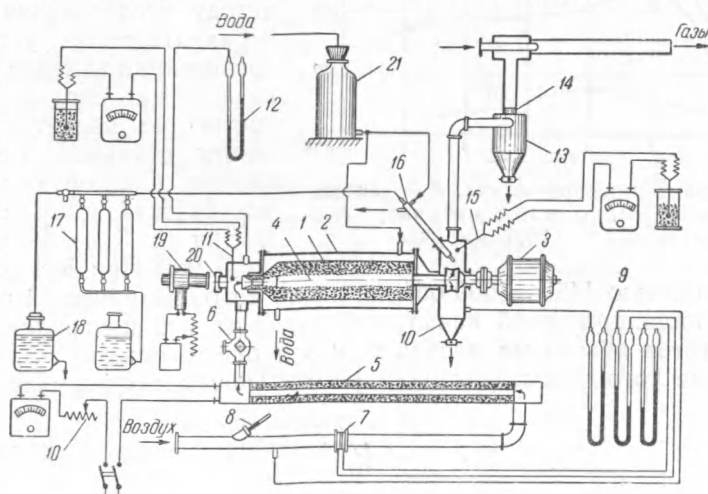


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 — вращающаяся камера, 2 — охлаждаемый корпус, 3 — привод, 4 — угольный канал, 5 — воздухоподогреватель, 6 — трехходовой кран, 7—21 — приборы для контроля и измерений

и $n = 0,25$; по экспериментальным данным С. А. Гольденберга ⁽³⁾ $C = 38$ и $n = 0,16$; по данным М. Ф. Широкова и М. А. Ковнера ⁽⁴⁾ $C = 19$ и $n = 0,25$.

Имеются указания (3), что зависимость (1) остается справедливой и для натурального топлива, но к полученным для чистого углерода значениям входящих в нее коэффициентов для натурального топлива необходимо вводить поправку на содержание летучих и золы в топливе, на шероховатость стенок канала и т. п. Интегральный эффект при одновременном протекании поверхностных и объемных процессов горения натурального топлива будет безусловно больше, чем при горении чистого углерода. Поэтому задача состоит в том, чтобы проверить справедливость зависимости (1) для случая скоростного сжигания натурального топлива в шероховатом канале и экспериментально определить входящие в эту зависимость постоянные коэффициенты.

Для решения поставленной задачи не могли быть использованы известные методы исследования углеродного канала, обычно получаемого высверливанием плотного углеродного стержня. Поэтому была разрабо-

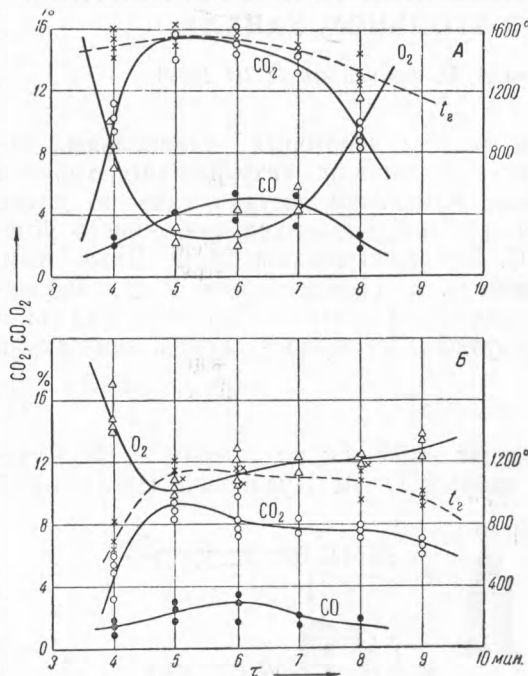


Рис. 2. Кривые газообразования. А — для канала с $d_0 = 10$ мм, $v = 13,6$ мм³/час; Б — $d_0 = 50$ мм, $v = 10,5$ мм³/час

ры со скоростью 1450—3000 об/мин вдоль ее геометрической оси образовывался цилиндрический канал, диаметр которого измерялся перед началом опытов обычными методами и в процессе опытов оптическим путем. Кроме того, диаметр канала рассчитывался по формуле

$$d = D \sqrt{1 - \frac{G}{G_n}}, \quad (2)$$

где $D = 62$ мм — диаметр реакционной камеры; G — вес загруженного топлива; G_n — вес топлива при полном заполнении камеры.

Опыты проведены с каналом диаметром 6,5; 7,5; 10; 18; 30; 40; 42,5 и 50 мм. Соответственно этому скорость дутья, отнесенная на полное сечение канала, изменялась в пределах от 66,7 до 1,18 м/сек. В пределах одного опыта весовой расход воздуха оставался постоянным. При очень незначительных изменениях диаметра канала в период отбора газовых проб поток дутья можно считать гидродинамически устойчивым.

Стабилизация потока во входном патрубке, длина которого была меньше $40 d$, достигалась установкой турбулизующей решетки. Температура воздуха во всех опытах была равна 200° . В опытах с каналом диаметром 18 мм воздух подогревался до 350° , однако изменение температуры воздуха в пределах от 200 до 350° на процессе газообразования не сказывалось. При выбранных параметрах и размерах канала числа Рейнольдса изменялись от 845 до 14700. Для канала с относительной шероховатостью от 1 до 20 этот предел лежит уже в области турбулентного режима. Измеренная температура газов в конце камеры колебалась в пределах от 1200 до 1600° . Температура реакционной поверхности канала во всех опытах превышала 1400° . Это указывает на протекание процесса в явно диффузионной области.

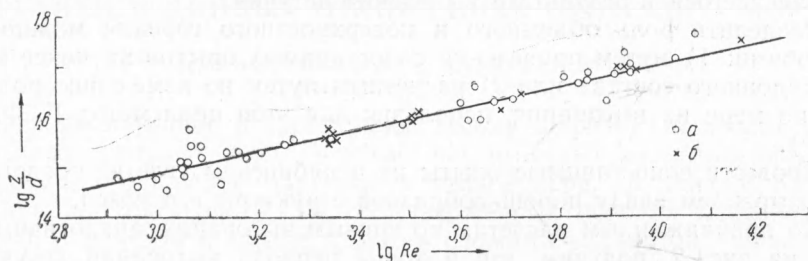


Рис. 3. Зависимость длины кислородной зоны от числа Рейнольдса и диаметра канала. *а* — по оптически замеренному диаметру, *б* — по рассчитанному диаметру

Газовые пробы забирались после надежного охлаждения и перемешивания обычной охлаждаемой газозаборной трубкой со щелью шириной 0,3 мм. Пробы отбирались как в определенные промежутки времени в течение всего опыта, так и средние за период установившегося режима. Контроль за стационарностью процесса осуществлялся по сопротивлению канала, расходу дутья и температуре газов. Основные результаты исследования приводятся в табл. 1 и на рис. 2 и 3.

На рис. 2 показана типичная картина развития процесса во времени для канала диаметром 10 и 50 мм при $Re = 14700$ и 4875. Как видно из графиков, состав выдаваемого каналом газа сильно зависит от диаметра канала и в меньшей степени от скорости дутья. В период между 5-й и 8-й минутами процесс горения более или менее стабилизируется, и в этот период производился отбор средних газовых проб для полного анализа, причем отбор производился по возможности быстро, чтобы исключить влияние изменения диаметра канала и состава топлива на результаты исследования. При других режимных условиях и других диаметрах канала кривые процесса получают подобными кривым на рис. 2.

В табл. 1 приводятся результаты исследований для всех основных опытов на челябинском угле $Q_D^H = 4044$ ккал/кг при длине активной части канала 320 мм.

Таблица 1

Диаметр канала, мм	Скорость дутья, м/сек	Re	CO ₂ , %	CO, %	O ₂ , %	α
6,5	66,7	12100	10,8	12,9	1,5	0,80
7,5	50,0	10960	10,5	10,1	1,7	0,86
8,5	21,0	5130	11,8	8,2	1,5	0,96
10,0	48,0	14700	14,0	3,0	3,6	1,11
10,0	30,9	8320	13,6	4,5	2,9	1,03
10,0	8,3	2190	14,1	5,8	1,6	0,94
18,0	16,2	8600	11,5	2,0	6,9	1,19
18,0	6,7	3310	12,3	2,6	5,5	1,26
18,0	4,7	2210	12,7	2,6	4,8	1,19
30,0	5,7	5370	9,2	1,3	10,0	1,80
30,0	4,2	3230	9,4	2,3	8,8	1,56
30,0	2,8	2157	10,0	2,8	8,4	1,50
40,0	5,2	6500	6,8	1,7	12,6	2,30
42,5	4,6	6960	6,5	1,9	12,6	2,24
50,0	3,1	4875	6,2	1,0	13,1	1,25

Опытные точки на рис. 3 в логарифмических координатах довольно хорошо группируются около одной прямой, отвечающей уравнению (1). Определяя по графику опытные коэффициенты для исследованного топлива, получим

$$Z = 7,5 d \operatorname{Re}^{0,21}. \quad (3)$$

Сравнивая полученные значения коэффициентов со значениями для чистого углерода (¹⁻⁴), устанавливаем, что постоянный коэффициент C для челябинского угля в 2—5 раз меньше, чем для углерода, а показатель степени в уравнении (3) является средним из приведенных выше значений. Значительное сокращение длины кислородной зоны объясняется наличием объемного источника при горении натурального топлива, образующегося в результате выделения летучих.

Разделить роль объемного и поверхностного горения можно двумя способами: 1) путем проведения сопоставимых опытов на коксе того же фракционного состава или 2) расчетным путем по изменению роли летучих по мере их выгорания, используя для этой цели метод Г. Ф. Кнорре (⁵).

Провести сопоставимые опыты на челябинском угле не представляется возможным ввиду порошкообразной структуры его кокса.

По приближенным расчетам по кривым выгорания, аналогичным кривым на рис. 2, получим, что в конце периода выгорания летучих при прочих равных условиях длина кислородной зоны увеличивается в 1,5—2 раза, и зависимость (3) приближается к зависимости (1) для чистого кокса.

При расчете размеров топочной камеры в случае механического полного горения необходимо знать обычно не длину кислородной зоны, а пропорциональную ей длину камеры при определенных избытках воздуха. Из табл. 1 видно, что наличие в газах продуктов неполного горения при сжигании натурального топлива во вращающемся канале допускает значительно большее содержание кислорода в конце камеры, чем это принято при расчете условной длины кислородной зоны (1% O₂). Так, например, для того чтобы избыток воздуха в конце канала не превышал 1,5, необходимо иметь длину камеры равной всего 10 диаметрам канала. Для таких установок, как газовая турбина, избыток воздуха может быть еще выше. Это указывает на то, что применявшаяся нами установка с вращающимся каналом является не только средством экспериментального исследования, но и моделью своеобразной скоростной толки для сжигания мелкозернистого топлива в центробежно-образованном канале или в центробежно-зажатом слое на вращающейся колосниковой решетке.

Уральский политехнический институт
им. С. М. Кирова

Поступило
11 I 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ З. Ф. Чуханов, ДАН, 59, № 5 (1948). ² Процесс горения угля, под ред. А. С. Предводителя, 1938. ³ С. А. Гольденберг, Изв. АН СССР, ОТН, № 7 (1951). ⁴ М. Ф. Широков, М. А. Ковнер, ЖТФ, II, в. 4 (1941). ⁵ Исследование процессов горения натурального топлива, под ред. Г. Ф. Кнорре, М.—Л., 1948.