

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ

В. И. Кузнецов, В. В. Макаров, А. С. Грицай

Омский государственный технический университет
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

На основании составленной ранее физико-математической модели рабочего процесса вихревой трубы произведен расчет термогазодинамических характеристик вихревой трубы при известных геометрических размерах и сопоставление их с экспериментальными данными.

В расчетах учтен обмен работой и теплотой между осевыми и периферийными слоями газа. Обмен работой осуществляется за счет передачи кинематической энергии от оси к периферии силами вязкости при возникновении касательных напряжений.

Учтена разность термодинамических температур при подводе теплоты от периферии к оси. Данные явления снижают эффект охлаждения потока, выходящего из диафрагмы.

Ключевые слова: термогазодинамические характеристики, вязкость, касательные напряжения, температурная эффективность.

Термогазодинамические расчеты вихревой трубы при известных геометрических размерах в настоящее время осуществляют на базе экспериментальных исследований [1, 2]. Удовлетворительные результаты эти расчеты дают только в диапазоне исследованных значений полного давления и температуры на входе в вихревую трубу. При выходе за исследованный диапазон параметров термогазодинамические параметры с большей погрешностью. Для снижения погрешности расчетов термогазодинамических характеристик вихревой трубы была составлена физико-математическая модель рабочего процесса вихревой трубы, отвечающая законам природы и согласованная с механикой сплошной среды.

Составленная на этой основе методика расчета термогазодинамических характеристик вихревой трубы дает результаты, которые удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

Постановка задачи

Более широкое распространение вихревой трубы в различных областях машиностроения в аэрокосмической технике и промышленной аэродинамике сдерживает отсутствие широко признанной физико-математической модели.

Имеется несколько физических моделей, объясняющих суть процессов, происходящих в вихревой трубе [1–3].

Верной физической моделью может быть только одна. Математические модели, составленные на базе физических моделей [1, 2] имеют в своем составе много экспериментальных составляющих, в результате чего они справедливы в узком диапазоне рабочего процесса вихревой трубы. При выходе за пределы диапазона экспериментальных исследований расчетные характеристики обретают большую погрешность.

Математическая модель, составленная на базе [3], опирается только на законы природы и не содержит в своем составе экспериментальных компонентов. На ее основе составлены две методики расчета [3]:

— расчет оптимальных геометрических размеров вихревой трубы при заданных термодинамических параметрах;

— расчет термогазодинамических параметров потоков газа на выходе из вихревой трубы при известных геометрических размерах.

На основании вышеизложенного основной задачей данной работы является проверка результатов расчета вихревой трубы по методике «Расчет термодинамических параметров потока газа на выходе из вихревой трубы при известных геометрических размерах» экспериментальными исследованиями.

Материал и методы исследования

Попытки создания методов расчета характеристик вихревых труб делали Ranque G. J., Гуляев А. И., Мартынов В. С., считавшие, что энергетическое разделение газа в вихревой трубе является результатом формирования в сопловом аппарате вынужденного вихря [4–6].

Гуцай А. Ф. и Milton R. пытались рассчитать характеристики вихревой трубы, используя «Демона Максвелла» [7, 8].

А. Тейлор считал, что наличие перепада давления приводит к радиальному адиабатному распределению температур [9].

Дубинский М. Г. и Дейч М. Е. рассчитывали характеристики вихревой трубы на базе закона распределения энтальпии торможения по радиусу газового потока, вращающегося как твердое тело [10, 11].

Uss A. Yu., Chernyshev A. V. рассчитывали характеристики на базе гипотезы турбулентного теплопереноса в центробежном поле вихревой трубы [12].

Поскольку все вышеперечисленные методики основывались на физических моделях, не соответствующих реальности, они не могли дать хороших результатов в широком диапазоне работы вихревой трубы.

Гипотеза о том, что подогрев периферийных и охлаждение осевых слоев газа в вихревой трубе идет за счет совершения работы осевыми слоями газа над периферийными силами вязкости из-за

градиента угловых скоростей соответствует закону механики сплошной среды о том, что изменение полной энергии может быть только при обмене работой и теплотой. Частичное снижение эффекта охлаждения осевых слоев газа происходит из-за подогрева газа осевых слоев периферийными, имеющими более высокую термодинамическую температуру [13, 14].

Данная гипотеза (физическая модель) принята за основу настоящей работы. На основании этой физической модели составлена математическая модель, на основании которой написана методика расчета термодинамических характеристик вихревой трубы при известных геометрических размерах [3].

Методика расчета характеристик вихревой трубы при известных геометрических размерах

По вышеприведенным исходным данным в результате определены величины:

p_{03} — полное давление воздуха на выходе из вентиля, Па;

T_{ox} , T_{or} — полные температуры воздуха на выходе из диафрагмы и вентиля соответственно, К;

G_1 , G_2 , G_3 — расход воздуха на входе в вихревую трубу на выходе из диафрагмы и вентиля соответственно, кг/с;

η — КПД процесса энергетического разделения воздуха, или температурная эффективность.

Алгоритм расчета

1. Коэффициент C :

$$C = 1 - \frac{1}{\pi_{T1}^{\frac{k-1}{k}}},$$

где $\pi_{T1} = \frac{p_{01}}{p_n}$.

2. Коэффициент B :

$$B = \frac{C\eta_p\mu}{1-\mu}.$$

3. Коэффициент A :

$$A = \frac{C\eta_p}{1-\mu+C\eta_p}.$$

4. Полная температура перед вентиляем без учета теплообмена:

$$T_{03} = T_{01}(1+B), \text{ К.}$$

5. Полная температура воздуха на выходе из диафрагмы без учета теплообмена:

$$T_{02} = T_{03}(1-A), \text{ К.}$$

6. Степень повышения полного давления периферийного потока воздуха:

$$\pi_c = (1 + B\eta_c)^{\frac{k}{k-1}}.$$

7. Полное давление воздуха перед вентиляем:

$$p_{03} = \pi_c(p_{01} + p_n), \text{ Па.}$$

8. Средняя температура периферийного потока воздуха

$$T_{оср} = 0,5(T_{01} + T_{03}), \text{ К.}$$

9. Средняя температура осевых слоев воздуха

$$T_{оср} = 0,5(T_{03} + T_{02}), \text{ К.}$$

10. Разность средних температур осевых слоев воздуха

$$\Delta t = T_{оср} - T_{оср'}, \text{ К.}$$

11. Действительная температура периферийного потока воздуха на выходе из вентиля с учетом теплообмена с осевым потоком

$$T_{or} = T_{03} - (1-\mu)\Delta t, \text{ К.}$$

12. Действительная температура охлажденного потока воздуха на выходе из диафрагмы с учетом теплообмена:

$$T_{ox} = T_{or} + \mu\Delta t, \text{ К.}$$

13. Температура охлажденного потока воздуха при изэнтропическом расширении

$$T_{оxs} = T_{01} \left(\frac{p_n}{p_{01}} \right)^{\frac{k-1}{k}}, \text{ К.}$$

14. КПД процесса энергетического разделения воздуха, или температурная эффективность

$$\eta = \frac{\Delta t_x}{\Delta t_3} = \frac{T_{01} - T_{ox}}{T_{01} - T_{оxs}}.$$

15. Газодинамическая функция давления воздуха на входе в вихревую трубу (чаще всего применяют дозвуковое входное устройство)

$$\pi(\lambda_1) = \frac{p_n}{p_{01}}.$$

16. Коэффициент λ_1 на входе в вихревую трубу

$$\lambda_1 = 1 \text{ при } \frac{p_{01}}{p_n} \leq 1,89$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\left[1 - \pi(\lambda_1)^{\frac{k+1}{k}} \right] \frac{k+1}{k-1}} \text{ при } \frac{p_{01}}{p_n} \leq 1,89.$$

17. Приведенный расход воздуха на входе в ВТ

$$q(\lambda_1) = \left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{1}{k-1}} \lambda_1 \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_1^2 \right)^{\frac{1}{k-1}}.$$

18. Расход воздуха на входе в вихревую трубу

$$G_1 = \frac{mF_1 p_{01} q(\lambda_1)}{\sqrt{T_{01}}}, \text{ кг/с.}$$

19. Газодинамическая функция давления воздуха на выходе из диафрагмы

$$\pi(\lambda_2) = \frac{p_n}{p_{02}}.$$

20. Коэффициент λ_2 на выходе из диафрагмы

$$\lambda_2 = \sqrt{\left[1 - \pi(\lambda_2)^{\frac{k+1}{k}}\right] \frac{k+1}{k-1}} \quad \text{при } \frac{p_{01}}{p_n} \leq 1,89.$$

21. Приведенный расход воздуха на выходе из диафрагмы:

$$q(\lambda_2) = \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{1}{k-1}} \lambda_2 \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_2^2\right)^{\frac{k-1}{2}}$$

22. Расход воздуха на выходе из диафрагмы

$$G_2 = \frac{mF_2 p_{02} q(\lambda_2)}{\sqrt{T_{02}}}, \text{ кг/с.}$$

23. Газодинамическая функция давления воздуха на выходе из вентиля

$$\pi(\lambda_3) = \frac{p_n}{p_{03}}$$

24. Коэффициент λ_3 на выходе из вентиля

$$\lambda_3 = 1 \quad \text{при } \frac{p_{03}}{p_n} \geq 1,89$$

$$\lambda_3 = \sqrt{\left[1 - \pi(\lambda_3)^{\frac{k+1}{k}}\right] \frac{k+1}{k-1}} \quad \text{при } \frac{p_{03}}{p_n} \leq 1,89.$$

25. Приведенный расход воздуха на выходе из вентиля

$$q(\lambda_3) = \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{1}{k-1}} \lambda_3 \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_3^2\right)^{\frac{k-1}{2}}$$

26. Расход воздуха на выходе из вентиля

$$G_3 = \frac{mF_3 p_{03} q(\lambda_3)}{\sqrt{T_{03}}}, \text{ кг/с.}$$

На базе этой методики приведены расчеты характеристик вихревой трубы при следующих исходных данных (рис. 1):

— полное давление газа на входе в вихревую трубу: $p_{01} = 0,3 \text{ МПа}; 0,4 \text{ МПа}; 0,5 \text{ МПа}; 0,6 \text{ МПа};$

— полная температура газа на входе в вихревую трубу: $T_{01} = 288 \text{ К};$

— в качестве газа принят воздух окружающей среды;

— давление окружающей среды: $p_n = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па};$

— весовая доля холодного потока: $\mu = 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7;$

— площадь входного сопла: $F_1 = 34,86 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$

— площадь диафрагмы для выхода охлажденного потока: $F_2 = 8,49 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$

— диаметр вихревой трубы: $d_m = 21,4 \cdot 10^{-3} \text{ м};$

— длина вихревой трубы: $l_m = 0,192 \text{ м.}$

Площадь сопла для выхода подогретого газа — величина переменная. Ее изменением достигалась необходимая величина весовой доли холодного потока μ .

— КПД процесса расширения $\eta_p = 0,92$ (данная величина взята на базе последних достижений турбостроения);

— КПД процесса сжатия $\eta_c^* = 0,85$ (данная величина взята на базе последних достижений компрессоростроения);

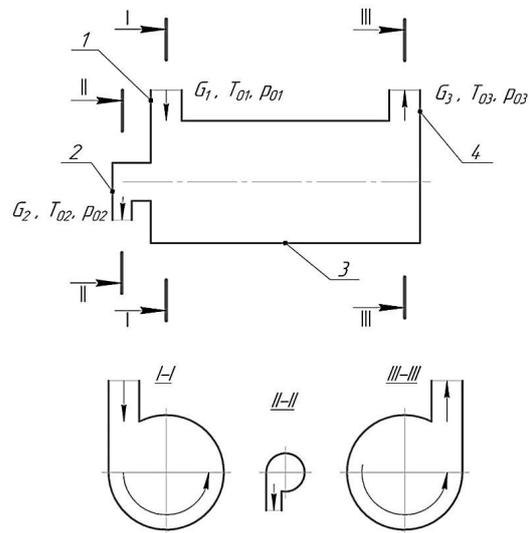


Рис. 1. Схема вихревой трубы

1 — тангенциальный ввод потока жидкости (сжимаемой или несжимаемой) в вихревую трубу; 2 — диафрагма для вывода охлажденного потока из вихревой трубы; 3 — камера энергообмена; 4 — сопло для вывода жидкости (сжимаемой или несжимаемой) из вентиля

Fig. 1. Diagram of the vortex tube 1 — Tangential input of the fluid flow (compressible or incompressible) into the vortex tube; 2 — diaphragm for removing the cooled flow from the vortex tube; 3 — energy exchange chamber; 4 — nozzle for removing liquid (compressible or incompressible) from the valve

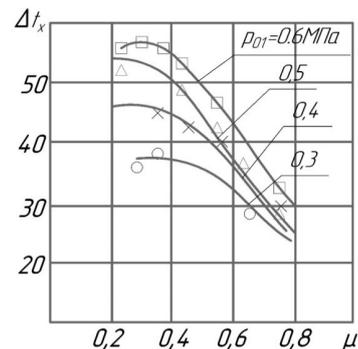


Рис. 2. Изменение температурной эффективности Δt_x вихревой трубы в зависимости от массовой доли холодного потока

— расчет;
○, △, □, × — эксперимент
Fig. 2. Change in temperature efficiency Δt_x of vortex tube as a function of the mass fraction of cold flow
— calculation;
○, △, □, × — experiment

— $k = 1,4$ — показатель адиабаты воздуха;

— $C_p = 1003,5 \text{ Дж/(кг·К)}$ — теплоемкость воздуха при постоянном давлении;

— $R = 287 \text{ Дж/(кг·К)}$ — газовая постоянная воздуха.

В результате расчета получены следующие данные:

p_{03} — полное давление воздуха на выходе из вентиля, Па;

T_{0x}, T_{0r} — полные температуры воздуха на выходе из диафрагмы и вентиля соответственно, К;

G_1, G_2, G_3 — расход воздуха на входе в вихревую трубу, на выходе из диафрагмы и вентиля соответственно, кг/с;

$\eta = \frac{\Delta t_x}{\Delta t_s}$ — КПД процесса энергетического разделения воздуха, или температурная эффективность.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных приведено на рис. 2 [14].

Обсуждение результатов

На базе физической модели рабочего процесса вихревой трубы, утверждающей, что в вихревой трубе идет обмен кинетической и тепловой энергией между осевым и периферийными потоками газов силами вязкости за счет градиента угловых скоростей и разности термодинамических температур, была составлена математическая модель.

На базе математической модели были разработаны две методики расчета, одной из которых является «Методика расчета характеристик вихревой трубы при известных геометрических размерах». По этой методике произведены расчеты и дано их сравнение с экспериментальными результатами (рис. 2). Совпадение удовлетворительное.

Заключение

На базе замкнутой математической модели, описывающей рабочий процесс вихревой трубы, составлена методика расчета характеристик вихревой трубы при известных геометрических размерах. Произведен расчет характеристик вихревой трубы на данной методике в диапазоне давлений на входе в вихревую трубу и весовой доля холодного потока.

Сделано сравнение расчетных и экспериментальных данных (рис. 2). Совпадение удовлетворительное.

Список источников

1. Меркулов А. П. Вихревой эффект и его применение в технике. Москва: Машиностроение, 1969. 184 с.
2. Пиралишвили Ш. А., Поляев В. М., Сергеев М. Н. Вихревой эффект: эксперимент, теория, технические решения: моногр. / под ред. А. И. Леонтьева. Москва: УНПЦ «Энергомаш», 2000. 412 с. ISBN 5-8022-0006-5.
3. Кузнецов В. И., Макаров В. И., Шандер А. Ю. Физико-математическая модель рабочего процесса вихревой трубы // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2021. Т. 5, № 2. С. 78–87. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-2-78-87.
4. Ranque G. I. Experiences sur la Détente Giratoire avec Productions Simultanees sur la d'ur Ehapement d'Air froid // Journal de Physique et le Radium. 1933. Suppl. P. 112.
5. Гуляев А. В. Исследование вихревого эффекта // ЖТД. 1965. Т. 35, № 10. С. 1869–1881.
6. Мартынов А. В., Бродянский В. М. Что такое вихревая труба? Москва: Энергия, 1976. 153 с.

7. Гуцол А. Ф. Эффект Ранка // Успехи физических наук. 1997. Т. 167, № 6. С. 665–687. DOI: 10.3367/UFNr.0167.199706e.0665.

8. Miltorn R. Demon Again // Industrial and Engineering Chemistry. 1946. Vol. 38, № 12.

9. Taylor A. Vortex devices in aircraft fluid Systems // 4th Cranfield Fluidics Conference (17–20 March). Coventry. 1970. P. 2–21.

10. Дубинский М. Г. О вращающихся потоках газа // Известия Академии наук СССР. 1954. № 8. С. 75–79.

11. Дейч М. Е. [и др.]. О вихревых эффектах в турбинной ступени // Известия Академии наук СССР. 1964. № 1. С. 109–115.

12. Uss A. Yu., Chernyshev A. V. The development of vortex gas pressure regulator // Procedia Engineering. 2017. Vol. 1876. 020025. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.718.

13. Усс А. Ю., Пугачук А. С., Чернышев А. В. [и др.]. Разработка стенда для визуализации и экспериментального исследования рабочего процесса в вихревой струйной установке // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2020. Т. 4, № 3. С. 45–55. DOI: DOI: 10.25206/2588-0373-2020-4-3-45-55.

14. Кузнецов В. И., Макаров В. В. Эффект Ранка: Эксперимент, теория, расчет: моногр. Москва: Инновационное машиностроение, 2017. 376 с.

КУЗНЕЦОВ Виктор Иванович, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Авиа- и ракетостроение» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск. SPIN-код: 1763-0468

AuthorID (РИНЦ): 161955

ResearcherID: N-9618-2016

Адрес для переписки: vi.kuznetsov@yandex.ru

МАКАРОВ Владимир Вячеславович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Авиа- и ракетостроение» ОмГТУ, г. Омск. SPIN-код: 9020-9010

AuthorID (РИНЦ): 947855

Адрес для переписки: kosmos070969@mail.ru

ГРИЦАЙ Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), заведующий кафедрой «Информатика и вычислительная техника» ОмГТУ, г. Омск. SPIN-код: 8092-1772

AuthorID (SCOPUS): 57193409148

ResearcherID: A-3835-2017

Адрес для переписки: aleksandr.gritsay@gmail.com

Для цитирования

Кузнецов В. И., Макаров В. В., Грицай А. С. Исследование характеристик вихревой трубы // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2022. Т. 6, № 2. С. 85–89. DOI: 10.25206/2588-0373-2022-6-2-85-89.

Статья поступила в редакцию 05.03.2022 г.

© В. И. Кузнецов, В. В. Макаров, А. С. Грицай

STUDY OF CHARACTERISTICS OF VORTEX TUBE

V. I. Kuznetsov, V. V. Makarov, A. S. Gritsay

Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

Based on the previously compiled physical and mathematical model of the vortex tube workflow, the calculation of the thermogasodynamic characteristics of the vortex tube with known geometric dimensions and their comparison with experimental data was carried out.

The calculations take into account the exchange of work and heat between the axial and peripheral gas layers. The exchange of work is carried out due to the transfer of kinematic energy from the axis to the periphery by viscosity forces when tangential stresses occur.

The difference of thermodynamic temperatures when heat is supplied from the periphery to the axis is taken into account. These phenomena reduce the cooling effect of the flow coming out of the diaphragm.

Keywords: thermogasodynamic characteristics, viscosity, tangential stresses, temperature efficiency.

References

1. Merkulov A. P. Vikhrevoe efekty i ego primeneniye v tekhnike [Vortex effect and its application in engineering]. Moscow, 1969. 184 p. (In Russ.).

2. Piralishvili Sh. A., Polyayev V. M., Sergeev M. N. Vikhrevoe efekty: eksperiment, teoriya, tekhnicheskiye resheniya [Vortex effect: experiment, theory, technical solutions] / Ed. A. I. Leontyev. Moscow, 2000. 412 p. ISBN 5-8022-0006-5. (In Russ.).

3. Kuznetsov V. I., Makarov V. V., Shander A. Yu. Fiziko-matematicheskaya model' rabocheho protsessa vikhrevoy trubyy [Physics and mathematics model of vortex tube working process] // Omskiy nauchnyy vestnik. Ser. Aviatsonno-raketnoye i energeticheskoye mashinostroyeniye. *Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering*. 2021. Vol. 5, no. 2. P. 78–87. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-2-78-87. (In Russ.).

4. Ranque G. I. Experiences sur la Dıtente Giratoire avec Productions Simultanees sur la d'ur Ehappement d'Air froid // Journal de Physique et le Radium. 1933. Suppl. P. 112. (In French.).

5. Gulyaev A. V. Issledovaniye vikhrevoogo efekta [Research of the vortex effect] // ZhTD. ZhTD. 1965. Vol. 35, no. 10. P. 1869–1881. (In Russ.).

6. Martynov A. V., Brodyanskiy V. M. Chto takoye vikhrevaya trubyya? [What is a vortex tube?]. Moscow, 1976. 153 p. (In Russ.).

7. Gutsol A. F. Effekt Ranka [Rank effect] // Uspekhi fizicheskikh nauk. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk*. 1997. Vol. 167, no. 6. P. 665–687. DOI: 10.3367/UFNr.0167.199706e.0665. (In Russ.).

8. Miltor R. Demon Again // Industrial and Engineering chemistry. 1946. Vol. 38, no. 12. (In Engl.).

9. Taylor A. Vortex devices in aircraft fluid Systems // 4th Cranfield Fluidics Conference (17–20 March). Coventry. 1970. P. 2–21. (In Engl.).

10. Dubinskiy M. G. O vrashchayushchikh potokakh gaza [About rotating gas flows] // Izvestiya Akademii nauk SSSR. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR*. 1954. No. 8. P. 75–79. (In Russ.).

11. Deich M. E. [et al.]. O vikhrevykh efektyakh v turbinnoy stupeni [On vortex effects in a turbine stage] // Izvestiya Akademii nauk SSSR. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR*. 1964. No. 1. P. 109–115. (In Russ.).

12. Uss A. Yu., Chernyshev A. V. The development of vortex gas pressure regulator // Procedia Engineering. 2017. Vol. 1876. 020025. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.718. (In Engl.).

13. Uss A. Yu., Pugachuk A. S., Chernyshev A. V., Tukhbatulin F. G. Razrabotka stenda dlya vizualizatsii i eksperimental'nogo

issledovaniya rabocheho protsessa v vikhrevoy trubyye [Development of stand for visualization and experimental study of working process in vortex jet device] // Omskiy nauchnyy vestnik. Ser. Aviatsonno-raketnoye i energeticheskoye mashinostroyeniye. *Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering*. 2020. Vol. 4, no. 3. P. 45–55. DOI: 10.25206/2588-0373-2020-4-3-45-55. (In Russ.).

14. Kuznetsov V. I., Makarov V. V. Effekt Ranka: Eksperiment, teoriya, raschet [Rank effect: Experiment, theory, calculation]. Moscow, 2017. 376 p. ISBN 978-5-9500364-2-2. (In Russ.).

KUZNETSOV Viktor Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of Aviation and Rocketry Department, Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk.

SPIN-code: 1763-0468

AuthorID (RSCI): 161955

ResearcherID: N-9618-2016

Correspondence address: vik.kuznetzov@yandex.ru

MAKAROV Vladimir Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Aviation and Rocketry Department, OmSTU, Omsk.

SPIN-code: 9846-7090

AuthorID (SCOPUS): 57193513945

ResearcherID: R-6939-2018

Correspondence address: kosmos070969@mail.ru

GRITSAY Aleksandr Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Computer Science and Computer Technology Department, OmSTU, Omsk.

SPIN-code: 8092-1772

AuthorID (SCOPUS): 57193409148

ResearcherID: A-3835-2017

Correspondence address: aleksandr.gritsay@gmail.com

For citations

Kuznetsov V. I., Makarov V. V., Gritsay A. S. Study of characteristics of vortex tube // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2022. Vol. 6, no. 2. P. 85–89. DOI: 10.25206/2588-0373-2022-6-2-85-89.

Received March 05, 2022.

© V. I. Kuznetsov, V. V. Makarov, A. S. Gritsay