

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВОТОЧНОЙ ГОРЕЛКИ С ПОРИСТОЙ ОБОЛОЧКОЙ

К.А. Цой, А.С. Мазной, К.А. Штым, Е.Ф. Кихайогло

*Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Приморский край, Россия, 690950*

Аннотация. Экспериментально исследованы характеристики противоточной горелки нового типа с пористой инертной оболочкой. Пористая газопроницаемая инертная оболочка с размером пор 600-1000 мкм в виде трубы с внутренним диаметром 36 мм и внешним диаметром 72 мм была изготовлена из интерметаллического соединения NiAl методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Два входа смесей «СУГ + воздух» расположены на концах пористой трубы и направлены друг против друга. На обоих входах использовались специальные теплообменники, которые поглощали внутреннее излучение пористой оболочки и нагревали входящую предварительно смешанную смесь топлива и воздуха. Наблюдалось стабильное сгорание смеси «СУГ + воздух» (смесь 30% пропана, 70% бутана и воздуха) со стехиометрическим соотношением $\phi \geq 0,5$. Температура наружной поверхности стенки пористой оболочки изменялась от 1100 до 1400 К, что позволило получить радиационную эффективность горелки в диапазоне от 65% до 50%. Доля тепловой энергии, возвращаемой в поступающую предварительно смесь из продуктов сгорания, может быть оценена по экспериментальным данным как 14-15%. Экологические характеристики варьируются от 5 до 450 ppm для выбросов CO и от 3 до 89 ppm для выбросов NOx. Радиационные горелки этого типа перспективны для использования в бытовых обогревателях и автоматических котельных.

Экспериментальные методы. В данном исследовании в качестве топлива использовался сжиженный углеводородный газ (LPG), изготовленный заводом «Пригородное» на месторождении «Сахалин-2». Состав газа – 30% пропан, 70% бутан. Теплота сгорания 45.7 МДж/кг, нижний предел воспламенения 2,0%.

Пористый каркас характеризуется высокой окислительной и температурной стойкостью [1]. Форма каркаса – полый цилиндр с внешним диаметром 72 мм, внутренним 36 мм. Полная длина каркаса 42 см, из них торцы длиной 2 см с каждой стороны не участвуют в сжигании топлива, т.к. являются элементами крепления. Итого, полезная длина каркаса составила 38 см. Схема экспериментальной установки показана на рисунке 1.

После измерения воздуха и газа предусмотрено их разделение на два потока: на левую и правую часть экспериментальной установки. Компоновка устройства является основным от ранее изученных цилиндрических пористых оболочек, в т.ч. со сферическим оголовком [2,3]. Далее по ходу газов установлены по два механических ротаметра со встроенными прецизионными клапанами-регуляторами. Каждый из них предусмотрен для создания симметричных условий работы установки, которые устанавливаются в начале эксперимента, и далее в процессе измерений не участвуют. Далее газы направляются в смесители, размещенные в симметричных концах горелки. После смешения, готовая воздушно-пропан-бутановая смесь подается во внутреннюю полость пористого каркаса. Во фланцах, соединяющих пористый каркас и смесители, встроены трубки-теплообменники (диаметр 10/6 мм внешний/внутренний), где производится нагрев исходной смеси за счет внутреннего излучения пористого каркаса.

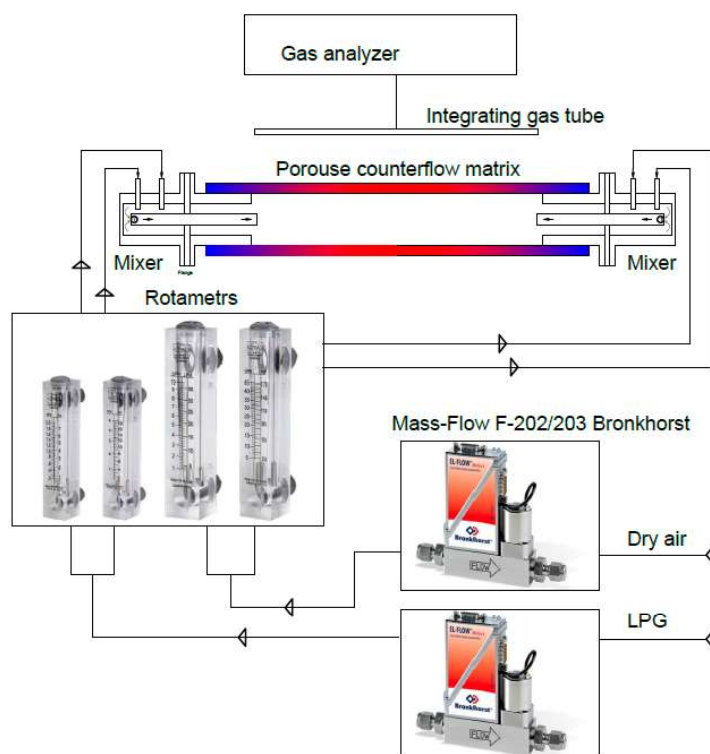


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Процесс сжигания топлива происходит полностью во «внутреннем» режиме горения [2], характерный тем, что на внешней поверхности каркаса наблюдаются продукты полного сгорания CO_2 , а температура внутренней стенки каркаса выше чем температура наружной стенки.

Для детального изучения процессов переноса тепла в пористом каркасе были предусмотрены детальные измерения температуры. Для измерения температур использовались термопары тип К и тип В, установленные на внутренних и наружных стенках пористого каркаса. Также измерялась температура топливовоздушной смеси на выходе из трубки-регенератора.

Результаты. Основным стационарным режимом работы установки является «внутренний». Интерес представляет распределение температур внутри и снаружи установки, которое может говорить о положении фронта пламени в рассматриваемой противоточной схеме сжигания. Экспериментально полученная зависимость температуры на внутренней стенке от ϕ при различном расходе газа приведена на рисунке 2. Адиабатическая температура горения T_b была рассчитана для исходной смеси при температуре смеси равной 20°C . Температура (T_b+T_m) рассчитана с учетом измеренной температуры смеси после трубки-регенератора T_m .

Рассчитан показатель доли регенерации тепла: как отношение теплоты, воспринятой свежей смесью до выхода из трубки-теплообменника, к полному тепловыделению в установке. Численно данное значение изменяется от 14 до 16% при ϕ от 0,6 до 0,95 с максимальным значением 16% при $\phi=0,8$. Данный показатель введен для оценки качества работы системы возврата тепла.

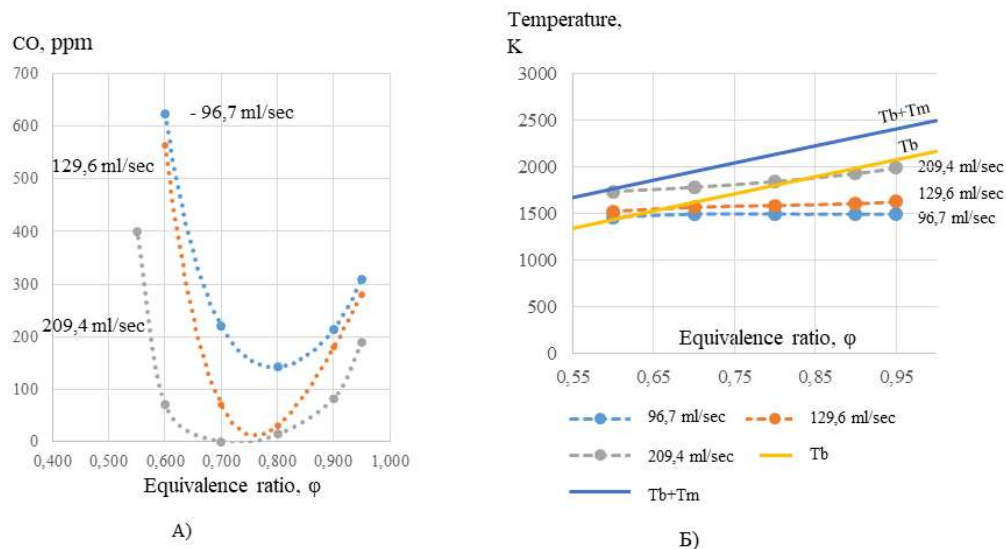


Рис. 2. Режимы работы устройства: а) зависимость эмиссии CO (осушенные, пересчитанные на концентрацию кислорода 3%) от ϕ при различном расходе топлива; б) зависимость температуры на внутренней стенке от ϕ при различном расходе топлива.

Выводы

1. Новая конструкция противоточной горелки с цилиндрическим пористым каркасом из NiAl является модификацией ранее изученных цилиндрических горелок, и имеет технологические и экологические показатели, доказывающие её высокую эффективность.

2. Данный тип горелок имеют повышенную безопасность использования. Во-первых, они не имеют «внешнего» режима измерения, при прогреве происходит автоматический переход из «внешнего» режима во «внутренний» в широком диапазоне режимов. Во-вторых, они стабильно и с высокими экологическими характеристиками работают при $\phi=0,6$, что составляет 2,4% объемной доли LPG в воздухе, что очень близко к нижнему пределу распространения пламени 2,0%. При незначительном разбавлении данной смеси в окружающем воздухе (например, при выключении горелки) она становится негорючей и невзрывоопасной.

3. Сжигание смеси имеет сверхадиабатический характер, однако рост температуры входящей смеси не вызывает рост NOx.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Maznoy, A., Kirdyashkin, A., Minaev, S., Markov, A., Pichugin, N., & Yakovlev, E. (2018). A study on the effects of porous structure on the environmental and radiative characteristics of cylindrical Ni-Al burners. *Energy*, 160, 399-409.
2. R. Fursenko, A. Maznoy, E. Odintsov, A. Kirdyashkin, S. Minaev, K. Sudarshan, Temperature and radiative characteristics of cylindrical porous Ni-Al burners, *Int. J. Heat Mass Transf.* 98 (2016). doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.03.048.
3. A. Maznoy, N. Pichugin, Environmental and radiative characteristics of cylindrical Ni-Al burners for LPG combustion, *J. Phys. Conf. Ser.* 1115 (2018) 042030. doi:10.1088/1742-6596/1115/4/042030.