

М. Р. Гордиенко^{1}, И. К. Кабардин¹, В. И. Полякова¹, Н. И. Яворский¹*

Экспериментальное измерение картины течения при возмущении потока с помощью стержня

¹ Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск,

Российская Федерация

* e-mail: fregat120@yandex.ru

Аннотация. Представлена работа, в которой проверяется влияние сердечника в вихревой трубе на температуру на выходах трубы и температуру вблизи стенки. Показано, что сердечник очень слабо влияет на указанную температуру, что позволяет использовать сердечник, как базу для расположения датчиков.

Ключевые слова: вихревая труба, стержень, температура, турбулентный поток

M. R. Gordienko^{1}, I. K. Kabardin¹, V. I. Polyakova¹, N. I. Yavorsky¹*

Experimental Measurement of the Flow Pattern under Flow Perturbation Using a Rod

¹Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: fregat120@yandex.ru

Abstract. A paper is presented in which the influence of the core in a vortex tube on the temperature at the pipe outlets and the temperature near the wall is checked. It is shown that the core has a very weak effect on the specified temperature and allows the core to be used as a base for the location of sensors.

Keywords: vortex tube, rod, temperature, turbulent flow

Введение

Эффект Ранка-Хилша представляет собой терморазделение поступающего по касательной в трубу сжатого воздуха в два потока, с температурами выше и ниже исходной температуры. Этот эффект, открытый Ж. Ж. Ранком в конце 1920-х годов, несмотря на небольшой коэффициент полезного действия, имеет множество приложений в промышленности, таких как промышленная электроника, горячие и вредные производственные процессы, металлообработка, вентиляционные системы, перевозка овощей и фруктов, воздушные костюмы и маски.

Эта работа является частью работ по исследованию эффекта Ранка-Хилша [1–3]. До этого также в трубе исследовалась температура на стенке канала [4]. Данная же работа сконцентрирована на исследовании температуры возле оси в трубе Ранка и на выходах с помощью термодатчиков.

Датчики, вносимые в вихревую трубу, не могут показать релевантные значения, не возмущив поток. Было решено вмонтировать датчики в сердечник диа-

метром 6 мм. Датчики, закрепленные внутри сердечника, не будут нарушать поток сверх того, как его нарушает сам сердечник. Задача данной работы – проверить, влияет ли наличие сердечника в потоке на воспроизведение эффекта энергоразделения и на температуру вблизи стенки канала.

Методы и материалы

Для исследований была использована труба Ранка квадратного поперечного сечения, которая применялась в работах [1, 3].

Схема трубы показана на рис. 1. Сжатый воздух из сети поступает в вихревую камеру, затем через две тангенциальные щели шириной 2 мм и общей площадью 80 мм² воздух поступает в завихритель радиусом 65 мм. После этого закрученный поток поступает через гиперболическую сужающую диафрагму в рабочий канал со стороной квадрата 34 мм. На горячем конце расположен радиальный диффузор, где нагретый воздух выходит по периферии, на холодном конце располагается диафрагма диаметром 16 мм, через которую охлажденный поток выходит наружу.

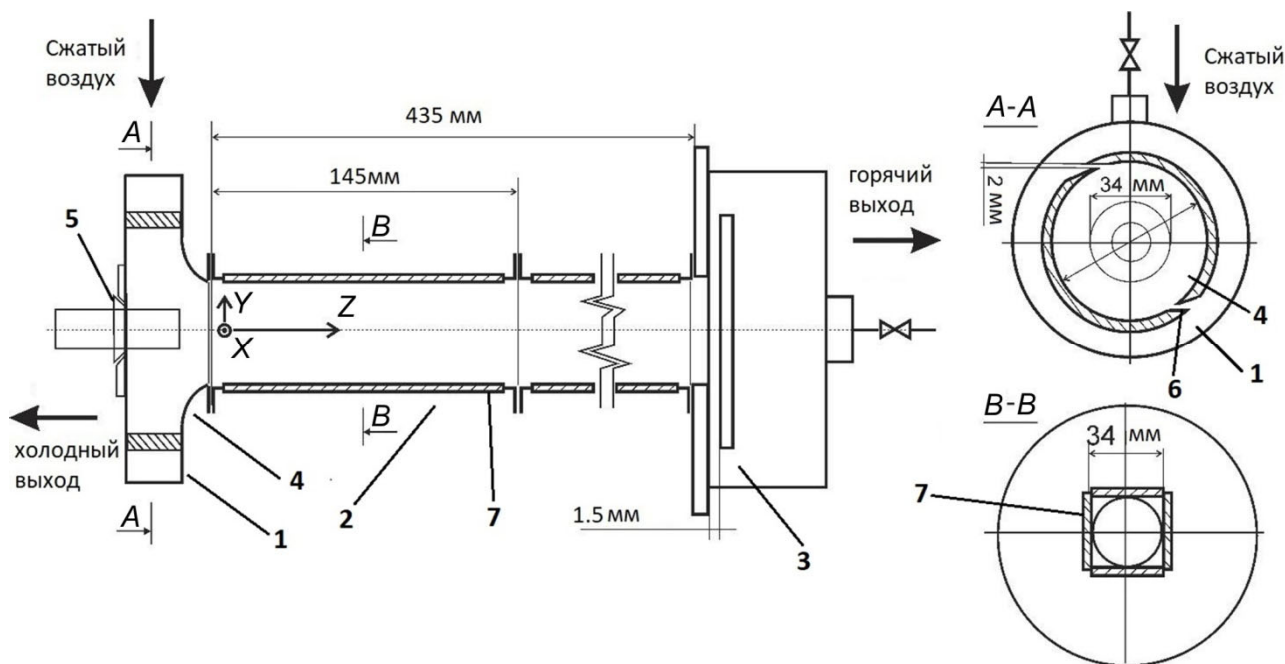


Рис. 1. Труба Ранка: 1 – вихревая камера, 2 – секция рабочего канала, 3 – радиальный диффузор на «горячем» выходе, 4 – завихритель, 5 – внешняя крышка вихревой камеры с трубкой «холодного» выхода, 6 – тангенциальные щели завихрителя, 7 – стенки рабочего канала с оптическими окнами

Труба устанавливалась на экспериментальный стенд, оснащенный датчиками давления и температуры DS1820, а также расходомерами ИРВИС PS4М-Ультра на входе и выходах. Датчики температуры DS1820 имеют погрешность менее 0,5°.

Температура на стенке рабочего канала измерялась с помощью термисторов сопротивления СТ5-16, вмонтированными так, как показано на рис. 2. Сбор данных с термисторов осуществлялся с помощью LCARD LTR114. При таком расположении термисторы измеряют температуру воздуха вблизи стенки при скорости, близкой к нулевой. Погрешность измерения температуры термисторами по калибровочной кривой не более $0,5^\circ$. Значения при этом в ходе эксперимента отклонялись от среднего не более чем на 1° .

Во время эксперимента по центру канала помещалась трубочка (сердечник) диаметром 6 мм.

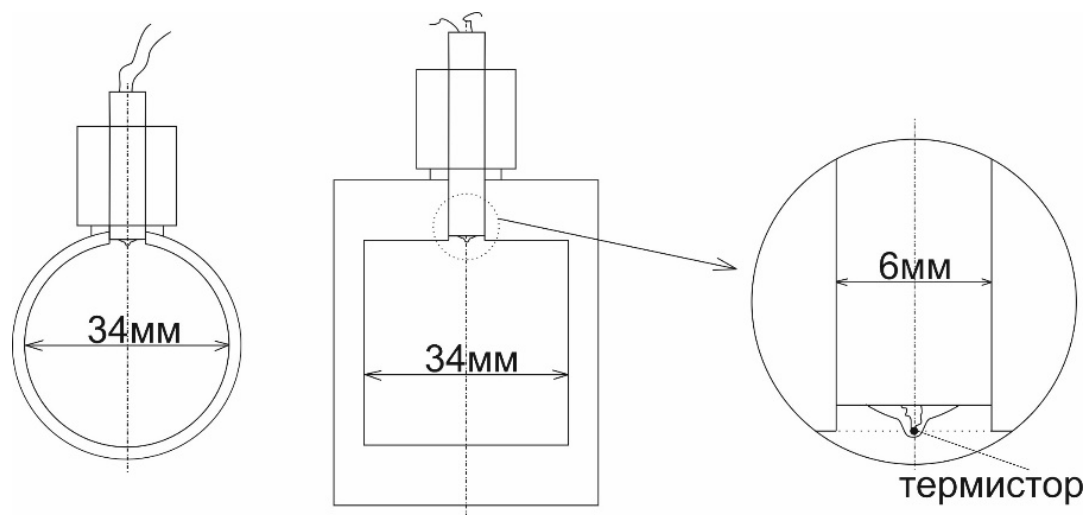


Рис. 2. Расположение термистора в вихревой трубе

Результаты

Было решено проверить, как влияет на показатели терморазделения при том же давлении сжатого воздуха трубочка, которая расположена во всю длину рабочего участка, уходя концами в оба выхода, как показано на рис. 3. Сердечник заглублен в отверстие холодного выхода на 100 мм.

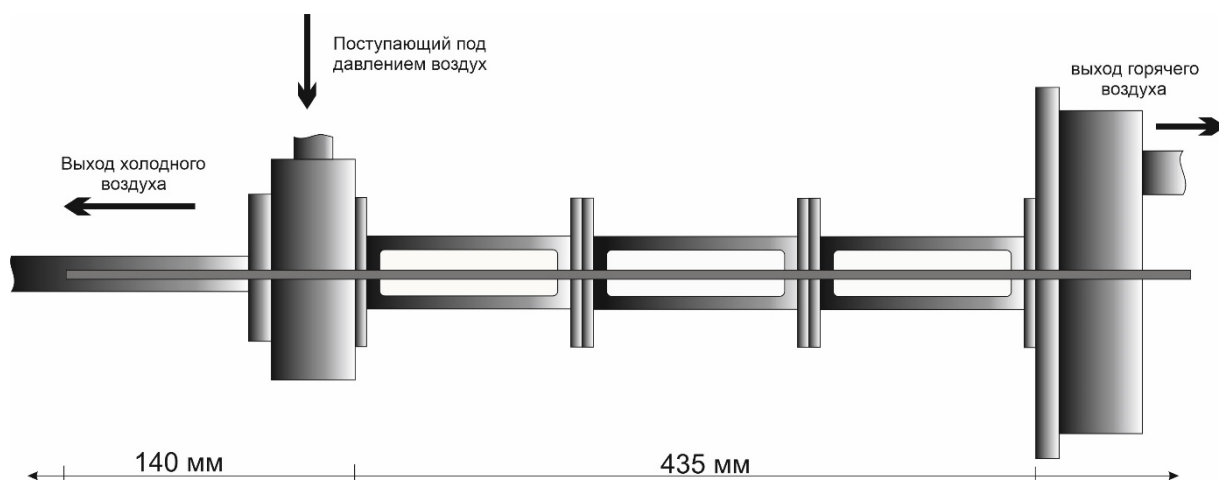


Рис. 3. Сердечник диаметром 6 мм внутри трубы

При таком расположении получились следующие результаты (табл. 1).

Таблица 1

Режимные параметры на входе и выходах во время эксперимента при наличии сердечника в потоке

μ	P_{in}	G_c	G_h	T_h-T_{in}	T_c-T_{in}
0,33	3,99	56,9	117,4	6,1	-11,9
0,5	3,98	80,9	80,3	7,1	-6,9
0,8	4,01	112,3	27,8	6,8	-2,6

В данной таблице μ – доля расхода в холодный выход; G_c – массовый расход воздуха в холодный выход; G_h – массовый расход воздуха в горячий выход; T_h , T_c , T_{in} – температуры на горячем, холодном выходе и на входе, соответственно; P_{in} – давление сжатого воздуха на входе.

Далее были измерены те же параметры при отсутствии трубочки в потоке. Данные этих измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Режимные параметры на входе и выходах во время эксперимента без сердечника

μ	P_{in}	G_c	G_h	T_h-T_{in}	T_c-T_{in}
0,33	4,01	56,6	115,5	6,7	-11,5
0,5	3,99	81,9	79,3	7,5	-7,4
0,8	3,98	111,8	27,4	6,6	-2,4

По данным двух таблиц заметно, что различия режимных параметров при наличии и отсутствии сердечника практически отсутствуют.

Также, вдоль стенки потока при этом располагались термисторы сопротивления. Данные измерений этих термисторов для случая с наличием и отсутствием сердечника в потоке показаны на рис. 4.

По измерениям термисторов на стенке канала также можно заметить, что наличие сердечника в рамках погрешности не влияет на температуру на стенке канала при том же входном давлении.

Обсуждение

Как видно из эксперимента, наличие сердечника в потоке в трубе указанной конфигурации не влияет на процесс терморазделения в трубе и на температуру вблизи стенки канала. Предполагается, что вокруг сердечника вращается двойная спираль, которая была получена на этой трубе в работе [5]. Сердечник не мешает этой спирали вращаться вокруг него.

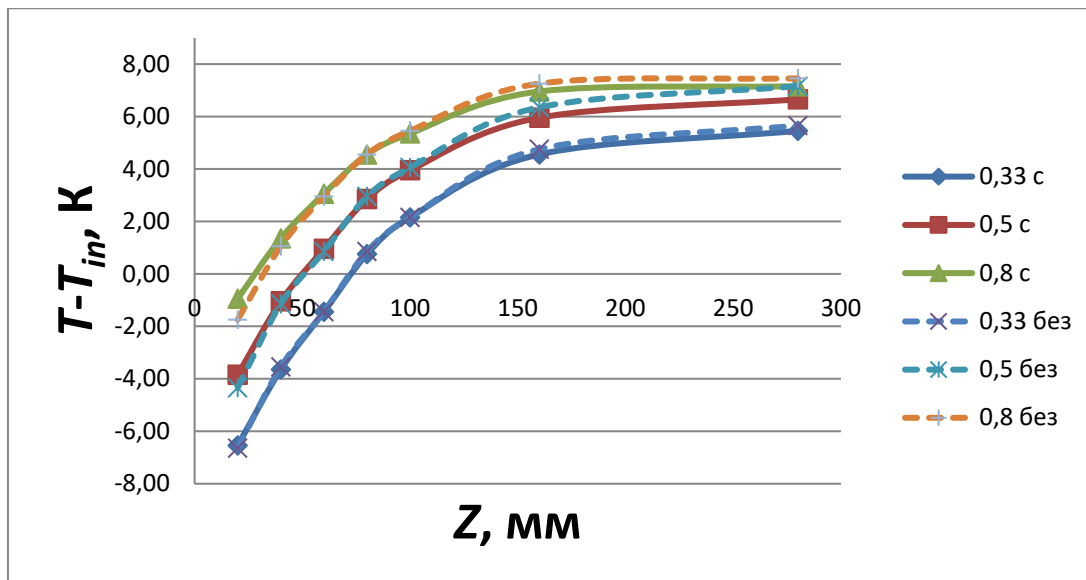


Рис. 4. Сравнение температуры у стенки при наличии сердечника диаметром 6 мм и без

Заключение

Наличие сердечника практически не влияет на показатели терморазделения на выходах трубы и на температуру вблизи стенки. Это позволяет использовать сердечник, как основу для расположения в нем датчиков температуры, которые не будут возмущать поток.

Благодарности

Экспериментальное исследование выполнено в рамках государственного задания ИТ СО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кабардин И.К. Экспериментальное исследование кризиса течения в вихревой трубе Ранка-Хилша методом ЛДА // Теплофизика и аэромеханика. – 2022. – Т. 9, № 5. – С. 709–717.
2. Правдина М.Х., Кабардин И.К., Полякова В.И., Куликов Д.В., Меледин В.Г., Павлов В.А., Гордиенко М.Р., Яворский Н.И. Гидравлическая неустойчивость потока в трубе Ранка // Прикл. механика и технич. физика. – 2020. – Т. 61, № 3. – С. 82–89.
3. Кабардин И.К., Яворский Н.И., Меледин В.Г., Правдина М.Х., Гордиенко М. Р. Сравнительный анализ режимов в трубах Ранка с круглым и квадратным сечением рабочего канала // ПМТФ. – 2020. – Т. 61, № 1(359). – С. 43–52.
4. Гордиенко М.Р., Кабардин И.К., Какаулин С.В., Полякова В.И., Яворский Н.И., Меледин В.Г., Павлов В.А., Зезюлин И.В. Исследование влияния перестройки потока на энергоразделение в вихревой трубе: исследование полей температуры // Труды XVII Всероссийской школы-конференции «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики», Шерегеш, Россия, 1924 марта 2023. – С. 8–11.
5. Арбузов В.А., Дубнищев Ю.Н., Лебедев А.В., Правдина М.Х., Яворский Н.И. Наблюдение крупномасштабных гидродинамических структур в вихревой трубке и эффект Ранка // Письма в ЖТФ. 1997. – Т. 23, № 23. – С. 84–90.