

УДК 621.928.93

DOI 10.23947/2541-9129-2018-1-2-2-12

**ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ПЫЛЕОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ***Ю. И. Булыгин, Н. Н. Азимова, И. С. Купцова*Донской государственный технический университет,  
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация[bulyur\\_rostov@mail.ru](mailto:bulyur_rostov@mail.ru)  
[arkomaazimov@mail.ru](mailto:arkomaazimov@mail.ru)  
[i-kyptsova@mail.ru](mailto:i-kyptsova@mail.ru)

Работа посвящена технологии проектирования центробежных пылеуловителей на экспериментальной установке для параллельных сравнительных испытаний циклонов. В настоящее время нет единого критерия для выбора оптимальной формы циклонов, однако в наиболее современных конструкциях все четче проявляется тенденция развития конусной части. Между геометрической формой циклона и его эффективностью существуют известные связи, которые проявляются через сложную аэродинамику течений, возникающих в аппарате. В настоящем исследовании выявлены и изучены связи конструктивных параметров циклонных аппаратов с их аэродинамическими характеристиками и эффективностью пылеулавливания.

**Ключевые слова:** циклонный аппарат, вихревые течения, гидравлическое сопротивление, эффективность пылеулавливания, моделирование

**Введение.** Задачи развития производства, защиты окружающей среды и рационального использования природных ресурсов часто оказываются тесно связанными с проблемой разделения газопылесодержащих потоков. Вследствие этого возникает необходимость в создании высокопроизводительных аппаратов для пылеулавливания. Эффективность газоочистки в современных циклонах, как правило, не превышает 85–92 %, поэтому весьма актуальны исследования, направленные на поиск методов и

UDC 621.928.93

DOI 10.23947/2541-9129-2018-1-2-2-12

**PROBLEMS OF DESIGNING DUST  
CLEANING EQUIPMENT IN THE  
INDUSTRY***Yu. I. Bulygin, N. N. Azimova, I. S. Kuptsova,*Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation[bulyur\\_rostov@mail.ru](mailto:bulyur_rostov@mail.ru)  
[arkomaazimov@mail.ru](mailto:arkomaazimov@mail.ru)  
[i-kyptsova@mail.ru](mailto:i-kyptsova@mail.ru)

The work is devoted to design technology of centrifugal dust collectors using an experimental installation for cyclone parallel comparative tests. Currently, there is no single criterion for choosing the optimal form of cyclone, but in the most modern construction, the tendency of development of its cone part is becoming clearer. Between the geometric shape of the cyclones and their effectiveness, there are a number of connections, which appear through the complex aerodynamics of the flows in the apparatus. The identification and study of the relationship between the design parameters of cyclone apparatus with their aerodynamic characteristics and effective dust collection is the subject of this study.

**Keyword:** cyclone apparatus, vortex flow, hydraulic resistance, efficiency, dust collection, modeling

**Introduction.** Tasks of production development, environmental protection and rational use of natural resources are often closely related to the problem of separation of gas-and-dust-containing flows. As a result, there is a need to create high-performance devices for dust collection. The efficiency of gas cleaning in modern cyclones, as a rule, does not exceed 85–92 %, so very relevant are the researches aimed at finding

способов повышения эффективности пылеулавливания первой ступени очистки. При улучшении качества предварительной очистки становится более эффективной работа тканевых фильтров (т. е. окончательная доочистка газов).

На кафедре «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета ведется НИР по исследованию аэродинамических характеристик и эффективности пылеулавливания циклонных аппаратов различной формы [1–3]. Получены патенты РФ № 2506880 «Пылеулавливатель» и № 2557741 «Установка для пылеулавливания». В указанных разработках предложены пылеулавливатель с обратным конусом и регулируемые конструктивными параметрами, а также установка, позволяющая параллельно и эффективно исследовать аэродинамические процессы и пылеосаждение внутри центробежных аппаратов разной конструкции [4–5].

**Основная идея исследования.** Идея заключается в поиске рациональной формы центробежного пылеуловителя (она может быть, например, конусной, а не цилиндрической) и определении оптимальных регулируемых конструктивных параметров аппаратов. Оба указанных фактора должны способствовать повышению эффективности пылеулавливания и снижению энергоемкости очистки с учетом свойств и характеристик пылевоздушной среды.

**Постановка задачи.** На поверхностях циклонов нецилиндрической формы (шаровые, конические формы, рельефные поверхности с отрывными течениями) возникает вихревая организация (а также самоорганизация). Она позволяет существенно повысить эффективность процессов, снизить аэродинамическое сопротивление и предложить новые технические решения установок и аппаратов. Исследование этого явления — одно из актуальных направлений гидродинамики и теплофизики. Также заслуживают упоминания конструктивные решения в центробежных аппаратах, позволяющие повысить турбулизацию процессов сепарации

methods and ways to improve the efficiency of dust collection of the first stage of purification. With the improvement of pretreatment quality, the operation of fabric filters (i.e. final gas after-treatment) becomes more efficient.

At the Department of "Life Safety and Environmental Protection" of the Don State Technical University, the research is being conducted on studying of aerodynamic characteristics and efficiency of dust collection of cyclonic devices of various shapes [1-3]. The patents of the Russian Federation No. 2506880 "Dust collector" and No. 2557741 "Dust collection installation" were received. In these studies, a dust collector with an inverted cone and adjustable design parameters is proposed, as well as an installation that allows parallel and effective investigation of aerodynamic processes and dust laying inside centrifugal devices of different design [4-5].

**The main idea of the study.** The idea is to find a rational form of centrifugal dust collector (it can be, for example, conical, not cylindrical) and to determine the optimal adjustable design parameters of the devices. Both of these factors should contribute to increasing the efficiency of dust collection and reduce the energy consumption of cleaning, taking into account the properties and characteristics of the dusty environment.

**Problem statement.** On the surfaces of cyclones of non-cylindrical forms (spherical, conical, relief surfaces with separated flows), there is a vortex organization (as well as self-organization). It allows to significantly increase the efficiency of processes, reduce aerodynamic resistance and to offer new technical installations and apparatuses. The study of this phenomenon is one of the topical directions of hydrodynamics and thermophysics. Also noteworthy are the constructive solutions in centrifugal apparatuses, which allows increasing turbuliza-

пыли за счет организации направления течения пылевоздушных потоков (например, циклоны со встречными закручивающимися потоками).

Таким образом, выбор аппаратов очистки должен основываться на использовании вихревых турбулентных потоков, интенсифицирующих сепарацию пыли. В этом плане подходящая конструкция — циклоны с развитой конусной частью, измененным внутренним профилем стенок и регулируемыми конструктивными параметрами для достижения максимальной эффективности.

В исследованиях, посвященных разработке и совершенствованию центробежных пылеочистителей, не представлены модели структурообразования дисперсной фазы в аппаратах. Кроме того, отсутствуют данные о параллельных сравнительных испытаниях нового пылеуловителя с известными аппаратами. Не рассматриваются вопросы, связанные с эксплуатацией пылеуловителя в условиях производства, в результате чего реальные характеристики аппарата значительно уступают показателям, полученным в лабораторных условиях.

Достижение цели работы требует решения следующих задач.

1. На основе анализа известных конструкций циклонов разработать пылеуловитель с обратным конусом и конструктивными параметрами, которые могут регулироваться в зависимости от свойств пыли и характеристик пылевоздушной среды (рис. 1) [5].

tion of the processes for dust separation due to the direction of flow of dust-air streams (e.g. cyclones with opposing swirling flows).

Thus, the choice of cleaning devices should be based on the use of vortex turbulent flows that intensify dust separation. In this regard, a suitable design is cyclones with a developed cone part, changed internal profile of the walls and adjustable design parameters to achieve maximum efficiency.

In researches devoted to the development and improvement of centrifugal dust cleaners, models of structure formation of the dispersed phase in the apparatus are not presented. In addition, there are no data on parallel comparative tests of the new dust collector with the known devices. Issues related to the operation of the dust collector in production conditions are not considered, as a result of which the actual characteristics of the device are significantly inferior to those obtained in the laboratory.

Achieving the goal of the work requires the following tasks.

1. On the basis of the analysis of the known designs of cyclones to develop a dust collector with an inverted cone and design parameters which can be regulated depending on dust properties and characteristics of dusty environment (Fig. 1) [5].

*a)**б)*

Рис. 1. Установка для пылеулавливания (а) и циклон с обратным конусом «ЦОК-200-300» (б)

*Fig. 1. Installation for dust collection (a) and the cyclone with an inverted cone "TSOK-200-300" (b)*

2. Провести моделирование и экспериментально исследовать эффективность пылеуловителя с обратным конусом и регулируемыми конструктивными параметрами на полупромышленной экспериментальной установке (см. рис. 1) и выявить закономерности процесса пылеулавливания на основе аэродинамической структуры газового потока [6–8].

3. Задействовать модуль газодинамического анализа, интегрированный в современное высокопроизводительное программное обеспечение. С учетом полученных данных разработать методику расчета эффективности процесса пылеулавливания в аппаратах с обратным конусом и регулируемыми конструктивными параметрами.

**Результаты экспериментальных исследований.** Создана новая конструкция циклонного аппарата, в которой предусмотрена возможность регулирования конструктивных параметров циклона в зависимости от свойств и характеристик пылевоздушной среды (патент РФ № 2506880 «Пылеулавливатель») [4].

В циклоне с обратным конусом («ЦОК-200-300») за счет конусного профиля используется увеличенная центробежная сила, действу-

2. To conduct modeling and experimentally investigate the efficiency of the dust collector with an inverted cone and adjustable design parameters on a semi-industrial experimental installation (see Fig. 1) and to reveal regularities of dust collection process on the basis of aerodynamic structure of gas flow [6-8].

3. To use gas-dynamic analysis module, integrated into the state-of-the-art high-performance software. Taking into account the obtained data, to develop a methodology for calculating the efficiency of the dust collection process in devices with an inverted cone and adjustable design parameters.

**Experimental studies results.** A new structure of the cyclone apparatus has been created, which provides the possibility of regulating the constructive parameters of the cyclone depending on the properties and characteristics of dust-air environment (RF patent No. 2506880 "Dust collector") [4].

In the cyclone with an inverted cone ("TSOK-200-300") due to the cone profile, we



ющая на пылевую частицу на первых витках вращения. Возможность регулирования глубины погружения выхлопного патрубка в тело циклона позволяет уменьшить вынос пыли вторичными вихревыми течениями воздуха. Регулирование соотношения объема рабочей части и бункера «ЦОК-200-300» влияет на аэродинамику аппарата и сепарацию, что позволяет более эффективно улавливать пыль разной дисперсности и плотности.

В лабораторных условиях проведены сравнительные экспериментальные исследования на малоразмерных пылеуловителях. Установлена связь между геометрическими параметрами циклонных аппаратов разной формы и эффективностью пылеулавливания. Показано, что у циклонов с обратным конусом («ЦОК-200-300») эффективность улавливания пыли выше, чем у цилиндрических аппаратов. Найдены оптимальные конструктивные параметры «ЦОК-200-300» (глубина погружения выхлопного патрубка и соотношение объемов рабочей части циклона и бункера), повышающие степень пылеочистки [9–11].

Малые размеры центробежных аппаратов, с одной стороны, частично приводили к некорректности измерений в соответствии с требованиями ГОСТ 12.3.018-79 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Системы вентиляции. Методы аэродинамических испытаний». С другой стороны, работа на установке требовала трудоемкого монтажа, т. к. сборно-разъемные соединения при переустановке циклонов не обеспечивали герметичность конструкции.

В этой связи была произведена модернизация лабораторной установки (см. рис. 1). Ее измененная технологическая схема включает два исследуемых циклонных аппарата с датчиками и высокоточными измерительными приборами. Сравнительным испытаниям теперь могут быть подвергнуты полноразмерные промышленные образцы центробежных циклонов (например, «ЦН-15У-300» и «ЦОК-200-300»). Кроме того, в распоряжении коллектива авторов имеется высокоточный современный

use an increased centrifugal force acting on dust particle in the first turns of rotation. The ability to control the depth of the exhaust pipe to the cyclone body reduces the discharge of secondary vortex air currents. Regulation of the volume ratio of the working part and the hopper of "TSOK -200-300" affects the apparatus aerodynamics and separation, which makes it more effective to catch dust of different size and density.

Comparative experimental researches on small-size dust collectors were carried out in laboratory conditions. The connection between geometric parameters of cyclonic devices of different shapes and dust collection efficiency is established. It is shown that in cyclones with an inverted cone ("TSOK-200-300"), the efficiency of dust capture is higher than in cylindrical devices. The optimal design parameters of "TSOK-200-300" (depth of immersion of the exhaust pipe and the ratio of the volume of the working part of the cyclone and the hopper) were found, which increase the degree of dust cleaning [9–11].

The small size of the centrifugal apparatuses, on the one hand, partly has led to the incorrectness of measurements in accordance with the requirements of GOST 12.3.018-79 "System of occupational safety standards. Ventilation systems. Aerodynamic test methods". On the other hand, the work on the installation required labor-intensive installation, because the units, when reinstalling the cyclones, did not ensure the tightness of the structure.

In this regard, the laboratory facility has been upgraded (see Figure 1). Its modified flow chart includes two studied cyclone apparatus with sensors and high-precision measuring instruments. Full-sized industrial samples of centrifugal cyclones (for example, "TSN-15U-300" and "TSOK-200-300") can now be subjected to comparative tests. In addition, the team of au-

дифференциальный микроманометр *Testo 521-1* (Германия). В комплект входят напорные трубки Пито, связанные с электронно-вычислительной системой (стандарт RS232) [12]. Считывание, обработка и представление результатов обеспечивает программный комплекс *Comfort Software 3.4*, который позволяет напрямую в режиме реального времени снимать показатели и записывать их в тело программы [13–14]. Для измерения запыленности пылевоздушных потоков используется трибоэлектрический стационарный пылемер ПИКП-Т (Россия).

**Результаты теоретических исследований. Подходы к моделированию.** Специализированные пакеты программ позволяют рассчитывать с приемлемой для практики точностью массообменные и гидродинамические характеристики турбулентных пространственных вихревых течений в многосвязных областях сложной геометрии. Представляется перспективным использование вихреразрешающих дискретных моделей, которые реализуются в *Flow Vision*.

При выполнении расчетов аэродинамических параметров цилиндрического циклона и центробежного пылеуловителя с обратным конусом использована стандартная *k*-эпсилон модель турбулентности [15]. На основании модельных расчетов определены гидравлические сопротивления сравниваемых циклонов разной формы (конический и цилиндрический). Работа с блоком газодинамических расчетов системы *ANSYS* позволила использовать:

- *k*-эпсилон модель турбулентности для моделирования аэродинамических процессов в пылеуловителях;
- *k*-омега модель для описания процессов в пристеночном слое.

**Заключение.** Проведение исследований в заявленном направлении позволяет получить значимые научные и прикладные результаты. Ниже перечислены некоторые из них.

1. Создание банка данных о различных конструкциях центробежных пылеуловителей.
2. Формулирование научно обоснованных

thors has a high-precision modern differential micrometer *Testo 521-1* (Germany). The set includes Pitot pressure tubes connected to the electronic computing system (standard RS232) [12]. Reading, processing and presentation of the results is provided by the software package *Comfort Software 3.4*, which allows you to take the readings and record them in the body of the program [13–14] directly in real time. For measuring the dustiness of dusty flows the stationary triboelectric dust meter, ПИКП-Т (Russia) was used.

**Theoretical research results.** Approach to modeling. Specialized software packages allow calculating mass transfer and hydrodynamic characteristics of turbulent spatial vortex flows in multi-connected domains of complex geometry with acceptable accuracy. It seems promising to use eddy-resolving discrete models, which are implemented in *Flow Vision*.

The standard *K-Epsilon* turbulence model [15] is used in calculations of aerodynamic parameters of cylindrical cyclone and centrifugal dust collector with an inverted cone. Hydraulic resistances of the compared cyclones of different shapes (conical and cylindrical) are determined on the basis of model calculations. Work with gas-dynamic calculations of the system *ANSYS* allowed us to use:

- *k*-Epsilon turbulence model for aerodynamic simulation in dust collectors;
- *k*-omega model to describe processes in the near-wall layer.

**Conclusion.** Conducting research in the stated direction allows us to obtain significant scientific and applied results. Some of them are listed below.

1. Creation of a data bank on various designs of centrifugal separators.
2. Formulation of scientifically based re-

требований к проведению аэродинамических испытаний, к схеме и точности измерений, к выбору достоверного метода определения эффективности пылеулавливания.

3. Выведение аналитических зависимостей (при различной задаваемой производительности вытяжного вентилятора), описывающих изменения полного, статического, динамического давления и разрежения в бункере, скорости движения воздуха и расхода в измерительных точках сечений входных и выходных патрубков.

4. Расчетное и экспериментальное определение коэффициентов гидравлического сопротивления аппаратов «ЦН-15у-300» и «ЦОК-200-300».

5. Установление аналитических зависимостей между глубиной погружения выхлопного патрубка циклона, геометрическими размерами бункера, аэродинамическими показателями центробежных пылеуловителей, величиной гидравлических сопротивлений.

6. Выявление аналитических зависимостей, описывающих изменение концентрации пыли в пылевоздушном потоке в выходных сечениях патрубков при заданных исходных концентрациях пыли во входных патрубках и при различной производительности вытяжного вентилятора на разных пылях.

7. Расчетное и экспериментальное определение степени эффективности пылеулавливания аппаратов «ЦН-15у-300» и «ЦОК-200-300» при различных режимах работы установки на различных видах пыли.

8. Выведение аналитических зависимостей, описывающих влияние глубины погружения выхлопного патрубка и геометрических размеров бункера на эффективность пылеулавливания центробежными пылеуловителями на разных пылях.

9. Описание дисперсного состава пылей до и после очистки в исследуемых циклонах.

10. Экспериментальное определение коэффициентов гидравлического сопротивления аппаратов «ЦН-15у-300» и «ЦОК-200-300» при исследованиях на пылевоздушных потоках.

quirements to the conduction of aerodynamic tests, to the scheme and accuracy of measurements, to the choice of a reliable method for efficiency determination of dust collection.

3. Determination of analytical dependencies (at various specified exhaust fan capacity) that describe changes of a full, static, dynamic pressure and the vacuum in the hopper, the velocity of the air flow at the measuring points of input and output data ports cross-sections.

4. Calculation and experimental determination of hydraulic resistance coefficients of devices "TSN-15U-300" and "TSOK-200-300".

5. Establishment of analytical dependences between the depth of the cyclone exhaust pipe, the geometric dimensions of the hopper, the aerodynamic parameters of centrifugal dust collectors, the value of the hydraulic resistances.

6. Identification of the analytical dependences describing change of concentration of dust in the dusty flow in the output sections of the nozzles at given initial concentrations of dust in the input nozzles and at different performance of the exhaust blower for various dust.

7. Calculation and experimental determination of the degree of efficiency of dust collection devices "TSN-15U-300" and "TSOK-200-300" at different modes of operation of the installation on different types of dust.

8. Determination of analytical dependences describing the effect of the depth of immersion of the exhaust pipe and the geometric dimensions of the hopper on the efficiency of dust collection by centrifugal dust collectors on different dusts.

9. Description of the dispersed composition of dusts before and after cleaning in the studied cyclones.

10. Experimental determination of the coefficients of hydraulic resistance devices "TSN-15U-300" and "TSOK-200-300" in studies on dusty air flows.

11. Научное обоснование принципов проектирования и использования центробежных пылеуловителей, встроенных в аспирационные системы и пневмотранспорт машиностроительных производств.

### **Библиографический список**

1. Потёмкина, А. В. Теоретические и экспериментальные исследования влияния глубины погружения выхлопного патрубка на аэродинамические свойства и эффективность циклонных аппаратов / А. В. Потёмкина, Е. С. Лукаш // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2010. — Т. 10, № 4 (47). — С. 526–533.

2. Features of Velocity and Pressure Fields Formation in the Centrifugal Dust Collector / Y. Buligin [et al.] // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 698. — P. 542–545.

3. Cyclone with Controlled Parameters and Self-Emptying Bin for Air Dedusting in Machine Building Plants / B. Meskhi [et al.] // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 682. — P. 46–52.

4. Пылеулавливатель : патент 2506880 Рос. Федерация : A47L 9/16/ Б. Ч. Месхи [и др.]. — № 2012155164/12 ; заявл. 18.12.12 ; опубл. 20.02.14, Бюл. № 5. — 7 с.

5. Установка для пылеулавливания : патент 2557741 Рос. Федерация : A47L 9/16/ Б. Ч. Месхи [и др.]. — № 2014136881/12 ; заявл. 11.09.14 ; опубл. 27.07.15, Бюл. № 21. — 4 с.

6. Исследование аэродинамики центробежных пылеуловителей / А. Н. Легконогих [и др.] // Новые стандарты модернизации педагогического образования в формировании здорового образа жизни и безопасности жизнедеятельности : мат-лы III регион. науч.-практ. конф. Южного федерального округа. — Краснодар : ИПЦ КубГУ, 2015. — С. 41–45.

7. Physical and Theoretical Models of Heat

11. Scientific substantiation of the principles of design and use of centrifugal dust collectors built into aspiration systems and jet transport of machine-building enterprises.

### **References**

1. Potemkina, V A., Lukash, E.S. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya glubiny pogruzeniya vykhlopnoy trubki na aerodinamicheskie svoystva i effektivnost' tsiklonnykh apparatov. [Theoretical and experimental researches of the influence of immersion depth of the exhaust pipe on the aerodynamic properties and efficiency of cyclone apparatus.] Vestnik of DSTU, 2010, vol. 10, no. 4 (47), pp. 526-533 (in Russian).

2. Buligin, Y. et al. Features of Velocity and Pressure Fields Formation in the Centrifugal Dust Collector. Applied Mechanics and Materials, 2014, vol. 698, pp. 542-545.

3. Meskhi, B. et al. Cyclone with Controlled Parameters and Self-Emptying Bin for Air Dedusting in Machine Building Plants. Applied Mechanics and materials, 2014, vol. 682, pp. 46-52.

4. Meskhi, B.C. et al. Pyleulavlivatel': patent 2506880 Ros. Federatsiya: A47L 9/16/ [Dust collector.] Patent RF, no. 2012155164/12, 2014 (in Russian).

5. Meskhi, B.C. et al. Ustanovka dlya pyleulavlivaniya: patent 2557741Ros. Federatsiya: A47L 9/16/ [Installation for dust collection.] Patent RF, no. 2014136881/12, 2015 (in Russian).

6. Legkonogikh, A.N. et al. Issledovanie aerodinamiki tsentrobezhnykh pyleuloviteley. [The study of aerodynamics of centrifugal dust collectors.] Novye standarty modernizatsii pedagogicheskogo obrazovaniya v formirovanii zdorovogo obraza zhizni i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: mat-ly III region. nauch.-prakt. konf. Yuzhnogo federal'no'o okruga. [New standards of modernization of pedagogical education in the formation of healthy lifestyle and safety: proc. of III region. sci.-pract. conf. of the Southern Federal District.] Krasnodar: IPTS KubGU, 2015, p. 41-45 (in Russian).

7. Buligin, Y.I. et al. Physical and Theoretical Models of Heat Pollution Applied to Cramped Conditions Welding Taking into Account the Different



Pollution Applied to Cramped Conditions Welding Taking into Account the Different Types of Heat [Электронный ресурс] / Y. I. Buligin [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2017. — Vol. 66, is. 1, № 012015. — Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/66/1> (дата обращения 17.04.18).

8. Пирумов, А. И. Обеспыливание воздуха / А. И. Пирумов. — Москва : Стройиздат, 1974. — 296 с.

9. Падва, В. Ю. Оптимальные условия улавливания пыли циклонами / В. Ю. Падва // Водоснабжение и санитарная техника. — 1968. — № 4. — С. 6–10.

10. Экспериментальные установки для исследования влияния формы и геометрии конструкции центробежных пылеуловителей на их аэродинамические характеристики и эффективность пылеулавливания / Ю. И. Булыгин [и др.] // Новые направления модернизации педагогического образования в формировании здорового образа жизни и безопасности жизнедеятельности : мат-лы V регион. науч.-практ. конф. Южного федерального округа. — Краснодар : ИПЦ КубГУ, 2017. — С. 200.

11. Циклон с регулируемыми параметрами и саморазгружаемым бункером для обеспыливания воздуха машиностроительных предприятий / Б. Ч. Месхи [и др.] // Инновации, экология и ресурсосберегающие технологии : мат-лы XI междунар. науч.-техн. форума. — Ростов-на-Дону : Изд-во ДГТУ, 2014. — С. 170–179.

12. Testo 521/526. Руководство пользователя / ООО «Тесто Рус». — Москва : ООО «Тесто Рус», 2016. — 52 с.

Types of Heat. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, vol. 66, is. 1, no. 012015. Available at: <http://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/66/1>.

8. Pirumov, A.I. Obespylivanie vozdukha. [Cleaning air from dust.] Moscow: Stroyizdat, 1974, 296 p. (in Russian).

9. Padva, V.Yu. Optimal'nye usloviya ulavlivaniya pyli tsiklonami. [Optimal conditions for dust collection by cyclones.] Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika, 1968, no. 4, pp. 6-10 (in Russian).

10. Bulygin, Yu.I. et al. Eksperimental'nye ustanovki dlya issledovaniya vliyaniya formy i geometrii konstruktсии tsentrobezhnykh pyluloviteley na ikh aerodinamicheskie kharakteristiki i effektivnost' pylulavlivaniya. [Experimental installation to study the effect of shape and geometry of the structure of centrifugal dust collectors on their aerodynamic characteristics and the efficiency of dust collection.] Novye napravleniya modernizatsii pedagogicheskogo obrazovaniya v formirovanii zdorovogo obraza zhizni i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: mat-ly V region. nauch.-prakt. konf. Yuzhnogo federal'nogo okruga. [Modern directions of modernization of pedagogical education in the formation of healthy lifestyle and safety: proc. of V regional sci.-pract. conf. of the Southern Federal District.] Krasnodar: IPTS KubGU, 2017, P. 200 (in Russian).

11. Meskhi, B.Ch. Tsiklon s reguliruemyimi parametrami i samorazgruzhaemym bunkerom dlya obespylevaniya vozdukha mashinostroitel'nykh predpriyatiy. [Cyclone with adjustable parameters and a self-unloading hopper for cleaning air of machine-building enterprises from dust.] Innovatsii, ekologiya i resursosberegayushchie tekhnologii: mat-ly XI mezhdunar. nauch.-tekhn. foruma. [Innovations, ecology and resource-saving technologies: proc. XI international sci.-tech. forum.] Rostov-on-Don: Izd-vo DSTU, 2014, pp 170-179 (in Russian).

12. Testo 521/526. Rukovodstvo pol'zovatelya. "Testo-Rus" [Testo 521/526. User manual. "Testo-Rus"] Moscow: "Testo-Rus", 2016, 52 p. (in Russian).

13. Programmnoe obespechenie ComSoft 3.4. Rukovodstvo pol'zovatelya. Rossiyskoe otdelenie

13. Программное обеспечение ComSoft 3.4. Руководство пользователя / Российское отделение Testo AG. — Москва : ООО «Тесто Рус». — 2016. — 14 с.

14. Модернизация экспериментальных установок для сравнительных параллельных испытаний центробежных пылеуловителей [Электронный ресурс] / Ю. И. Булыгин, М. В. Варданын, И. С. Купцова // Повышение международной конкурентоспособности российской инновационной продукции и технологий предприятий Ростовской области : сб. науч. тр. I междунар. науч.-практ. конф. / Под ред. Ю. К. Верченко. — Ростов-на-Дону : Изд-во ДГТУ, 2016. — С. 28–33. — Режим доступа: <http://ерцир.рф/images/erciir-podrazdeleniya/region-inginir-centr/materialy/sbornik-forum-2016.pdf> (дата обращения: 17.04.18).

15. Применение стандартной  $k$ - $\epsilon$  модели турбулентности к описанию аэродинамических процессов внутри циклонных аппаратов / А. Н. Легконогих [и др.] // Научно-технические проблемы строительства и технологической безопасности : сб. науч. тр. Ин-та сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ. — Шахты : ИСОПиП (филиал) ДГТУ, 2015. — С. 72–77.

Testo AG. [Software ComSoft 3.4. User manual. Russian branch of Testo AG.] Moscow: "Testo-Rus", 2016, 14 p. (in Russian).

14. Bulygin, Yu.I., Vardanyan, M.V., Kuptsova, I.S. Modernizatsiya eksperimental'nykh ustanovok dlya sravnitel'nykh parallel'nykh ispytaniy tse-trobeznykh pyleuloviteley. [Modernization of experimental facilities for comparative parallel testing of centrifugal dust collectors.] Povyshenie mezhdunarodnoy konkurentosposobnosti rossiyskoy innovatsionnoy produktsii i tekhnologiy predpriyatiy Rostovskoy oblasti: sb. nauch. tr. I mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Pod red. Yu.K. Verchenko. [Increase the international competitiveness of Russian innovative products and technologies of the enterprises of the Rostov region: proc. of I international. sci.-pract. conf. ed. by Verchenko, Yu.K.] Rostov-on-Don: Izd-vo DSTU, 2016, pp. 28-33. Available at: <http://ерцир.рф/images/erciir-podrazdeleniya/region-inginir-centr/materialy/sbornik-forum-2016.pdf> (in Russian).

15. Legkonogikh, A.N. et al. Primenenie standartnoy  $k$ - $\epsilon$  modeli turbulentnosti k opisaniyu aerodinamicheskikh protsessov vnutri tsiklonnykh apparatov. [The application of the standard  $k$ - $\epsilon$  turbulence model to the description of aerodynamic processes inside cyclone devices.] Nauchno-tekhnicheskie problem stroitel'stva i tekhnosfernoy bezopasnosti: sb. nauch. tr. In-ta sfery obsluzhivaniya i predprinimatel'stva (filial) DGTU. [Scientific and technical problems of construction and technology safety: coll. of sci. works of the Institute of service sector and entrepreneurship (branch) DSTU.] Shakhty: ISOPiP (branch) DSTU, 2015, pp. 72-77 (in Russian).

Поступила в редакцию 05.02.2018

Сдана в редакцию 06.02.2018

Запланирована в номер 20.04.2018

Received 05.02.2018

Submitted 06.02.2018

Scheduled in the issue 20.04.2018



**Булыгин Юрий Игоревич,**  
профессор кафедры «Безопасность жизне-  
деятельности и защита окружающей сре-  
ды» Донского государственного техническо-  
го университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл.  
Гагарина, 1), доктор технических наук,  
[bulyur\\_rostov@mail.ru](mailto:bulyur_rostov@mail.ru)

**Азимова Наталья Николаевна,**  
старший преподаватель Донского государ-  
ственного технического университета  
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),  
[arkomaazimov@mail.ru](mailto:arkomaazimov@mail.ru)

**Купцова Ирина Сергеевна,**  
аспирант, донского государственного тех-  
нического университета, (РФ, г. Ростов-на-  
Дону, пл. Гагарина, 1),  
[i-kyptsova@mail.ru](mailto:i-kyptsova@mail.ru)

**Bulygin Yuriy Igorevich,**  
professor of Department of life Safety and envi-  
ronmental protection of the Don State Technical  
University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Rus-  
sian Federation), doctor of sciences,  
[bulyur\\_rostov@mail.ru](mailto:bulyur_rostov@mail.ru)

**Azimova Natalya Nikolaevna,**  
senior Lecturer, Don State Technical Univer-  
sity (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian  
Federation),  
[arkomaazimov@mail.ru](mailto:arkomaazimov@mail.ru)

**Kuptsova Irina Sergeevna,**  
postgraduate student, Don State Technical  
University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don,  
Russian Federation),  
[i-kyptsova@mail.ru](mailto:i-kyptsova@mail.ru)