

УДК 621.57

## Вихревая система воздушного охлаждения зоны резания материалов аэрокосмического назначения

Канд. техн. наук Г. О. БЕЛОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>glebbelov@mail.ru

ПАО «Салют»

Е. О. БАРБОНОВ<sup>2</sup>, канд. техн. наук Д. А. УГЛАНОВ<sup>3</sup>, П. А. ЧЕРТЫКОВЦЕВ<sup>4</sup>

<sup>2</sup>barbon93@mail.ru, <sup>3</sup>teplotex\_ssau@bk.ru, <sup>4</sup>p.a.chert@mail.ru

Самарский национальный исследовательский университет имени академика

С. П. Королева (Самарский университет)

*В условиях реального механического производства в ряде случаев приходится отказываться от охлаждения зоны резания жидкостью. Традиционное охлаждение струей сжатого газа не так эффективно. Чтобы повысить эффективность охлаждения предлагается использовать вихревой эффект. Несмотря на то, что исследованию вихревого эффекта посвящено большое количество работ, общепринятого теоретического понимания до сих пор не сложилось. В связи с этим пришлось отказаться от математического моделирования процессов и перейти к изучению экспериментальных исследований вихревого эффекта. Экспериментальные работы разных исследователей дают хорошую сходимость, поэтому они послужили базой для определения функции величины охлаждения воздуха вихревой трубкой в зависимости от параметров потока воздуха на входе и конструктивных особенностей вихревой трубки. Данная функция позволила определить конструктивные параметры, при которых достигается максимальный эффект охлаждения. По этим параметрам была разработана конструкция, которая выполнена в металле на базе ПАО «Салют» и там же внедрена в производство. Экспериментальное исследование вихревой трубы подтвердило справедливость произведенных расчетов величины охлаждения воздуха. Эффективность устройства, как охладителя зоны резания, показана на частном примере.*

**Ключевые слова:** вихревой эффект, полишарнирная трубка, тепловыделение, зона резания, воздушное охлаждение.

### Информация о статье:

Поступила в редакцию 06.02.2018, принята к печати 24.05.2018

DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-2-22-27

Язык статьи — русский

### Для цитирования:

Белов Г. О., Барбонов Е. О., Угланов Д. А., Чертыковцев П. А. Вихревая система воздушного охлаждения зоны резания материалов аэрокосмического назначения // Вестник Международной академии холода. 2018. № 2. С. 22–27.

## The vortex air cooling system for cutting materials in aerospace industry

Ph. D. G. O. BELOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>glebbelov@mail.ru

JSC «Salut»

E. O. BARBONOV<sup>2</sup>, Ph. D. D. A. UGLANOV<sup>3</sup>, P. A. CHERTYKOVTSSEV<sup>4</sup>

<sup>2</sup>barbon93@mail.ru, <sup>3</sup>teplotex\_ssau@bk.ru, <sup>4</sup>p.a.chert@mail.ru

Samara National Research University

*Under the mechanical manufacture conditions there are numerous situations when liquid cooling of cutting zone cannot be used. Traditional cooling by compressed airflow is not so effective. We suggest using the vortex effect to increase cooling effectiveness. Despite the numerous researches concerning vortex effect we have no general theoretic conception of this process. Therefore, we have to refuse mathematical modeling of the processes and to analyze experimental research of the vortex effect. Many experimental works showing good converging, they was chosen as a foundation to find the function of cooling value by the vortex tube depending on inlet airflow parameters and construction specificity of the vortex tube. This function allows to define the constructive parameters by which be the maximum cooling effect can be attained. The construction was developed according to the parameters obtained and the vortex tube with this construction was produced at PAO Salut and introduced in manufacture. Experimental research of the vortex tube confirms the calculation results for the value of the cooling airflow. The effectiveness of the vortex tube as a cutting zone cooler is exemplified.*

**Keywords:** vortex effect, polyjoint tube, heat emission, cutting zone, air cooling.

**Article info:**

Received 06/02/2018, accepted 24/05/2018

DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-2-22-27

Article in Russian

**For citation:**Belov G. O., Barbonov E. O., Uglanov D. A., Chertykovtsev P. A. The vortex air cooling system for cutting materials in aerospace industry. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2018. No 2. p. 22–27.**Введение**

Все современное механообрабатывающее оборудование оснащено подачей смазывающей охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону резания через каналы в инструменте или внешние трубки. Стоит отметить, что в условиях реального механического производства не всегда имеется возможность остановки станка для замены СОЖ. С учетом же того, что все производства аэрокосмического профиля являются мелкосерийными, частая замена СОЖ является экономически нецелесообразным действием. Однако, в ряде случаев, ввиду особенностей обрабатываемого материала или конструкции детали, приходится отказываться от применения СОЖ. В этих случаях для охлаждения зоны резания используют струю сжатого воздуха, эффективность которой в разы меньше, что отрицательно сказывается на стойкости инструмента, качестве обрабатываемой поверхности и трудоемкости механической обработки. Чтобы хоть частично снять эти негативные явления в [1] предлагается использовать вихревой эффект. Это явление, реализуемое в специальном устройстве, названном вихревой трубкой, позволяет сжатый поток газа разделять на горячий и холодный. Холодный поток подается в зону резания, а горячий отводится на периферию. Таким образом, основной целью работы является создание устройства эффективного охлаждения зоны резания на основании устройства, в котором реализован вихревой эффект — вихревой трубки [2]. Использование вихревой трубки в конструкции обусловлено ее надежностью и простотой устройства.

**Постановка задачи**

Несмотря на относительную простоту устройства трубки, вихревой эффект до конца не изучен [3]. На данный момент наиболее четкое и логичное описание вихревого эффекта для противоточной трубки дает «гипотеза взаимодействия вихрей». По ней в трубке возникает два вихря. Первый «свободный», который вытесняет воздух через дроссель, второй «вынужденный», действующий в приосевом направлении и нагнетающий воздух через диафрагму. В результате интенсивного турбулентного взаимодействия этих вихрей через диафрагму выходит охлажденный газ, а через дроссель — горячий.

Существует большое количество работ, в том числе [1, 3–7], в которых приведены дифференциальные уравнения, описывающие процессы турбулентного энергообмена. Численное решение этих уравнений хоть и объясняет процессы качественно, но не показывает их количественно [8–12]. Стоит также отметить, что результаты моделирования турбулентного энергообмена в значительной степени зависят не только от гра-

ничных условий, но и от методов их решения. Из-за отсутствия единого мнения не только по исходной системе уравнений, но и по способам решений, придется отказаться от численных расчетов и обратиться к эмпирическим методикам расчета. Ряд исследователей вихревого эффекта [1, 3, 5, 7] предлагали свои методики, которые, при одних и тех же исходных данных дают различные значения геометрических параметров устройства. Отсутствие обоснований этих методик ставит задачу проводимого исследования — определение зависимости эффекта охлаждения вихревой трубки от конструктивных особенностей ее исполнения.

**Расчет основных параметров устройства**

Устройство противоточной вихревой трубки, показанное на рис. 1, включает в себя следующие элементы: трубку 2 с тангенциальным подводом сжатого воздуха через улитку 1; один конец трубки закрыт крышкой с диафрагмой 4 — через нее выходит холодный поток, а через другой торец трубки с дросселем 3 выходит горячий поток.

В настоящий момент существует большое количество не только теоретических, но и экспериментальных исследований вихревого эффекта [13]. С помощью объема экспериментальных данных, представляющих влияние различных факторов на  $\Delta T_x$  (разницу температур на входе в трубку и температуры холодного потока), были выявлены следующие экспериментальные зависимости  $\Delta T_x$  от [4]:

— площади входного сопла  $F_c$ ;

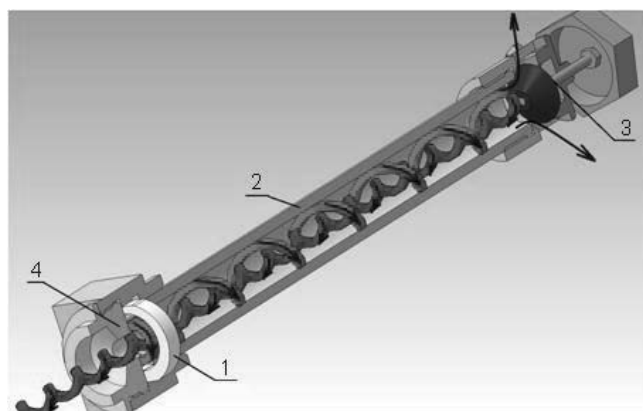


Рис. 1. Устройство противоточной вихревой трубки: 1 — улитка; 2 — трубка; 3 — дроссель; 4 — диафрагма

Fig. 1. Counterflow vortex tube: 1 — volute; 2 — tube; 3 — throttle; 4 — diaphragm

- диаметра вихревой трубы  $D_T$ ;
- относительного диаметра диафрагмы  $\bar{D}_d = \frac{D_d}{D_T}$ ;
- давления воздуха перед вихревой трубой  $p_{вх}$ ;
- отношения расхода холодного потока к расходу на входе в трубку  $\mu$ ;
- длины трубы в калибрах  $\bar{L} = \frac{L}{D_T}$ .

Рассмотрев данные характеристики можно сделать вывод о том, что  $\Delta T_x$  является функцией шести переменных.

$$\Delta T_x = f(\bar{L}; \mu; p_{вх}; D_T; \bar{D}_d; F_c). \quad (1)$$

Так как рассматриваемая конструкция была испытана только со спиралевидным вводом, причем разные по площади сопла исследовались на трубе одного диаметра, целесообразно вместо параметра  $F_c$  ввести относительный эквивалентный диаметр соплового ввода вихревой трубки:

$$\bar{d}_{сc} = \frac{\sqrt{\frac{4F_c}{\pi}}}{D_T}. \quad (2)$$

С учетом этого перепишем функцию  $\Delta T_x$ :

$$\Delta T_x = f(\bar{L}; \mu; p_{вх}; D_T; \bar{D}_d; \bar{d}_{сc}). \quad (3)$$

Так как рассмотренные графические зависимости являются непрерывными функциями (на исследованных диапазонах), разложим приведенную выше функцию в ряд Тейлора. Ряд Тейлора для функции шести переменных принимает вид:

$$f(x_1; \dots; x_6) = f(x_{01}; \dots; x_{06}) + \lim_{x \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^n \frac{1}{n!} \cdot [d^n(f)]_0, \quad (4)$$

где  $[d^n(f)]_0$  — полный дифференциал  $n$ -го порядка в окрестности  $(x_{01}; \dots; x_{06})$ .

Обратим внимание на то, что по графическим зависимостям, приведенным в работе [4] можно определить только частные производные  $n$ -го порядка по одной переменной. Полный дифференциал первого порядка содержит частные производные первого порядка и может быть легко определен, тогда как дифференциалы, начиная со второго порядка, содержат производные нескольких переменных. По свойству ряда Тейлора каждый после-

дующий порядок дифференциала менее «весом», чем предыдущий, поэтому для приближенных вычислений зачастую ограничиваются первым порядком. Последнее замечание дает нам возможность сделать вывод о том, что влияние отдельных переменных на функцию значительно выше их взаимного влияния. Таким образом, пренебрегая частными производными по нескольким переменным, выражение (4) можно переписать как:

$$f(x_1; \dots; x_6) \approx f(x_{01}; \dots; x_{06}) + \sum_{j=1}^6 \lim_{x \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^n \frac{(x_j - x_{0j})^n}{n!} \cdot \frac{\partial^n f}{\partial x_j^n}(x_{01}; \dots; x_{06}), \quad (5)$$

где  $x_1, \dots, x_6$  — переменные;  $x_{01}, \dots, x_{06}$  — некоторые значения этих переменных.

Для разложения выражения (3) в ряд, согласно приведенной формуле для шести переменных, выберем значения переменных (общую точку):

$$\begin{aligned} \bar{L}_0 &= 15; \quad p_{вх\_0} = 0,5 \text{ МПа}; \quad D_{T\_0} = 28 \text{ мм}; \\ \bar{D}_{d\_0} &= 0,5; \quad \mu_0 = 0,5; \quad \bar{d}_{сc\_0} = 0,25. \end{aligned} \quad (6)$$

Значение функции  $\Delta T_x$  при этих значениях составляет 38 К.

Анализируя зависимости  $\Delta T_x = f(\bar{L})$ ;  $\Delta T_x = f(p_{вх})$ ;  $\Delta T_x = f(D_T)$ , можно отметить, что аппроксимирующие кривые носят линейный характер в рассматриваемом диапазоне, а значит, все частные производные данных функций начиная со второго порядка можно приравнять нулю. Функции  $\Delta T_x = f(\bar{D}_d)$ ;  $\Delta T_x = f(\mu)$  достоверно аппроксимируются полиномиальной функцией второго порядка, поэтому производные этих функций начиная с  $n = 3$  приравняем нулю. Зависимость  $\Delta T_x = f(\bar{d}_{сc})$  носит более сложный характер, для ее достоверной аппроксимации в рассматриваемом диапазоне значений использована полиномиальная функция третьего порядка. Таким образом, производные четвертого и последующих порядков данной функции приравняются нулю. С учетом вышесказанного, разложив функцию (3) в ряд (5) получим:

$$\begin{aligned} \Delta T_x \approx & a + b_1(\bar{L} - c_1) + b_2(p_{вх} - c_2) + b_3(D_T - c_3) + \\ & + b_4(\bar{D}_d - c_4) + b_5(\bar{D}_d - c_4)^2 + b_6(\mu - c_5) + b_7(\mu - c_5)^2 + \\ & + b_8(\bar{d}_{сc} - c_6) + b_9(\bar{d}_{сc} - c_6)^2 + b_{10}(\bar{d}_{сc} - c_6)^3, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $a = \Delta T_{x_0} = 38$  К;  $b_1 \dots b_{10}$  — значения советующих частных производных с учетом факториала;  $c_1 \dots c_6$  — соответствующие значения переменных (6).

Значения  $b_1 \dots b_{10}$  были получены по экспериментальным характеристикам [4] с помощью ПК и сведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов  $a, b_1 \dots b_{10}, c_1 \dots c_6$ 

Table 1

The values of the coefficients:  $a, b_1 \dots b_{10}, c_1 \dots c_6$ 

$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$	$b_9$	$b_{10}$
0,1	5,7	0,52	4,81	-239,8	4,17	-41,7	281,5	4915	-313314
$a$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$			
38	15	5	28	0,5	0,5	0,25			

Таблица 2

Диапазон значений применения формулы (7) для расчета  $\Delta T_x$

Table 2

The values of the equation (7) to calculate  $\Delta T_x$

$\bar{L}$	$p_{вх}$ , МПа	$D_T$ , мм	$\bar{D}_d$	$\mu$	$\bar{d}_{эс}$
10...25	0,3...0,6	10...30	0,413...0,715	0,3...0,8	0,228...0,28

Как и всякую другую зависимость, полученную функцию «охлаждения» воздуха  $\Delta T_x = f(\bar{L}; \mu; p_{вх}; D_T; \bar{D}_d; \bar{d}_{эс})$  достоверно можно применять в определенном диапазоне значений (табл. 2).

Наибольшую сходимость зависимость (7) показала с эмпирической методикой, приведенной в работе [3]. По этой методике были определены основные геометрические параметры вихревой трубы для охлаждения объекта с тепловыделением до 1кВт:

- диаметр вихревой трубы 17,9 мм;
- высота и ширина сопла должна составлять 3,5 мм и 7 мм;
- диаметр отверстия диафрагмы 9,6 мм;
- длина вихревой трубы не менее 161,1 мм.

### Разработка конструкции противоточной вихревой трубы

Заметим, что с момента открытия до настоящего времени конструкция вихревой трубы не приобрела значительных изменений. Ряд авторов [1, 3, 5, 7] предлагали конструктивные особенности, направленные на увеличение эффективности, но на практике незначительное увеличение эффективности оборачивалось потерей основного преимущества — простоты устройства. В связи с этим смысл нашей конструкторской проработки в обеспечении максимальной эффективности самой распространенной противоточной вихревой трубы.

На основании полученных параметров в 2017 г. была разработана конструкция вихревой трубки в виде 3D-модели, представленной на рис. 2. На этом рисунке мы можем видеть вихревую трубу 1 с тангенциальным подводом газа через цанговый штуцер (фитинг), с дросселем 3, регулировкой температуры и расхода холодного и горячего потока с помощью ручки 2 и полишарнирной трубкой 4 для подачи струи в зону резания.

Конструкция содержит следующие особенности:

1. надежность за счет отсутствия движущихся в процессе работы элементов;
2. простота подключения к заводской пневмосети через стандартные фитинговые соединения;
3. удобный подвод холодного воздуха к зоне резания через полишарнирную трубку;
4. широкий диапазон регулировки.

По разработанным 3D моделям отдельных деталей и сборки вихревой трубы были выполнены чертежи. В металле данная конструкция была реализована в инструментальном цехе ПАО «Салют» также в 2017 г. Так как дроссель 3 (рис. 2) снабжен фитинговым зажимом стандартной пневматической трубки, подключение к заводской компрессорной станции не вызвало затруднений. Настройка температуры и регулировка соотношения горячего и хо-

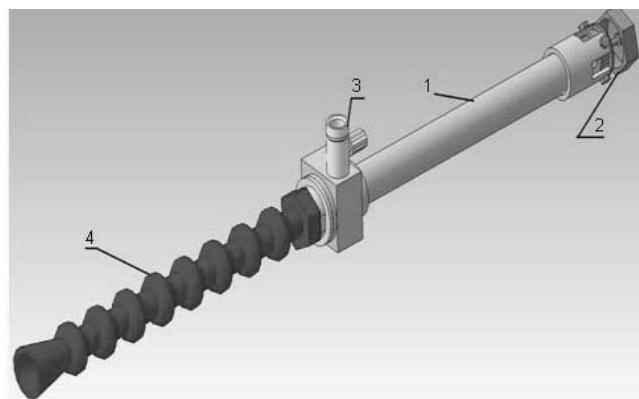


Рис. 2. 3D-модель конструкции противоточной вихревой трубы: 1 — вихревая труба; 2 — ручка; 3 — дроссель; 4 — полишарнирная трубка

Fig. 2. 3D-model of counterflow vortex tube: 1 — vortex tube; 2 — handle; 3 — throttle; 4 — polyjoint tube

лодного потока свободно осуществлялось с помощью ручки 2. Причем, при значительном открытии дросселя трубка работала как вакуумный насос, то есть осуществлялся подсос воздуха через полишарнирную трубку 4. При поджатии же дросселя 2 наблюдалось разделение потока, причем через полишарнирную трубку поступал «охлажденный» воздух, а через дроссель 2 — нагретый.

Температура и давление воздуха в компрессорной станции измерялись в автоматическом режиме и выводились на дисплей. Во время эксперимента давление составляло 0,67 МПа, температура  $T_{вх} = 98$  °С. Таким образом, изделие проходило испытания на достаточно горячем

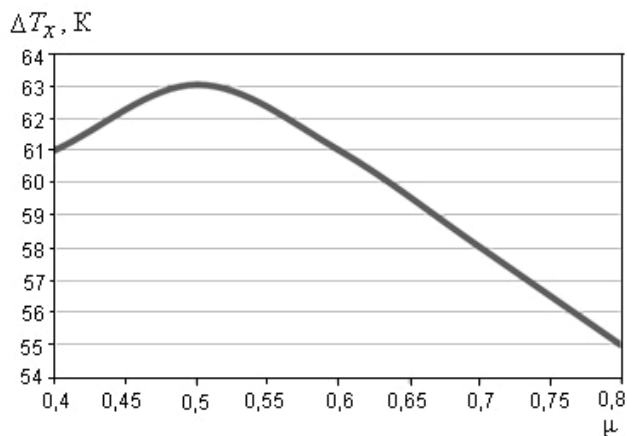


Рис. 3. Зависимость эффекта охлаждения от коэффициента расхода

Fig. 3. The dependence of cooling effect on the discharge coefficient

воздухе, который содержал влагу. Измерения температуры производились в диапазоне расходов  $\mu$  от 0,4 до 0,8 с помощью хромель-алюмелевой термопары (ТХА). Экспериментальная зависимость эффекта охлаждения от коэффициента расхода показана на рис. 3.

Внедрение в производство было произведено на точении очень капризно к тепловым процессам конструкционного материала — алюминиевого сплава АЛ4. При механической обработке данный материал имеет склонность к налипанию стружки на резец. Этот процесс ограничивает режимы резания. После установки на станок вихревой трубы, оператор станка смог увеличить подачу резца с 0,6 мм/об до 1 мм/об при той же глубине резания и частоте вращения шпинделя. Морфология стружки при этом не изменилась. Таким образом, внедрение вихревого охладителя позволило снизить трудоемкость операции в 1,7 раза.

### Заключение

В работе предложена и обоснована формула для определения эффекта охлаждения воздуха вихревой тру-

бой в зависимости от геометрических параметров устройства и параметров входного потока, показаны границы применимости. Данная зависимость позволила разработать максимально эффективную конструкцию противоточной вихревой трубы. Заложённая при проектировании величина охлаждения воздуха подтверждена экспериментально. Эффективность работы устройства в качестве охладителя зоны резания показана на частном случае механической обработки.

Дальнейшим направлением исследования является экспериментальная проверка работы разработанного устройства при резании различных материалов для выработки рекомендаций по границам применимости вихревого охлаждения в механической обработке.

Метод определения формулы для эффекта охлаждения, представленный в статье, может быть использован при обобщении экспериментальных данных, определения экстремальных значений дискретных функций нескольких переменных (как вариант массива экспериментальных данных). Учет данного метода при планировании эксперимента может значительно снизить количество опытов.

### Литература

1. *Тарнопольский А. В.* Вихревые теплоэнергетические устройства: монография. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2007. С. 183.
2. ГОСТ 22616–77. Трубы вихревые. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1977. С. 7.
3. *Меркулов А. П.* Вихревой эффект и его применение в технике. — Самара: Оптима, 1997. 355 с.
4. *Бирюк В. В., Курносоев Н. Е., Тарнопольский А. В.* Исследование эффективности температурного разделения в вихревых потоках газов. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. С. П. Королева. 2009. № 2. С. 33–41.
5. *Valipour M. S., Niazi N.* Experimental modeling of a curved Ranque-Hilsch vortex tube refrigerator // International Journal of Refrigeration. 2011. 34 (4). P. 1109–1116.
6. *Пиралашвили Ш. А., Поляев В. М. и др.* Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения: монография / Под ред. А. И. Леонтьева. — М.: УНПЦ «Энергомаш», 2000. 412 с.
7. *Суслов А. Д., Иванов С. В. и др.* Вихревые аппараты. — М.: Машиностроение, 1985. 256 с.
8. *Коновалов В. И., Орлов А. Ю., Кудра Т.* Разработка расчета вихревых труб Ранка-Хилша. // Вестник ТГТУ. 2012. Том 18. № 1. С. 74–106.
9. *Ахметов Ю. М., Зангиров Э. И., Свистунов А. В.* Возможный механизм течения вихревых закрученных потоков // Труды МФТИ, 2014. Том 6. № 2. С. 99–105.
10. *George F. Switzer, Fred H. Proctor.* Numerical study of wake vortex behavior in turbulent domains with ambient stratification. 38th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, NV, AIAA-2000–0755, 2000.
11. *Носков А. С., Ловцов А. В., Хаит А. В.* Моделирование газового потока в двухконтурной вихревой трубе Ранка-Хилша. // Вычислительная механика сплошных сред. 2012. Т. 5, № 3. С. 313–321.
12. *Барбонов Е. О., Бирюк В. В., Гайнуллин М. Н., Сотова В. А., Чертыковцев П. А.* Гибридная система охлаждения борто-

### References

1. *Tarnapolskii A. V.* Vortex heat and energy devices. monograph. Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2007. p. 183. (in Russian)
2. State standard 22616–77. Vortex tubes. Terms and definitions. Moscow, Izd-vo standartov, 1977. p. 7. (in Russian)
3. *Merkulov A. P.* Vortex effect and its application in engineering. Samara: Optima, 1997. 355 p. (in Russian)
4. *Biryuk V. V., Kurnosov N. E., Tarnopol'skii A. V.* Investigation of the efficiency of temperature separation in vortex gas flows. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. S. P. Koroleva*. 2009. No 2. p. 33–41. (in Russian)
5. *Valipour M. S., Niazi N.* Experimental modeling of a curved Ranque-Hilsch vortex tube refrigerator. International Journal of Refrigeration. 2011. 34 (4). P. 1109–1116.
6. *Piralashvili Sh. A., Polyaev V. M. ets.* Vortex effect. Experiment, theory, technical solutions: Monograph / edited by A. I. Leontiev. Moscow, Energomash, 2000. 412 p.
7. *Suslov A. D., Ivanov S. V. ets.* Vortex devices. Moscow, Mashinostroenie, 1985. 256 p. (in Russian)
8. *Kononov V. I., Orlov A. Yu., Kudra T.* Development of calculation of the vortex pipes Ranka-Hilsha. *Vestnik TGTU*. 2012. Vol. 18. No 1. p. 74–106. (in Russian)
9. *Akhmetov Yu. M., Zangirov E. I., Svistunov A. V.* Possible mechanism of vortex swirling flow. *Trudy MFTI*, 2014. vol. 6. No 2. p. 99–105. (in Russian)
10. *George F. Switzer, Fred H. Proctor.* Numerical study of wake vortex behavior in turbulent domains with ambient stratification. 38th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, NV, AIAA-2000–0755, 2000.
11. *Noskov A. S., Lovtsov A. V., Khait A. V.* Simulation of gas flow in a two-circuit eddy tube of Rank-Hilsch. *Vychislitel'naya mekhanika sploshnykh sred*. 2012. Vol. 5, No 3. p. 313–321. (in Russian)
12. *Barbonov E. O., Biryuk V. V., Gainullin M. N., Sotova V. A., Chertykovtsev P. A.* The hybrid cooling system of onboard

вых ИК-приемников на основе вихревого и термоэлектрического эффектов // Вестник Международной академии холода. 2017. № 2. С. 31–37.

13. Eiamsa-ard S., Promvong P. Review of Ranque — Hilsch effects in vortex tubes. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2008. 12 (7). С. 1822–1842.

infrared detectors on the basis of vortex and thermoelectric effects. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2017. No 2. p. 31–37. (in Russian)

13. Eiamsa-ard S., Promvong P. Review of Ranque — Hilsch effects in vortex tubes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008. 12 (7). С. 1822–1842. (in Russian)

### Сведения об авторах

#### Белов Глеб Олегович

к.т. н., начальник бюро программного управления ПАО «Салют», Россия, г. Самара, п. Мехзавод, Московское шоссе, 20, glebbelov@mail.ru.

#### Барбонов Евгений Олегович

магистрант кафедры Теплотехники и тепловых двигателей Самарского университета, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34, barbon93@mail.ru.

#### Угланов Дмитрий Александрович

к.т.н, доцент кафедры Теплотехники и тепловых двигателей Самарского университета, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34, teplotex\_ssau@bk.ru.

#### Чертыковцев Павел Александрович

аспирант кафедры Теплотехники и тепловых двигателей Самарского университета. Самара, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34, p.a.chert@mail.ru.

### Information about authors

#### Belov Gleb Olegovich

Ph.D., head of program department JSC «Salut», 20 km, Moskovskoe shosse, Samara, 443028, Russia, glebbelov@mail.ru.

#### Barbonov Evgeny Olegovich

graduate student of heat engineering and heat engines department, Samara University, 34, Moskovskoe shosse, Samara, 443086, Russia, barbon93@mail.ru.

#### Uglanov Dmitry Aleksandrovich,

Ph.D., associate professor of department heat engineering and heat engines, Samara University, 34, Moskovskoe shosse, Samara, 443086, Russia, teplotex\_ssau@bk.ru.

#### Chertykovtsev Pavel Aleksandrovich

post-graduate student of heat engineering and heat engines department, Samara University, 34, Moskovskoe shosse, Samara, 443086, Russia, p.a.chert@mail.ru.



## еждународная агропромышленная выставка-ярмарка АГРОРУСЬ-2018

**Выставка «АГРОРУСЬ»  
21–24 августа 2018 г.**

**Ярмарка региональных продуктов «АГРОРУСЬ»  
18–26 августа 2018 г.**

<http://agrorus.expoforum.ru/>

#### ВЫСТАВКА. РАЗДЕЛЫ:

- Сельскохозяйственная техника. Средства малой механизации. Оборудование для фермерских хозяйств;
- Оборудование для переработки, упаковки и хранения сельскохозяйственной и рыбной продукции;
- Животноводство, звероводство, птицеводство;
- Растениеводство. Семеноводство. Удобрения. Теплицы;
- Продукты питания и напитки. Пищевые добавки;
- Экология и энергосбережение;
- Услуги для АПК;
- Сельскохозяйственная кооперация;
- Транспорт и логистика;
- Программа «Сетевые и розничные закупки»

#### СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ:

- Выставка «Ветеринария. Зоотехния. Корма»
- Выставка региональных продуктов
- ИНРЫБПРОМ
- ПЧЕЛОВОДСТВО

**Организатор выставки-ярмарки:**  
Министерство сельского хозяйства РФ,  
при официальной поддержке Правительств  
Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

#### Контакты:

Тел./факс: +7 (812) 240-40-40, доб. 2235, 2231  
E-mail: e.gabuchiya@expoforum.ru,  
v.panch@expoforum.ru

**Место проведения:**  
КВЦ «Экспофорум»

**Адрес дирекции:**  
Петербургское шоссе 64, корпус 1,  
конгресс-центр, ЭКСПОФОРУМ