

И.Н. Осипенко, И.Ю. Павловский, В.А. Спажакин, Н.Н. Сысоев

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВИДИМОГО И ИК-ИЗЛУЧЕНИЙ В ВОЗДУХЕ ВДОЛЬ НЕОДНОРОДНО НАГРЕТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Выполнен комплекс экспериментальных измерений пространственных распределений температур и средних по сечению скоростей конвективных потоков воздуха в неоднородно нагретых трубах. Показано, что при определенных режимах нагрева поверхностей труб, несмотря на сложный характер течения газовых потоков, возможно формирование заметных и равномерных градиентов температур при не слишком интенсивном нагреве. Возникающие при этом профили показателя преломления воздушной среды могут быть использованы для фокусировки лазерного излучения.

Течения газов и жидкостей в неоднородно нагретых трубах со сложными пространственными распределениями температуры вызывают значительный интерес, причем детальный теоретический анализ таких процессов крайне затруднителен [1, 2]. Вместе с тем поиски решения задачи создания полых волноводов для мощных непрерывных лазеров ИК-диапазона, таких как  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$  [3], а также вопросы, связанные с созданием альтернативных фокусирующих элементов типа газовых линз [1], проблемы лазерной термодиффузии в вертикальных трубах [4, 5] и т.д. требуют более углубленных исследований конвективных газовых потоков.

Авторами данной статьи выполнен комплекс экспериментальных измерений пространственных распределений температур и скоростей конвективных потоков воздуха в неоднородно нагретых цилиндрических трубах с различными параметрами.

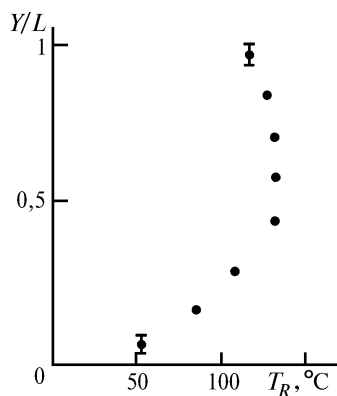


Рис. 1

Эксперименты проводились с кварцевыми капиллярами длиной 25–50 см и диаметрами 1–2 см. Их нагрев осуществлялся с помощью набора специально изготовленных полых цилиндрических электронагревательных элементов из нихрома, надеваемых на капилляр снаружи, и теплоизолированных с внешней стороны. Измерения температуры выполнялись миниатюрными хромель-алюмелевыми термопарами. Отметим, что при вертикальной установке трубок с точностью до  $1^\circ$  наблюдалась хорошая осевая симметрия измеряемых характеристик. При одинаковом вдоль трубы энерговыкладе на единицу длины даже слабый нагрев капилляров до температур порядка  $50^\circ\text{C}$  приводил, ввиду развития потоков естественной конвекции, к неоднородному распределению температуры по высоте вертикально установленного капилляра. С увеличением подводимой мощности эта неоднородность усиливалась, причем нижняя

кромка трубки сохраняла температуру, близкую к комнатной. Типичный вид зависимости температуры стенок трубки от относительной вертикальной координаты представлен на рис. 1. Видно, что верхняя половина капилляра  $y \gtrsim L/2$  имеет практически однородную температуру, которую в дальнейшем будем называть температурой трубки  $T_R$ . В нижней части температура нелинейно возрастает по закону, близкому к экспоненциальному.

Значительный интерес представляют собой радиальные распределения температуры внутри капилляра. На рис. 2 для трубки длиной  $L = 50$  см и внутренним диаметром 2 см они сгруппированы в два блока для различных расстояний  $h$  от верхнего среза.

Из рисунка видно, что в основной части объема капилляра радиальный градиент температуры изменяется незначительно. Это может быть использовано, например, для фокусировки лазерного излучения, в частности, при создании полых волноводов для лазеров ИК-диапазона. По представленным зависимостям  $T(r)$  могут быть получены распределения показателя преломления  $n(r)$  и рассчитаны фокусирующие свойства системы. Заметим, что в значительной части капилляра градиент температуры в приосевой области трубки существенно отличен от нуля, поскольку происходит нагрев поднимающегося газа и функция  $n(r)$  отлична от квадратичной.

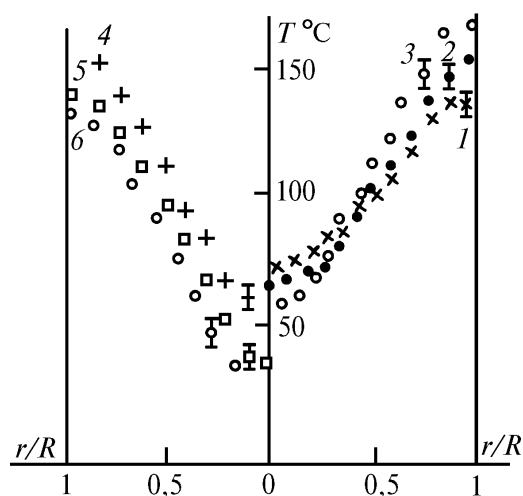


Рис. 2. Радиальные распределения температуры внутри капилляра для различных расстояний  $h$ (см) от верхнего среза:  $h = 0(1), 6(2), 12(3), 18(4), 24(5), 30(6)$

Отметим, что подбором режима нагрева для  $y/L \gtrsim 0,1$  удается экспериментально обеспечить линейный рост температуры на оси капилляра по мере конвективного подъема воздуха. Типичные результаты измерений представлены на рис. 3.

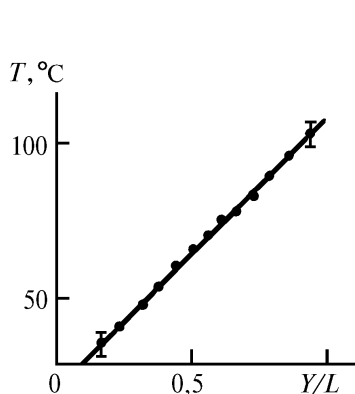


Рис. 3. Зависимость температуры на оси капилляра от относительной вертикальной координаты

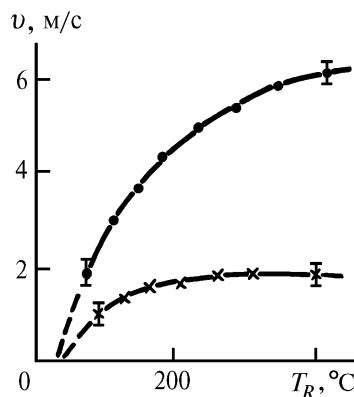


Рис. 4. Зависимость средней по сечению трубки скорости воздуха на выходе (1) и на входе (2) от температуры стенок

Приведенные температурные распределения формируются в восходящих расширяющихся и ускоряющихся потоках воздуха. Поэтому большой интерес представляют измерения скоростей воздушных потоков. На первом этапе для определения средней по сечению капилляра скорости воздуха  $v$  использовались специально отградуированные анемометры с различными насадками.

На рис. 4 представлены зависимости  $v$  на выходе (1) и на входе (2) в капилляр диаметром 2 см и длиной 50 см от температуры стенок трубки. Пунктиром дана скорость на выходе капилляра длиной 25 см. Видно, что с нагревом величина скорости входящего воздуха достаточно быстро выходит на насыщение, а скорость выходящего потока продолжает нарастать. При  $T_R$  примерно 400°C значения скоростей различаются более чем в 3 раза.

Таким образом, результаты экспериментальных измерений пространственных распределений температур и скоростей при конвективном движении воздуха в неоднородно нагретых трубах показывают, что при определенных режимах нагрева поверхностей, несмотря на сложный ускоренный характер течения, возможно формирование заметных и достаточно равномерных градиентов температуры при не слишком интенсивном нагреве.

1. Соковишин Ю.А., Мартыненко О.Г. Введение в теорию свободно конвективного теплообмена. Л.: Изд-во ЛГУ, 1982.
2. Зимин В.Д., Фрик П.Г. Турбулентная конвекция. М.: Наука, 1988.
3. Honda A. et. al. // Appl. Phys. Lett. 1991. V. 58. N 15. P. 1582.
4. Колчин А.В., Спажакин В.А. // ТВТ. 1989. Вып. 27. N 4. С. 820.
5. Scholz M. // Ber. Bunsenges. Chem. 1987. V. 91. P. 1054.

Московский государственный  
университет

Поступила в редакцию  
29 июля 1993 г.

I. N. Osipenko, I. Yu. Pavlovskii, V. A. Spazhakin, N. N. Sysoev.  
**Experimental Study of Propagation of the Visible and IR Radiation in Air Along Inhomogeneously Heated Surfaces.**

In this paper we present experimental results on measurements of spatial distribution of temperature and of cross-section averaged velocities of convective air flows in inhomogeneously heated pipes. It is shown in this study that certain regimes of heating the pipes surfaces can provide, in spite of a complicated character of a gas flow, formation of noticeable and homogeneous temperature gradients though at not very intense heating. The resulting profiles of the air refractive index could be useful for focusing laser radiation.