

DOI: 10.12737/article\_5c1c995c7f4e35.90271716

<sup>1,\*</sup>Киреев В.М., <sup>1</sup>Минко В.А., <sup>1</sup>Гольцов А.Б., <sup>1</sup>Болгов А.И.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

\*E-mail: vit31rus@mail.ru; kireev.vm@bstu.ru

## РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА КОАНДА

**Аннотация.** Системы аспирации, позволяющие обеспыливать процессы перегрузки на различных предприятиях, на сегодняшний день весьма энергоёмки. Данные системы определяют требуемую производительность всего комплекса обеспыливания: общеобменной вентиляции, вакуумной пылеуборки. Энергопотребление всего комплекса обеспыливания достигает 20 % всех оборотных средств предприятия что в свою очередь отражается на его конкурентоспособности и себестоимости выпускаемой продукции. Основная причина пылеобразования в процессе перегрузки является возникновение эжекции воздуха падающим материалом. Одним из известных способов снижения требуемой производительности систем аспирации является использование принципа рециркуляции эжектируемого воздуха. В статье предлагается эффективный способ снижения энергоёмкости аспирационных систем за счет рециркуляционной системы с использованием эффекта Коанда. В статье представлены результаты исследования, позволяющие оценить эффективность предлагаемого технического решения, а также данные, необходимые при его проектировании.

**Ключевые слова:** обеспыливающая вентиляция, энергоэффективность, аспирационная система, рециркуляция, эффект Коанда, перегрузка сыпучих материалов.

**Введение.** Различные технологические процессы производства и переработки сыпучих материалов во многих отраслях промышленности (строительной, горнорудной, металлургической, угольной и др.) сопровождаются интенсивным выделением пыли в область рабочей зоны [1, 2]. Под влиянием данной пыли возникают различные профзаболевания. Основной причиной распространения пыли является эжекция – увлечение воздуха потоком сыпучего перегружаемого материала [3, 4].

Наиболее эффективным способом борьбы с пылевыведением являются системы комплексного обеспыливания, которые включают в себя системы аспирации, средства борьбы с вторичным пылевыведением и общеобменную вентиляцию. Следует отметить, что именно система аспирации в данном комплексе определяет требуемую производительность остальных систем обеспыливания а, следовательно, и их энергоёмкость.

Актуальность. По результатам ряда исследований известно, что на эксплуатацию систем обеспыливания на ряде предприятий тратится до 20 % всех оборотных средств [5, 6], что влияет на его конкурентоспособность. Причиной этого, в первую очередь, является использование неэффективных технических решений и ошибки, допущенные при их проектировании. К примеру, на подавляющем большинстве предприятий продолжается использование аспирационных укрытий с одинарными стенками, хотя они обладают крайне низкой пылеочистой способностью и требуют значительной требуемой производительности системы [6].

Одним из перспективных направлений снижения энергоёмкости аспирационных систем, наряду с использованием модернизированных аспирационных укрытий [6–8], является использование принципа рециркуляции [9, 10]. Рециркуляция подразумевает подачу части аспирируемого воздуха непосредственно в перегрузочный желоб рис 1, а. Рециркуляционный воздух компенсирует расход воздуха, который эжектируется перегружаемым материалом, существенно снижая тем самым энергозатраты, связанные с очисткой аспирируемого воздуха. При разработке рассматриваемого узла предпочтительно, чтобы рециркуляционный воздух создавал наибольшее аэродинамическое сопротивление эжектируемому воздуху.

Известны некоторые конструкции аспирационных систем, использующие принцип принудительной рециркуляции [10, 11], однако они имеют ряд некоторых недостатков. В связи с этим авторами проведены исследования, на основании которых был усовершенствован узел подачи аспирационного воздуха в перегрузочный желоб принудительной рециркуляции, используя эффект Коанда [12].

### Постановка задачи. Методы расчета.

Известно [6], что энергоёмкость аспирационных систем характеризуется их требуемой производительностью по удаляемому воздуху. На минимальные объёмы удаляемого воздуха влияет аэродинамическое сопротивление системы верхнее аспирационное укрытие- перегрузочный желоб- нижнее аспирационное укрытие.

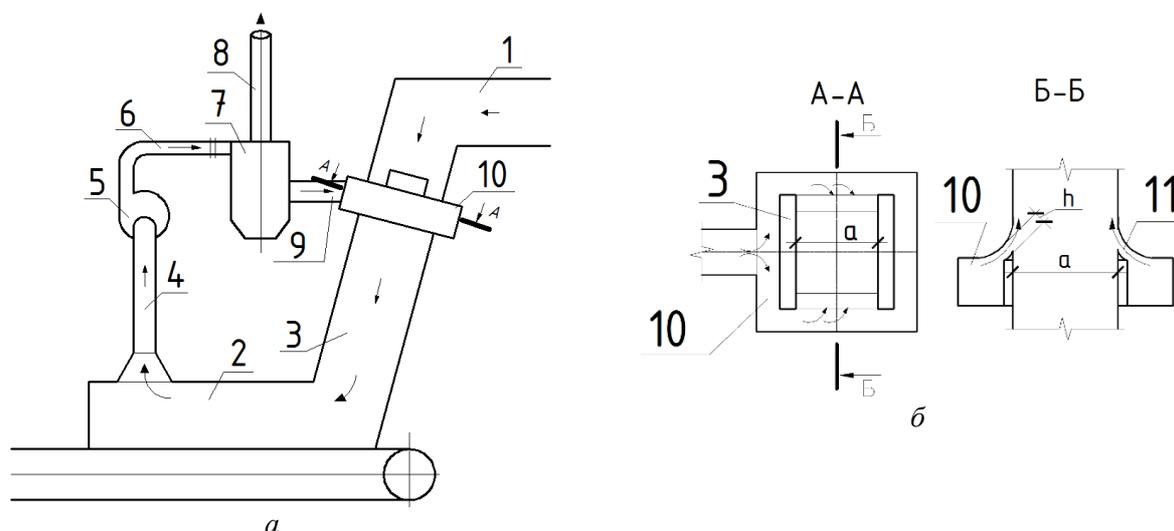


Рис. 1. Принципиальная схема аспирационной системы с принудительной рециркуляцией: 1 – верхнее аспирационное укрытие; 2 – нижнее укрытие; 3 – перегрузочный желоб; 4 – аспирационный патрубок; 5 – вентилятор; 6 – напорный патрубок; 7 – аппарат пылеочистки (циклон-пылеканцентратор); 8 – отвод очищенного воздуха; 9 – обводная труба; 10 – распределитель воздушно- пылевого концентрата; 11 – коандовские воздушные каналы

Низкое сопротивление системы приводит к увеличенной требуемой производительности системы, а, следовательно, к её повышенному энергопотреблению.

В работе [10] установлено, что снижение потерь давления в тракте – «верхнее укрытие – желоб – нижнее укрытие» ведет к росту объёма воздуха, перемещающегося по желобу, при любом месте и способе подачи рециркуляционного потока, если он не создает дополнительного гидравлического сопротивления (помех) на пути движения эжектируемого потока воздуха. На основании сделанных выводов был предложен способ подачи рециркуляционного воздуха, обеспечивающий повышение гидравлического сопротивления перегрузочного желоба, продемонстрированного на Рис. 1, б. Повышение аэродинамического сопротивления в предлагаемой конструкции достигается использованием в ней эффекта Коанда [13, 14] при подаче рециркуляционного воздуха в перегрузочный желоб.

Представленная аспирационная система работает следующим образом. Для обеспечения санитарно-гигиенических условий мест перегрузки сыпучего материала, т.е. не выбивания воздушного запыленного потока, из нижнего укрытия 2 вентилятором 5 через аспирационный патрубок 4 отсасывается воздух, который поступает по напорному патрубку 6 на вход пылеочистительного приспособления 7 для выделения воздушно-пылевого концентрата. Очищенный воздух по патрубку 8 поступает в атмосферу или в следующую ступень очистки, а воздушно-пылевой концентрат благодаря обводной трубе 9 отводится в распределитель 10 воздушно-пылевого концентрата. Распределитель 10 воздушно-пылевого

концентрата, выполненный в виде кольцевой камеры, обеспечивает подачу воздушно-пылевого концентрата в желоб 3 через Коандовские воздушные каналы 11. При этом за счет особой формы Коандовских воздушных каналов 11, обеспечивающей возникновение эффекта Коанда, поток воздушно-пылевого концентрата «прилипает» к желобу, что позволяет увеличить угол между направлениями движения воздушно-пылевого концентрата и воздушного запыленного потока, движущегося в течке. Это объясняется тем, что, с одной стороны, струи воздушно-пылевого концентрата поверхность течки 3 препятствуют свободному поступлению воздушного запыленного потока, а, с другой стороны, струи увлекается часть воздушного запыленного потока. В результате чего повышается аэродинамическое сопротивление системы, что обеспечивает снижение расхода воздуха.

Исследование эффективности работы предлагаемой конструкции было произведено с использованием программного комплекса COSMOSFloWorks [15]. При работе данного комплекса используются уравнения неразрывности; Навье-Стокса и энергии стационарного пространственного течения в соответствии с к-ε моделью турбулентности.

Целью численного эксперимента являлось определение оптимальных геометрических и аэродинамических параметров разработанного узла при условии минимального энергопотребления.

В процессе исследования работы решалась внутренняя задача движения воздуха в полости вертикального желоба (высота 1000 мм от верх-

ней до нижней кромки). Для решения данной задачи принимались начальные (физические параметры среды, характерные для нормальных условий) и граничные условия исследуемой модели. В качестве граничных условий были приняты (рис. 2): 1 – свободная поверхность, давление 101325 Па, 2 – стенки аспирационного укрытия, 3 – вход рециркуляционного воздуха в аспирационное укрытие, 4 – свободная поверхность, 101305 Па. В качестве критерия эффективности был принят параметр расхода эжектируемого воздуха  $Q_{ж}$  через поверхность 4.

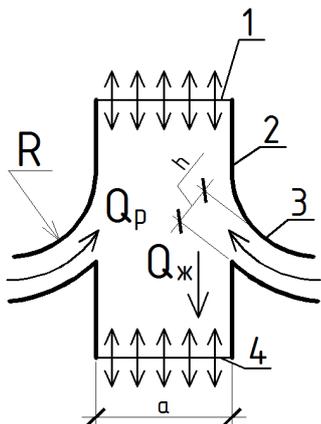


Рис. 2. Граничные условия численного эксперимента: 1 – поверхность входа эжектируемого потока (давление 101325 Па), 2 – стенка аспирационного укрытия, 3 – вход рециркуляционного воздуха в аспирационное укрытие, 4 – поверхность выхода эжектируемого потока (давление 101305 Па)

**Результаты исследования и их обсуждение.** В ходе проведения эксперимента были выявлены факторы, влияющие на работу рассматриваемой конструкции: радиус закругления Коандовского канала  $R$ ; скорость подаваемого воздуха в сечении Коандовского канала  $V$ ; высота Коандовского канала  $h$ ; ширина перегрузочного желоба  $a$ . Исследования проводились при разности давлений ( $\Delta P$ ) между поверхностями 1 и 4 (рис. 2) в 20 Па, что справедливо для большинства случаев перегрузок.

Некоторые графические результаты проведенного исследования представлены на рис. 3. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что при определенном аэродинамическом режиме работы конструкции (рис. 3, а) возникают устойчивые вихри в поперечном сечении желоба, приводящие к значительному снижению расхода эжектируемого воздуха. Данный режим возникает при скорости воздуха  $V=15$  м/с и радиусом закругления внутренней кромки канала 160 мм. При более низкой скорости подаваемого воздуха  $V=10$  м/с (рис. 3, б) наблюдается

увлечение потока эжекционным воздухом, что не дает должного эффекта.

В ходе исследования также рассматривались варианты с изменением высоты Коандовского канала  $h$ , (рис. 3, г.). Было отмечено, что при увеличении высоты канала  $h$  с 15 мм до 40 мм, но при более низкой скорости  $V=8$  м/с, несмотря на более высокий расход подаваемого воздуха в 1,4 раза, не возникает интенсивной зоны вихреобразования, как в случае а, а расход воздуха, поступающий в укрытие, увеличивается. Таким образом, можно сделать вывод, что именно режим работы в случае а позволит полностью реализовать возможности предлагаемой конструкции.

На основании дальнейшего проведенного исследования и обработки полученных данных было установлено, что наиболее эффективная устойчивая работа распределителя возникает при следующих геометрических параметрах:

$$\frac{R}{a} = 1,8...2,1 \quad (1)$$

$$\frac{h}{R} = 0,09...0,11 \quad (2)$$

$$V = 13...16 \text{ м/с.}$$

В зависимостях (1, 2) были использованы отношения геометрических параметров для соблюдения геометрического и аэродинамического подобия в конструкциях других размеров.

В результате исследования было установлено, что использование рассматриваемой конструкции позволяет снизить до 80 % объемы эжектируемого воздуха по отношению к системам без рециркуляции и до 50 % по отношению к аналогичным конструкциям [10, 11]. Учитывая, что даже малое предприятие имеет, как правило, в своем составе несколько систем аспирации, то эффект от внедрения предлагаемого способа подачи является весьма внушительным.

**Выводы.** Предлагаемый способ организации рециркуляционного потока позволяет за счет снижения объемов аспирируемого воздуха снизить потребляемую мощность вентилятора системы и, следовательно, расход электроэнергии.

Наряду с чисто экономической целесообразностью, использование рециркуляционных систем аспирации позволяет снизить и экологический ущерб, наносимый окружающей среде.

Подачу рециркуляционной струи в загрузочный канал следует осуществлять, используя предлагаемую конструкцию, соблюдая все вышеизложенные рекомендации. В этом случае предприятие значительно сократит затраты на содержание систем обеспыливания, повысив энергоэффективность производства.

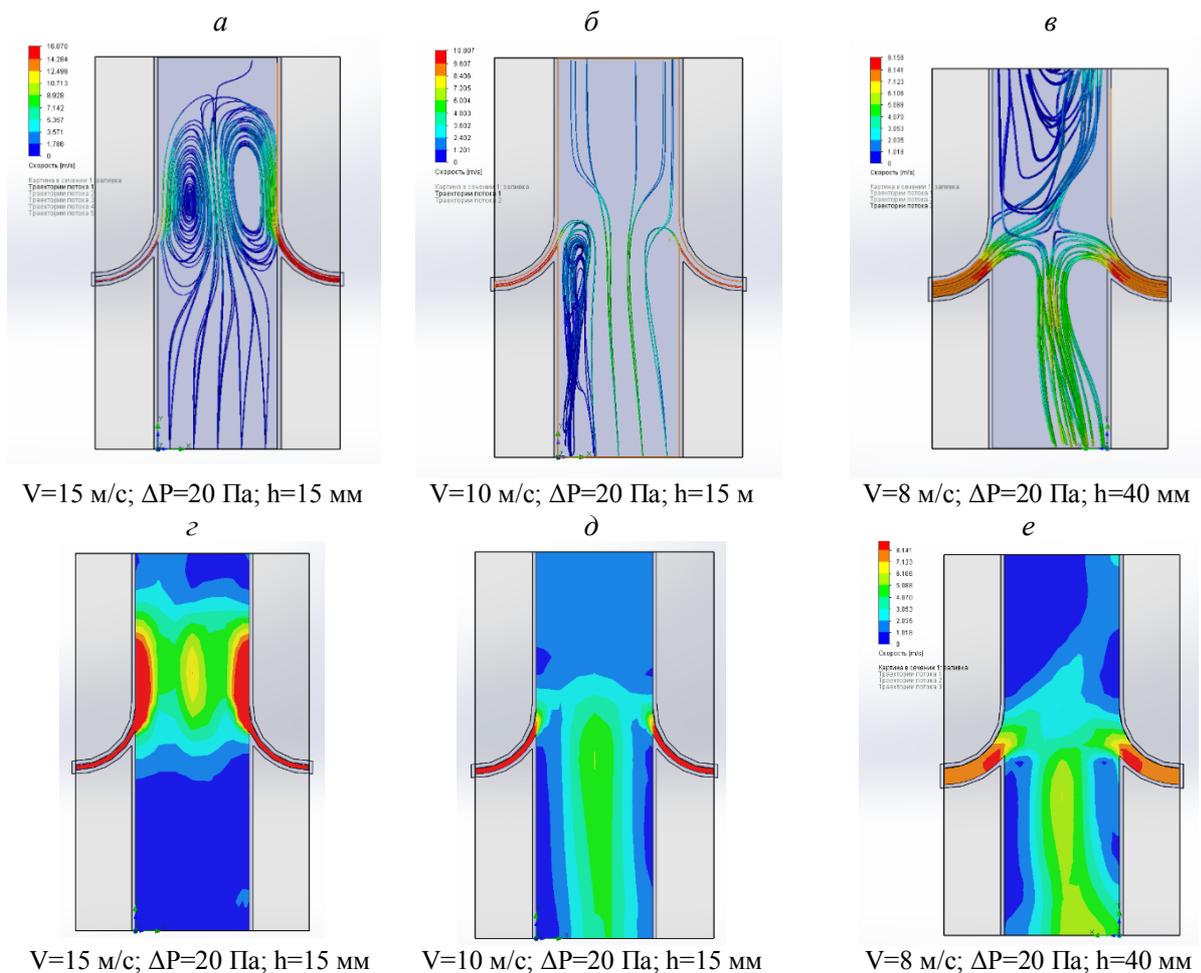


Рис. 3. Частичные графические результаты численного эксперимента разработанной конструкции:  
а, б, в – линии тока, г, д, е – соответствующие поля скоростей

**Источник финансирования.** Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минко В.А. Обеспыливание технологических процессов производства строительных материалов. Воронеж: ВГУ, 1981. 176 С.
2. Logachev I.N., Logachev K.I. Industrial air quality and ventilation: controlling dust emissions. Boca Raton: CRC Press, 2014, 417 p.
3. Минко В.А., Логачев И.Н., Логачев И.Н. и др. Обеспыливающая вентиляция. Т.1: монография // под общ. ред. В.А. Минко. Белгород: Изд-во БГТУ, 2006. 460 С.
4. Минко В.А., Кулешов М.И., Плотникова Л.В. и др. Обеспыливание в литейных цехах машиностроительных предприятий. М.: Машиностроение, 1987. 224 С.
5. Киреев В.М., Гольцов А.Б., Минко В.А. Расчет и разработка аспирационных укрытий мест перегрузок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №3. С. 114–117.

6. Обеспыливающая вентиляция. Монография (том 2). Монография под общ. ред. В.А. Минко. Белгород: Изд-во БГТУ. 2010. 565 С.
7. Пат. (19) RU11 9743813 U1 Российская Федерация, 51 МПК E21F 5/00 (2006.01). Аспирационное укрытие мест перегрузки сыпучего материала. Киреев В.М. и др.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г.– заявка 2010114489/03 заявл. 12.04.2010; опубл. 10.09.2010, Бюл. №25. 2 с.
8. Киреев В.М., Гольцов А.Б., Киреев В.М., Феоктистов А.Ю. Исследование конструкции аспирационного укрытия для применения в стеснённых условиях // Экология промышленного производства. 2013. №1 (81). С. 2–5.
9. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions. Boca Raton: CRC Press, 2015.
10. Овсянников Ю.Г., Алифанова А.И. Аспирационные системы с принудительной рециркуляцией: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013, 137 с.

11. Ovsyannikov Y.G., Gol'tsov A.B., Seminenko A.S., Logachev K.I., Uvarov V.A. Reducing the power consumption of ventilation systems through forced recirculation // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2017. Т. 57. № 5. Pp. 557–561

12. Патент RU 177236 Российская федерация. Укрытие с рециркуляцией аспирационного воздуха / Овсянников Ю.Г., Гольцов А.Б., Киреев В.М. и др.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. №: 2017112163, подано. 04.10.2017, опубл. 02/14/2018.

13. Семенов А.С. Экспериментальные установки для определения условий реализации коандовских течений // *Вестник БГТУ им. В.Г.*

Шухова. 2018. №3. С. 52–59.

14. Logachev I.N., Logachev K.I., Uvarov V.A., Seminenko A.S., Goltsov A.B., Kireev V.M. Velocity field for fan weakly swirled jet of loading spouts for fine materials // *International Journal of Pharmacy and Technology*. 2016. Т. 8. № 4. С. 24880.

15. Киреев В.М., Минко В.А., Логачёв И.Н. Использование программных комплексов при исследовании работы аспирационных укрытий / Энергосбережение и экология в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве городов: междунар. науч.-практ. конф. // Белгор. гос. технол. ун-т. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. С. 45–49.

#### Информация об авторах

**Киреев Виталий Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: vit31rus@mail.ru, kireev.vm@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Минко Всеволод Афанасьевич**, доктор технических наук, профессор. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Гольцов Александр Борисович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: abgolcov@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Болгов Андрей Игоревич**, магистрант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в сентябре 2018 г.

© Киреев В.М., Минко В.А., Гольцов А.Б., Болгов А.И., 2018

<sup>1,\*</sup>Kireev V.M., <sup>1</sup>Minko V.A., <sup>1</sup>Goltsov A.B., <sup>1</sup>Bolgov A.I.

<sup>1</sup>Belgorod State Technological University n. a. V.G. Shukhov

Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova, 46

\*E-mail: vit31rus@mail.ru, kireev.vm@bstu.ru

## RECIRCULATION ENERGY EFFICIENT ASPIRATION SYSTEMS WITH THE USE OF THE COANDA EFFECT

**Abstract.** Today, aspiration systems, that allow dedusting overload processes at various enterprises, are very energy intensive. These systems determine the required performance of the entire dedusting complex: general ventilation, vacuum dust removal. Energy consumption of the entire dedusting complex reaches 20 % of the total working capital of the enterprise, which in turn affects its competitiveness and cost of products. The main cause of dust formation during the overload process is the occurrence of air ejection by the falling material. Using the principle of ejected air recycling is one of the known ways to reduce the required performance of aspiration systems. The article proposes an effective way to reduce the energy intensity of aspiration systems due to the recirculation system using the Coanda effect. The operation of the system is organized in such a way that a part of the exhaust air from the shelter is fed into the transshipment chute, through an opening allowing the use of the Coanda effect. Thus, the supplied air moves in the opposite direction to the ejection one, creates aerodynamic resistance and reduces its volume. It significantly reduces the energy intensity of the system. The article presents the results of the study, allowing to evaluate the effectiveness of the proposed technical solution, as well as the data necessary for its design.

**Keywords:** dedusting ventilation, energy efficiency, aspiration system, recycling, Coanda effect, bulk material overload.

#### REFERENCES

1. Minko V.A. Dust removal of technological

processes of production of building materials. Voronezh: VSU. 1981, 176 p.

2. Logachev I.N., Logachev K.I. Industrial air quality and ventilation: controlling dust emissions. Boca Raton: CRC Press. 2014, 417 p.
3. Minko V.A., Logachev I.N., Logachev I.N. and others. Dust-free ventilation. T.1: monograph // under total. ed. V.A. Minko. Belgorod: BGTU publishing house, 2006, 460 p.
4. Minko V.A., Kuleshov M.I., Plotnikova L.V. and others. Dust removal in foundry shops of machine-building enterprises. M.: Mashinostroenie. 1987, 224 p.
5. Kireev V.M., Goltsov A.B., Minko V.A. Calculation and development of aspiration shelters for overload sites. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2010, no. 3, pp. 114–117.
6. Dust removal ventilation. Monograph (Volume 2). Monograph under total. ed. V.A. Minko. Belgorod: BGTU publishing house, 2010, 565 p.
7. Kireev V.M., 2010. Aspiration shelter beds overload of bulk material. Patent RU no. RU11 9743813 U1.
8. Kireev V.M. Investigation of the design of the aspiration shelter for use in cramped conditions / Goltsov A.B., Kireev V.M., Feoktistov A.Yu. Scientific-practical. Ecology of Industrial Production, 2013, no. 1 (81), pp. 2–5.
9. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions. Boca Raton: CRC Press. 2015.
10. Ovsyannikov Yu.G., Alifanova A.I. Aspiration systems with forced recirculation: monograph. Belgorod: BSTU Publishing House. 2013, 137 p.
11. Ovsyannikov Y.G., Goltsov A.B., Semenenko A.S., Logachev K.I., Uvarov V.A. Reducing the power consumption of ventilation systems through forced recirculation. Refractories and Industrial Ceramics, 2017, vol. 57, no. 5, pp. 557–561.
12. Patent 177236 RF Ovsyannikov Yu.G., Goltsov AB, Semenenko AS, Kireev VM, Burianov IA, Zhilina SS. Shelter with recirculation of aspirated air / No .: 2017112163, filed. 10/04/2017, publ. 02/14/2018.
13. Semenenko A.S. Experimental facilities for determining the conditions for the implementation of the Coanda current. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 3, pp. 52–59.
14. Logachev I.N., Logachev K.I., Uvarov V.A., Semenenko A.S., Goltsov A.B., Kireev V.M. Velocity field for fan weakly swirled jet of loading spouts for fine materials. International Journal of Pharmacy and Technology, 2016, vol. 8, no. 4, p. 24880.
15. Kireev V.M., Minko V.A., Logachev I.N. The use of software systems in the study of the work of aspiration shelters. Energy Saving and Ecology in Housing and Communal Services and City Construction: Int. scientific-practical conf. Belgor. state technol. un-t Belgorod: BGTU publishing house, 2012, pp. 45–49.

#### *Information about the author*

**Kireev, Vitaly M.** PhD, Assistant professor. E-mail: vit31rus@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Minko, Vsevolod A.** DSc, Professor. E-mail: kireev.v.m@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Goltsov, Alexander B.** PhD, Assistant professor. E-mail: abgolcov@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Bolgov, Andrei I.** graduate student of the department of Heat and Gas Supply and Ventilation. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in September 2018*

#### **Для цитирования:**

Киреев В.М., Минко В.А., Гольцов А.Б., Болгов А.И. Рециркуляционные энергоэффективные системы аспирации с использованием эффекта Коанда // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 57–62. DOI: 10.12737/article\_5c1c995c7f4e35.90271716

#### **For citation:**

Kireev V.M., Minko V.A., Goltsov A.B., Bolgov A.I. Recirculation energy efficient aspiration systems with the use of the coanda effect. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 57–62. DOI: 10.12737/article\_5c1c995c7f4e35.90271716