

4. Гостинцев Ю. А., Солодовник А. Ф., Лазарев В. В. К теории аэродинамики, самовоспламенения и выгорания турбулентных термиков, вихревых колец и струй в свободной атмосфере // Хим. физика.— 1982.— № 9.
5. Онуфриев А. Т. Теория движения вихревого кольца под действием силы тяжести. Подъем облака атомного взрыва // ПМТФ.— 1967.— № 2.
6. Гостинцев Ю. А., Солодовник А. Ф. Мощный турбулентный термик в устойчиво стратифицированной атмосфере. Численное моделирование // ПМТФ.— 1987.— № 1.
7. Махвиладзе Г. М., Мелихов О. И., Якуш С. Е. О численном моделировании подъема турбулентного термика в неоднородной сжимаемой атмосфере // Изв. АН СССР. МЖГ.— 1989.— № 1.
8. Гостинцев Ю. А., Суханов Л. А., Солодовник А. Ф. Стационарная автомодельная турбулентная струя над точечным концентрационно-тепловым источником // Изв. АН СССР. МЖГ.— 1983.— № 2.
9. Rouse H., Yih C. S., Humphreys H. W. Gravitational convection from a boundary source // Tellus.— 1952.— V. 4, N 3.
10. Hossain M. S., Rodi W. A turbulent model for buoyant flows and its applications to vertical buoyant jets // Buoyant jets and plumes/Ed. W. Rodi.— Oxford et al.: Pergamon Press, 1982.
11. List E. J. Mechanics of turbulent buoyant jets and plumes // Ibid.
12. Carrier G. F., Fendell F. E., Feldman P. S. Big fires // Combustion Sci. and Techn.— 1984.— V. 39, N 1.
13. Cotton W. R. Atmospheric convection and nuclear winter // Amer. Scientist.— 1985.— V. 73, N 3.
14. Penner J. E., Haselman L. C., Edwards L. L. Buoyant plume calculation.— N. Y., 1985.— (Pap./A1AA; N 85-0459).
15. Hassing G. A., Rosenblatt M. Firestorm formation and environmental characteristics after a large-yield nuclear burst // Proc. 17th Asil. Conf. on fire and blast effects of nuclear weapons, 1983.— (Lawrence Livermore Nat. Lab. Rept).
16. Вульфсон Н. И., Левин Л. М. Исследование распространения струи метеоропа в облачной среде применительно к активным воздействиям // Тр. ИПГ.— 1981.— Вып. 46.
17. Palmer T. Y. Convection columns above large fires // Fire Technol.— 1975.— V. 11, N 1.
18. Федотов С. А. Оценки выноса пепла и пирокластики вулканическими извержениями и фумаролами по высоте их струй и облаков // Изв. АН СССР. Вулканология и сейсмология.— 1982.— № 4.
19. Manins P. C. Cloud heights and stratospheric injections resulting from a thermonuclear war // Atmosph. Environ.— 1985.— V. 19, N 8.
20. Горшков Г. С., Богоявленская Г. Е. Вулкан Безымянный и особенности его последних извержений 1955—1963 гг.— М.: Наука, 1965.
21. The effects on the atmosphere of a major nuclear exchange/Nat. Res. Council.— Washington: Nat. Academy Press, 1985.
22. Anderson H. E. Sundance fire: an analysis of fire phenomena/U. S. Dept of Agriculture, Forest Service Res.— S. L., 1968.— (Pap./INT—56).
23. Гостинцев Ю. А., Шацких Ю. В. О механизме генерации длинноволновых акустических возмущений в атмосфере всплывающим облаком продуктов взрыва // ФГВ.— 1987.— № 2.
24. Venech B. Experimental study of a artificial convective plume initiated from the ground // J. Appl. Meteorology.— 1967.— N 15.
25. Апродов В. А. Вулканы.— М.: Мир, 1982.

г. Москва

Поступила 7/IV 1988 г.

УДК 533.601.16

В. И. Кузнецов

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ЭНЕРГООБМЕН В ВИХРЕВОЙ ТРУБЕ

В ряде работ [1, 2] отмечалось, что температурная эффективность вихревых труб зависит только от степени расширения газа и не зависит от полного давления на входе в тангенциальное сопло (при постоянной температуре торможения газа и весовой доле холодного потока μ). Теоретические выводы подтверждались экспериментами с полным давлением на входе в вихревую трубу выше атмосферного ($p_{\text{вх}} \geq 10^5$ Па). И хотя из экспериментов [1] следовало, что снижение полного давления при сохранении неизменной степени понижения полного давления газа ϵ приводит к некоторому снижению температурной эффективности, считалось, что уровень давлений не играет роли в работе вихревой трубы. Из анализа математической модели процесса энергетического разделения газа в вихревой трубе [3] следует, что температурная эффектив-

ность зависит от коэффициента кинематической вязкости, который в свою очередь является функцией полного давления газа на входе в тангенциальное сопло. Кроме того, эффект Ранка должен возникать как при турбулентном, так и при ламинарном режиме движения газа.

Цель данной работы — экспериментальная проверка влияния полного давления газа на входе в вихревую трубу на ее температурную эффективность (при постоянстве T_{*+} , μ и $\varepsilon = p_{*+}/p_{-}$) при ламинарном и турбулентном режимах движения газа в камере энергетического разделения.

Чтобы получить ламинарный режим в вихревой трубе, необходимо уменьшить число Рейнольдса. Это можно сделать, не меняя ε , за счет увеличения коэффициента кинематической вязкости ν , которая сильно зависит от давления и растет с его уменьшением. Поэтому эксперименты проведены на вакуумной установке (рис. 1), которая состоит из вентиля 1, фильтра 2, водоотделителя 3, ресивера 4, сопловой колодки 5, входного тангенциального сопла прямоугольной формы 6, камеры энергетического разделения 7, спрямляющего аппарата 8, вентиля 9, ресивера подогретого газа 10, диафрагмы 11, через которую выходит охлажденный воздух, ресивера охлажденного воздуха 12, трубопроводов 13 и 14 для отвода подогретого и охлажденного воздуха от вихревой трубы к вакуумной установке 15. Из вакуумной установки воздух отводится в атмосферу.

С помощью вентиля производилось регулирование полного давления на входе в вихревую трубу и устанавливались ламинарный или турбулентный режимы движения воздуха. Наличие пульсаций потока (режим движения воздуха) контролировалось тремя тензорезисторами с последовательным выводом показаний на шлейфовый осциллограф. Тензорезисторы располагались на входном тангенциальном сопле, на стенке камеры энергетического разделения перед вентиляем и на диафрагме. Если показание тензорезистора было эквидистантно его характеристике при неработающей вихревой трубе, то режим движения воздуха считался ламинарным. Если показание тензорезистора отличалось от его характеристики при неработающей вихревой трубе, то режим движения воздуха считался турбулентным. Расчет показал, что ламинарный режим сохранялся до $Re \approx 4500$, т. е. вращение потока способствовало частичному подавлению пульсаций.

Основные размеры исследованной противоточной вихревой трубы: $h_1 = 3,5$ мм, $b_1 = 7,0$ мм — высота и ширина входного сопла соответственно; $d_T = 15$ мм — диаметр камеры энергетического разделения (КЭР) в месте ее присоединения к сопловой колодке; $l_T = 150$ мм — длина

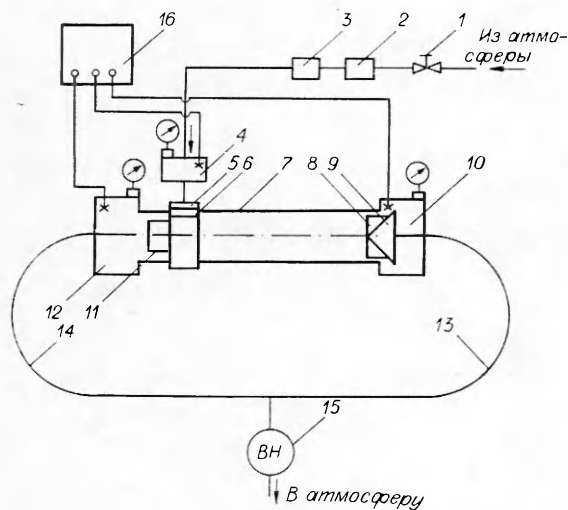


Рис. 1

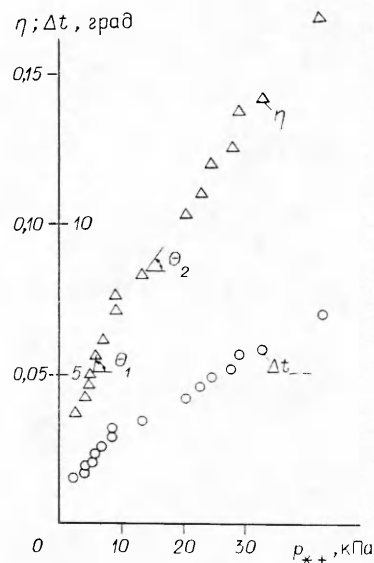


Рис. 2

КЭР; $\alpha = 3,7^\circ$ — угол диффузорности КЭР. Температура торможения и полное давление воздуха определялись в трех сечениях — на входе в тангенциальное сопло, на выходе из диафрагмы и вентили. Кроме того, записывалось показание барометра. Температура измерялась платино-серебряными термометрами сопротивления с выводом показаний на цифровой вольтметр. Погрешность $\pm 0,1^\circ$. В процессе проведения испытаний температура торможения на входе в тангенциальное сопло изменялась незначительно ($T_{*+} = 293 \dots 296$ К). Перепад температур при изоэнтропном расширении Δt_s и температурная эффективность η вихревой трубы подсчитывались по формулам $\Delta t_s = T_{*+} [1 - (p_{*-}/p_{*+})^{(k-1)/k}]$ ($T_{*+} = (t_{*+} + 273)$ К, k — показатель адиабаты воздуха), $\eta = \Delta t_{-}/\Delta t_s$.

Результаты обработки экспериментальных данных приведены на рис. 2, откуда видно, что в одной и той же вихревой трубе при одинаковой степени расширения воздуха в ней $\varepsilon = p_{*+}/p_{--} \approx 1,7$, перепад температур Δt_{--} и температурная эффективность η существенно зависят от полного давления воздуха на входе в тангенциальное сопло. Угол наклона характеристик Δt_{--} , $\eta = f(p_{*+})$ при ламинарном режиме движения газа больше, чем при турбулентном ($\Theta_1 > \Theta_2$). Температурная эффективность этой же вихревой трубы увеличилась до $\eta = 0,52$ при повышении полного давления на входе в тангенциальное сопло до $p_{*+} = 175$ кПа ($T_{*+} = 295$ К), для чего использовалась обычная компрессорная установка. С увеличением давления в область $p_{*+} > 175$ кПа значение η почти не менялось.

В заключение отметим следующее.

1. На величину охлаждения газа Δt_{--} , температурную эффективность η и холодопроизводительность $\mu \Delta t_{--}$ вихревой трубы значительное влияние оказывает полное давление на входе в тангенциальное сопло p_{*+} (в области $p_{*+} < 10^5$ Па); при постоянных значениях степени расширения газа ($\varepsilon = p_{*+}/p_{--} = \text{const}$), полной температуры газа на входе в тангенциальное сопло T_{*+} и весовой доли холодного потока μ значения Δt_{--} , η и $\mu \Delta t_{--}$ растут с увеличением p_{*+} .

2. Автор полагает, что в области $p_{*+} < 175$ кПа при указанных μ , ε и T_{*+} имеется ламинарно-турбулентный переход. В этом случае различный характер зависимости $\eta(p_{*+})$ в исследованной области и при давлениях, больших атмосферного ($\eta \approx \text{const}$), можно было бы объяснить, например, тем, что в ламинарном и турбулентном потоках по-разному ведет себя коэффициент сопротивления ζ , оказывающий влияние на работу вихревой трубы.

Автор приносит благодарность М. А. Гольдштику за помощь в постановке задачи и критические замечания в процессе выполнения работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Меркулов А. П. Вихревой эффект и его применение в технике. — М.: Машиностроение, 1969.
2. Суслев А. Д., Иванов С. В., Мурашкин А. В., Чижиков Ю. В. Вихревые аппараты. — М.: Машиностроение, 1985.
3. Барсуков С. И., Кузнецов В. И. Вихревой эффект Ранка. — Иркутск: ИГУ, 1983.

г. Омск

Поступила 13/VII 1987 г.,
в окончательном варианте —
25/V 1988 г.