

Ф.М. Сажин¹, М.К. Болога¹, А. Т. Крачун², О.В. Моторин¹

Институт прикладной физики АН РМ, Кишинев, Молдавия (1)
Кишиневский государственный университет, Кишинев, Молдавия (2)

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ГОРЕНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

АННОТАЦИЯ

Установка, состоящая из горелки типа Seitan 20 с номинальным расходом газа 20 нм³/ч, снабженная системой электродов из сплава Kanthal и регулируемым источником высокого напряжения, была исследована на экспериментальном стенде Бухарестского научно-исследовательского металлургического института. Установлено, что увеличение напряжения до 12 кВ и тока до 32 мкА приводит к существенному улучшению качества процесса горения: увеличению температуры пламени с 1100 до 1190 °С, уменьшению процентного содержания СО от 1,2 до 0,012 %, уменьшению потребления топлива на 5%.

1. ВВЕДЕНИЕ

Явление взаимодействия внешнего электрического поля с пламенем было известно еще в XVII веке, но теории, объясняющие его, были разработаны сравнительно недавно [1,2].

Настоящее исследование процесса горения нацелено на повышение эффективности, то есть уменьшение удельного потребления топлива, повышение температуры пламени и сокращение содержания СО в дымовых газах. Благодаря техническим, экономическим и экологическим выгодам, которые сулит решение этой проблемы, она привлекает все возрастающее внимание исследователей и практиков.

В результате поисков принципиального технического решения задачи авторы остановились на поперечной схеме применения переменного электрического поля, которая принята за основу при разработке экспериментальной установки.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальная установка включала газовую горелку типа Seitan 20 с номинальным расходом газа 20 нм³/ч, регулируемый источник высокого напряжения и камеру сгорания с электродами из сплава Kanthal, которая представляла собой параллелепипед с размерами 50x50x180 мм. Боковые стенки выполнены из огнеупорного кирпича. Вставки шириной 50 мм и толщиной 40 мм из огнеупорной глины, образовывали остальные четыре стенки камеры. В каждой боковой стенке предусмотрено окно 50x50 мм для ввода зонда, с помощью которого измерялась плотность тока в различных зонах пламени и определялись области максимальной электропроводности пламени.

Система электродов состояла из двух металлических пластин размерами 180x130x3 мм, установленных заподлицо с внутренними стенками камеры.

Экспериментальная установка была установлена на специализированном стенде, позволяющем проводить визуальные наблюдения, рекуперировать тепло дымовых газов, подавать топливо при давлении 5000 мм вод. ст., измерять расход газа и реализовать его тонкое регулирование.

3. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Разность потенциалов регулировалась в диапазоне 0-12 кВ и подавалась на систему электродов с зазором 50 мм. При напряжениях до 12 кВ и расходах газа до 30 нм³/ч измерялись давление, температура и состав дымовых газов, а также плотность тока в пламени. Главными показателями достижения максимальной эффективности процесса горения было содержание СО в дымовых газах и температура пламени.

Для измерений использовали цифровой мультиметр Fluke с диапазоном измерения токов 0-10 А и точностью 1 в первичной цепи высоковольтного источника; вольтметр с диапазоном измерений 0-500 В и точностью 1 в первичной цепи высоковольтного источника; микроамперметр с диапазоном 0-200 мкА и точностью 1,5 для измерения тока переносимого ионами в пламени и нахождения областей с наибольшей электрической проводимостью; осциллограф с диапазоном измерений 0-20 кВ, 0-20 А, 0-60 Гц, точностью 0,5 для измерения напряжения во вторичной цепи высоковольтного источника и наблюдения за формой высокого напряжения; термопары Pt-Rd13, 0-1800 °С, ± 6,5 °С для измерения температуры пламени; диафрагма типа Kent 0-25 нм³/ч, ± 2 % для измерения расхода газового топлива; U-образный манометр, 0-1000 мм вод.ст., ± 0,5 мм вод.ст. для измерения статического давления газа; газовый анализатор TESTO-350 с электрохимическими ячейками, с диапазоном измерения 0-20 000 ppm и точностью ± 20 ppm (СО), 0-21 % и 0,2 % (О₂), 0-20000 ppm и ± 20 ppm (NO_x) для измерения содержания СО, О₂ и NO_x в дымовых газах; инфракрасный газовый анализатор INFRALYT 2020, с диапазоном измерения 0-20 % и точностью 0,2 % для измерения содержания СО₂ в дымовых газах.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1-6 представлены результаты, полученные при варьировании расхода подаваемого газа при различных напряжениях на электродах и в отсутствие электрического поля.

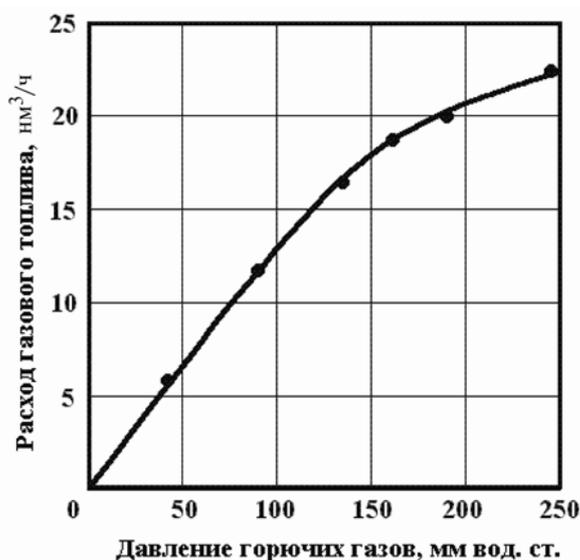


Рис. 1. Напорно-расходная характеристика горелки

Анализ показывает, что электрическое поле влияет незначительно на расходно-напорные характеристики топлива (рис. 1). Максимальная величина тока в пламени при напряжении 12 кВ составляла 32 мкА.

Вольт-амперные характеристики вписываются в области применимости закона Ома (рис. 2). В отсутствие электрического поля было обнаружено наличие естественного тока величиной около 0,4 мкА. Концентрация СО в отходящих газах превышала 1,2 % (12000 ppm), что свидетельствует о низкой эффективности горения и превышении предельно допустимой концентрации, которая регулируется действующими экологическими нормами (170 мг/нм³). При напряжениях на электродах превышающих 7 кВ и газовых расходах 15 - 25 нм³/ч, содержание СО в уходящих газах уменьшается до 0,01-0,03 % (рис. 3). При напряжении 12 кВ и номинальном расходе газа содержание СО составляет 16 ppm или 136,6 мг/(н·м³).

Увеличение напряжения приводит к росту температуры пламени, что может быть объяснено сдвигом химической реакции в сторону образования молекул CO_2 , а не СО (рис. 4). Поскольку этот тип горелки не позволяет получить высокие температуры, при которых образуется NO_x , влияние электрического поля находится в пределах точности экспериментов и образование NO_x определяется в основном расходом газового топлива (рис. 5). В диапазоне исследованных температур пламени содержание NO_x не превышает предельно допустимую величину (350 ppm или 450 мг/(н·м³)).

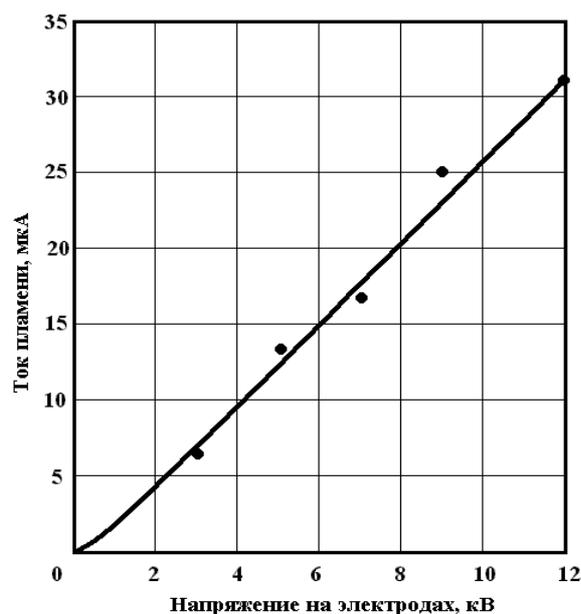


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика системы электродов

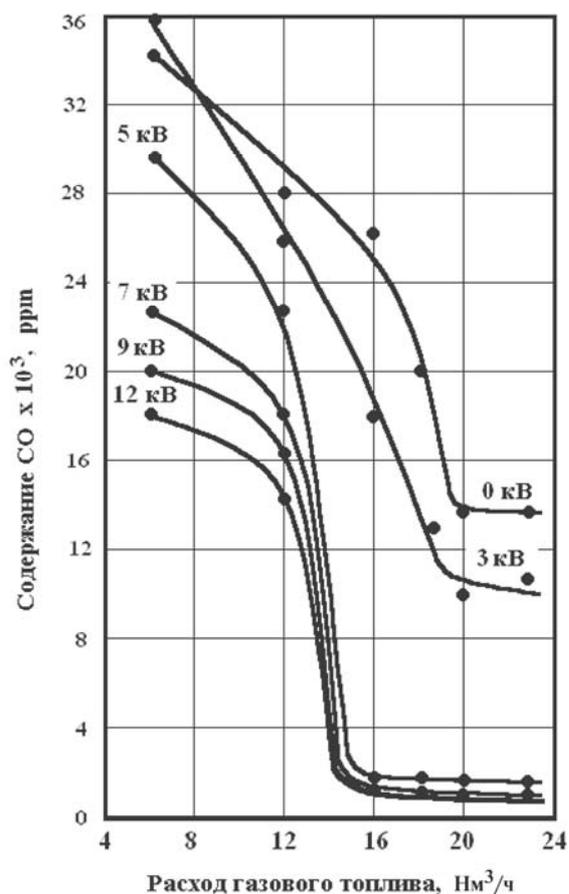


Рис. 3. Содержание СО в дымовых газах в зависимости от напряжения на электродах и расхода топлива

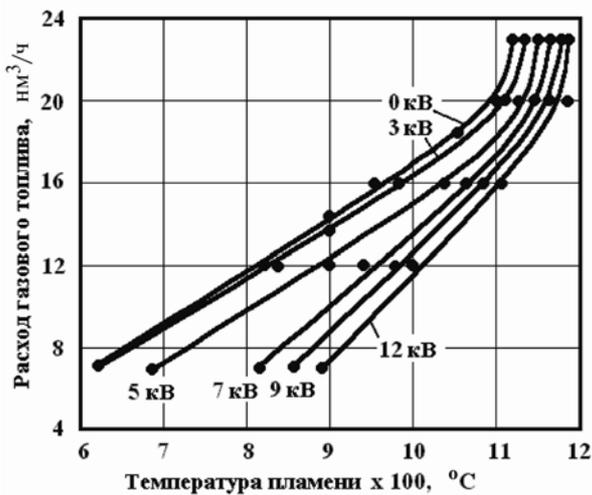


Рис. 4. Температура пламени в зависимости от напряжения на электродах и расхода топлива

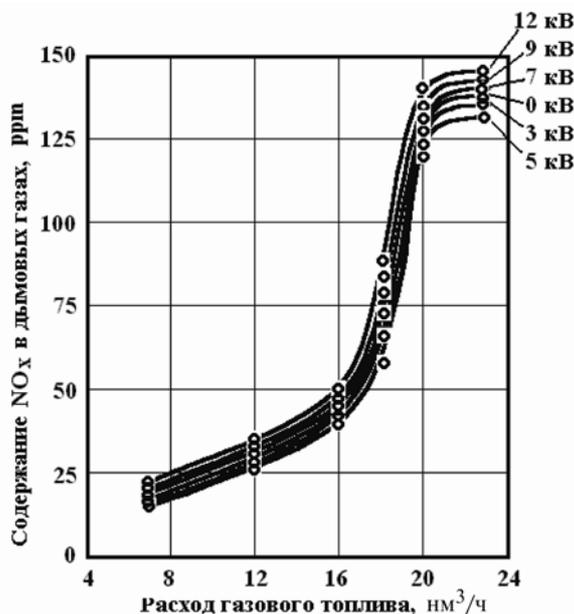


Рис. 5. Содержание NO в дымовых газах в зависимости от напряжения на электродах и расхода топлива

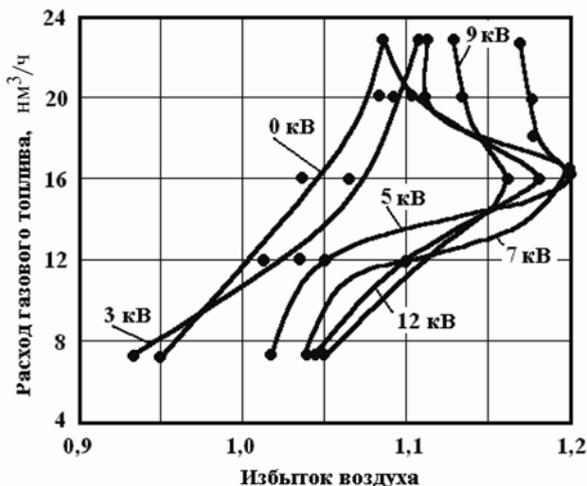


Рис. 6. Избыток воздуха в зависимости от напряжения на электродах и расхода топлива

При расходах менее $15 \text{ нм}^3/\text{ч}$ и напряжениях в указанном диапазоне уменьшить содержание CO до допустимого уровня невозможно, что, по-видимому, объясняется конструкцией горелки. Воздух, необходимый для горения, инжестировался горючими газами, и поддерживать оптимальную величину избытка воздуха при низких расходах горючих газов оказалось невозможным (рис. 6).

5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПРОЦЕССАХ ГОРЕНИЯ

Расчет экономической эффективности проводился путем определения экономии топлива при его сжигании вследствие сокращения концентрации CO в уходящих газах в электрическом поле и в его отсутствии. Для рассматриваемой горелки Seitan 20 экономия топлива составляет 5% или $1 \text{ нм}^3/\text{ч}$. Принимая во внимание расходы на создание электрического поля ($0,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч USD}$), стоимость газового топлива ($0,08 \text{ USD}/\text{нм}^3$) и среднюю продолжительность работы горелки 4000 ч в год, экономия составляет 292 дол/год на одну горелку.

Расходы на оснащение одной горелки средствами создания электрического поля составляют 30 USD. Таким образом, срок амортизации составляет 0,1 год. Поскольку этот тип горелки не лишен недостатка образования большого содержания CO в дымовых газах, использование электрического поля позволит сделать их экологически чистыми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обычная газовая горелка Seitan 20 была оборудована устройством для создания поперечного электрического поля в пламени, что приводит к повышению его температуры с 1100°C до 1190°C , вследствие понижения содержания CO с 1,2 до 0,012%. Это привело к сокращению потребления топлива на 5% по сравнению с номинальным режимом и созданию экологически чистой горелки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов Е.М., Дьячков Б.Г. Ионизация в пламени и в электрическом поле. М.: Металлургия, 1968.
2. Lawton I., Weinberg F.I. Electrical aspects of combustion, Clarendon Press, Oxford, 1969.