

М. Ю. Ткачѐв, канд. техн. наук

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УЗЛА БЕЗОПАСНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ДЛЯ ЭВАКУАЦИИ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ОТ ИСТОЧНИКОВ ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Представлена модернизация узла безопасного вентилятора для эвакуации пылегазовых выбросов от источников их образования за счет комбинации трех структурных компонентов в одну систему. Преимуществом предложенного в работе решения является повышение технико-экономических показателей эффективности эксплуатации за счет расширения рабочей области, а также создания индуцированного устойчивого газозоудного потока.

Ключевые слова: безопасной вентилятор, вентиляция, эффект Коанда, вихрь Рэнкина, предельно допустимые концентрации, вредные вещества

Введение

В связи с ужесточением требований к охране окружающей среды, а также ростом стоимости электроэнергии, практический интерес представляет создание эффективных установок для очистки газопылевых выбросов, отличающихся простотой и надежностью в эксплуатации, относительно небольшими затратами на разработку и изготовление. Поэтому при их проектировании является целесообразным использование физических эффектов, нашедших применение в других областях техники.

Технологические процессы производства сопровождаются образованием большого количества газов, пыли, аэрозолей, которые смешиваются и при отсутствии системы утилизации попадают в окружающую среду, в результате чего резко ухудшается экологическая ситуация в промышленных регионах, проявляющаяся в повышении предельно допустимых концентраций вредных веществ, отрицательно влияющих на здоровье человека и производительность его труда. Для предотвращения загрязнения воздуха в районах размещения крупных предприятий необходима разработка и внедрение в производство передовых методов эвакуации, локализации и очистки попутных газов, которые бы обеспечили с большой энергетической эффективностью достижение требуемого результата.

Наряду с традиционными системами вентиляции, газоотсоса и газоочистки, основанными на применении мощных дымоходов и вентиляторов, в ближайшей перспективе будут находить промышленное использование установки, в которых направленная циркуляция газовой среды обеспечивается путем создания зон пониженного давления за счет огибания движущимися потоками воздуха специальных профильных поверхностей. При этом снизится энергопотребление для выполнения транспортирующей функции во время эвакуации газопылевых выбросов, образующихся при работе технологических агрегатов промышленного производства, в том числе в области автомобилестроения.

Поэтому разработка конструктивно простых, надежных в эксплуатации, высокоэффективных с энергетической точки зрения систем газоотсоса и газоочистки, обладающими высокими технико-экономическими показателями, является актуальной научно-технической задачей, в полной мере остающейся неразрешенной до настоящего времени.

Анализ публикаций

В течение последних лет учеными было предложено много оригинальных методов активного воздействия на газовые потоки с целью обеспечения нужной траектории их движения для проведения операций очистки газовых смесей от мелких твердых частиц, которые

выносятся из технологических агрегатов в окружающую среду [1]. Среди известных методов особое место занимают те, в основу которых положены эффект Коанда и вихревое течение воздушных потоков [2–6].

Суть первого аэродинамического явления, исследование которого было связано с разработкой прототипа реактивного самолета румынским изобретателем Анри Коанда, заключается в притяжении струи газа, истекающего из сопла по касательной к стенке изогнутой поверхности, при условии, если ее кривизна образует с потоком не слишком острый угол, а также при возникновении в этой зоне пониженного давления.

Использование комбинированного вихря (вихря Рэнкина), теория течения воздушных потоков которого разрабатывалась такими выдающимися учеными, как Л. Эйлер, Д. Бернулли, Г. Гельмгольц, У. Кельвин, Г. Р. Кирхгоф, Л. Прандтль, А. Пуанкаре, в свою очередь позволяет создать в системе эффект торнадо, за счет чего повышается стабильность его траекторий, усиливается значение первого эффекта, т. е. проявляется эффект синергии [7]. При этом данной теорией производится учет влияния скорости, индуцированной замкнутым вихревым кольцом, на характеристики генерируемого потока, взаимодействующего с источником пылегазовых образований.

Как свидетельствуют результаты проведенных в стране и за рубежом исследований [8, 9], использование этих явлений позволяет обеспечить качественную эвакуацию газовых смесей из зоны образования с помощью специальных вентиляторов и вспомогательных устройств, формирующих потоки воздуха особой формы с большим транспортировочным эффектом при достаточно малых энергетических затратах.

Анализ патентной информации, полученной в процессе поиска решений в этой области и проведенный по классам МПК В22Д29/00, В08В15/00, F24F7/04, F24F7/08, А47L9/08, А47L5/14, показывает, что существующие системы вентиляции имеют ряд недостатков, например низкую энергоэффективность, невозможность плавного фокусирования в необходимых пределах общего воздушного потока, нерациональность и нестабильность его траекторий, что влечет к обратному току струй, образованию зон с их отсутствием или к недостаточной дальностью воздушной среды, взаимодействующей с источником пылегазовых образований. Установлено, что с целью повышения эффективности работы систем вентиляции вихревое течение воздушных потоков организуется благодаря разработке специальных профилей корпусов систем [4, 5].

Таким образом, анализ публикаций свидетельствует о том, что существующие системы вентиляции, как правило, обладают рядом вышеперечисленных недостатков, что предопределяет необходимость их дальнейшей модернизации и реконструкции в направлении повышения показателей работы за счет совершенствования структурной взаимосвязи входящих в их состав компонентов.

Среди наиболее перспективных для дальнейших исследований разработок в этой области следует признать известную универсальную конструкцию узла безопасного вентилятора, предназначенную для использования его в различных отраслях промышленности [10, 11].

Цель работы

Целью настоящего исследования является совершенствование конструкции узла эвакуации пылегазовых образований от источников образования для повышения его технико-экономических показателей, в частности расширения рабочей зоны, и создания устойчивого вихревого потока за счет разрешения задачи новой компоновки входящих в состав компонентов, находящихся в новой взаимосвязи, а также проверка правильности принятых технических решений на физической модели устройства.

Изложение основного материала исследования

На основании анализа вышеизложенного материала с целью устранения вышеперечисленных недостатков и обеспечения качественной локализации пылегазовых образований от их источников за счет рационализации и стабилизации траекторий исходного, а также индуцированного газозвдушного потока, предлагается конструкция, которая состоит из комбинации трех узлов безлопастных вентиляторов (рисунок 1) [12] (структурных единиц) 1, объединенных в одном корпусе 2 (рисунок 2).

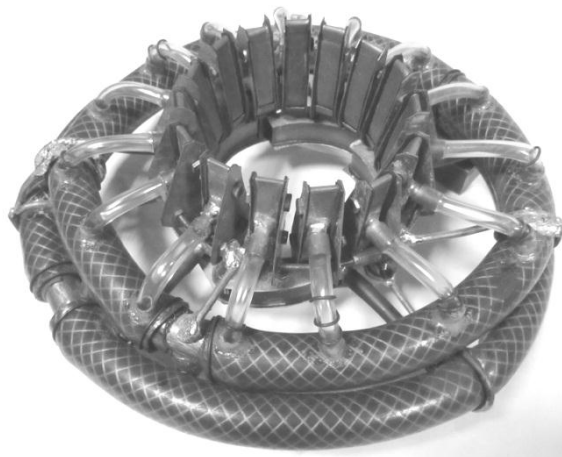


Рисунок 1 – Опытный образец узла безлопастного вентилятора

Принцип ее работы следующий. Каждая из структурных единиц, состоящая из подсистем вытяжки и завихрения [12], в зоне своей работы формирует мини-вихри, линии тока которых представляют собой вложенные спирали. В соответствии с положениями теории вихревого движения, они своими замкнутыми вихревыми кольцами индуцируют устойчивый газозвдушный поток заданной конфигурации. Двигаясь вниз (в сторону противоположную положительному направлению вертикальной оси) по внешней спирали, частица газа приближается к оси симметрии течения, при этом ее вертикальная и окружная компоненты поля скорости возрастают. Достигнув непроницаемой плоскости, частица переходит на внутреннюю спираль и начинает подниматься, удаляясь от плоскости, при этом ее вертикальная и окружная компоненты поля скорости убывают.

Движение газозвдушного потока является обратимым, в силу этого возможна противоположная картина движения. Таким образом, направление закрутки потока в узле при условии соответствующего конструктивного обеспечения может быть произвольным в силу исходного допущения об осесимметричности движения.

С целью проверки правильности принятых при разработке конструкции решений в соответствии с рисунком 2 была разработана физическая модель усовершенствованного узла безлопастного вентилятора в масштабе 1:48. При этом геометрические параметры его сегментов (сопел) назначались в соответствии с [13–15] таким образом, чтобы создавался максимально возможный массовый расход общего воздушного потока. В части подсистемы вытяжки узла безлопастного вентилятора предпочтительны, в соответствии с данными [16], следующие основные характеристики его элементов (рисунок 3): $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 25^\circ$, $\gamma = 45^\circ$, $\delta = 0,7$ мм, $B = 50$ мм, $d = 85\text{--}205$ мм. Элементы подсистемы завихрения (рисунок 4) газозвдушного потока разработаны в соответствии с правилами рационального конструирования, опираясь на вышеизложенные размеры, исходя из конструктивных соображений. Профили сегментов подсистемы вытяжки и завихрения (рисунок 5) выполнены в виде свернутой полосы металла толщиной 0,6 мм и шириной 10 мм и 15 мм.

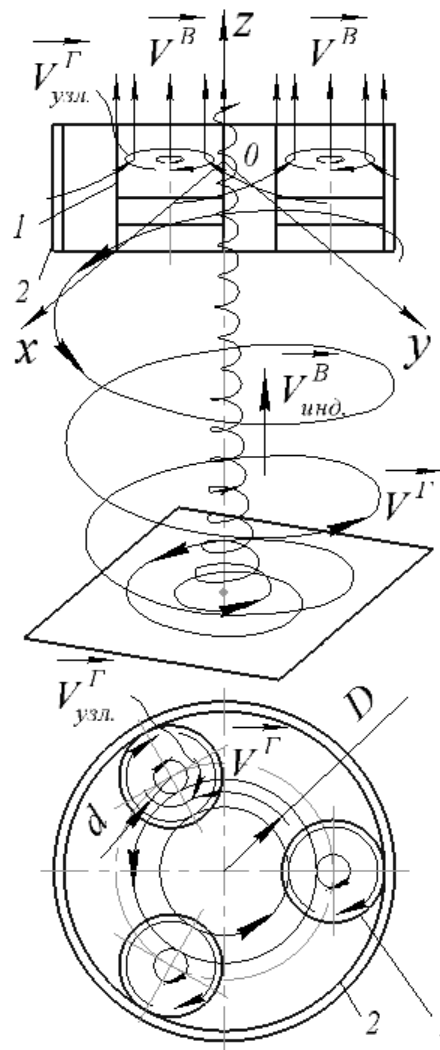
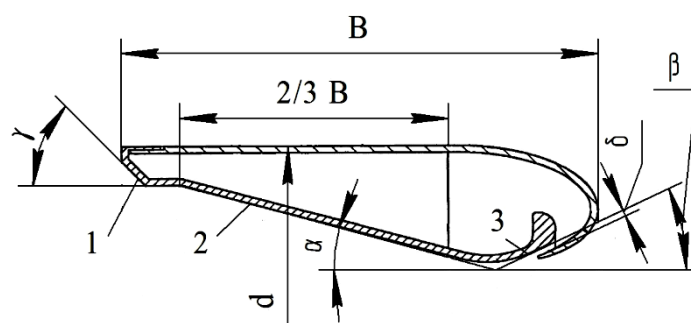
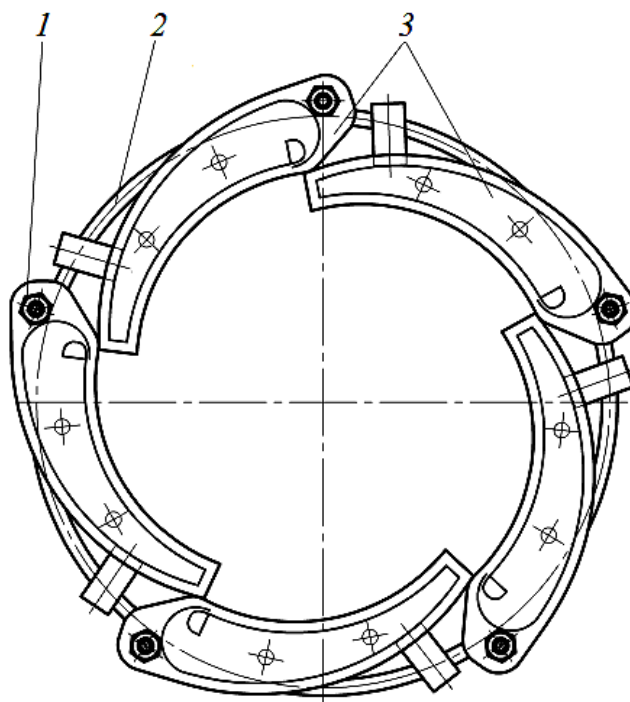


Рисунок 2 – Устройство усовершенствованной конструкции узла эвакуации пылегазовых образований от источников их образования



1 – скошенная поверхность; 2 – диффузор; 3 – поверхность Коанда

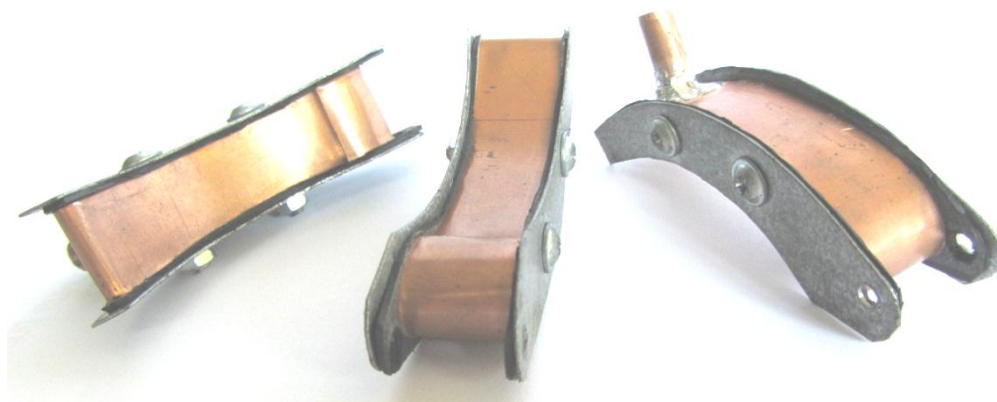
Рисунок 3 – Основные геометрические параметры профиля сегмента модели вентилятора



1 – гайка крепления сопла к кольцу; 2 – несущее кольцо; 3 – сегмент
 Рисунок 4 – Схема расположения сегментов подсистемы завихрения газовых потоков



а)



б)

Рисунок 5 – Физические модели сегментов подсистем вытяжки – а и завихрения
 узла безлопастного вентилятора – б

Герметичность торцов сопел достигнута установкой резиновых прокладок между профилем и накладками с последующей стяжкой всей конструкции винтами. Создание и поддержание избыточного для эффективной работы узла давления (150 кПа) в сегментах осуществляется подачей воздуха от компрессора, обеспечивающего расход $166 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$. Подачу дыма, моделирующего и визуализирующего возбуждаемые газовые потоки, осуществлены от генератора через форсунку с щелью, обеспечивающей равномерное распределение имитатора газа в пространстве под соплами узла.

Для контроля скорости газовых потоков в вертикальной и горизонтальной плоскостях, формирующихся в рабочей зоне узла безлопастного вентилятора, использовался установленный на специальной тележке тензометрический зонд, который перемещался вдоль лабораторного стенда. Зонд, схематично представленный на рисунке 6, состоит из плоского упругого элемента с наклеенными фольговыми тензодатчиками 3, сопротивлением 200 Ом каждый, помещенного в герметичный стеклянный баллон 2, верхняя часть которого жестко соединена с полый штангой 1. Датчики при включении в измерительный комплекс соединены по мостовой схеме. Один конец упругого элемента зажат, а другой соединен с рычагом 5, проходящим через отверстие в резиновом колпачке 4 и несущим диск 6 [17, 18]. Зонд позволяет преобразовать в электрический сигнал скоростной напор потока, пропорциональный квадрату его скорости и действующий на диск 6, размещаемый на удалении от сегмента узла. Для его регистрации тензорезисторный преобразователь работает в комплексе с четырехканальным усилителем переменного тока УТЧ 4-1 (ТУ 25.06.1377-82) и 12-разрядным многоканальным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) L-CARD с персональным компьютером.

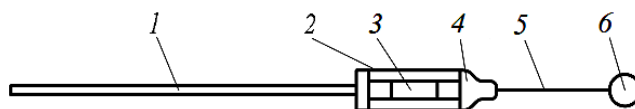


Рисунок 6 – Схема зонда для измерения скоростей потоков

С помощью тензометрического контрольно-измерительного комплекса была проведена фиксация тангенциальной и вертикальной компоненты скорости течения в вихре по его диаметру D в различных горизонтальных плоскостях z (рисунки 7, 8). Во время эксперимента проводилась видеосъемка картин формирования газовых потоков, возникающих в зоне размещения вентиляторной системы (рисунок 9).

Физическое моделирование узла безлопастного вентилятора усовершенствованной конструкции проводилось в соответствии с критериями подобия [17]. При этом было соблюдено геометрическое и динамическое подобие, что подтверждалось равенством критерия Фруда для натурального образца и его модели, который в свою очередь характеризовался соотношением сил инерции и сил тяжести:

$$Fr = \frac{v_n^2}{gd_n} = \frac{v_m^2}{gd_m},$$

где v – скорость движения среды;

g – ускорение силы тяжести;

d – характеристический размер (диаметр узла безлопастного вентилятора);

индекс « n » – натуральный образец;

индекс « m » – модель.

В соответствии с ним установлено значение масштабного множителя скорости

$$a_v = a_l^{0,5} = 6,93,$$

где a_l – множитель линейных размеров ($a_l = 48$).

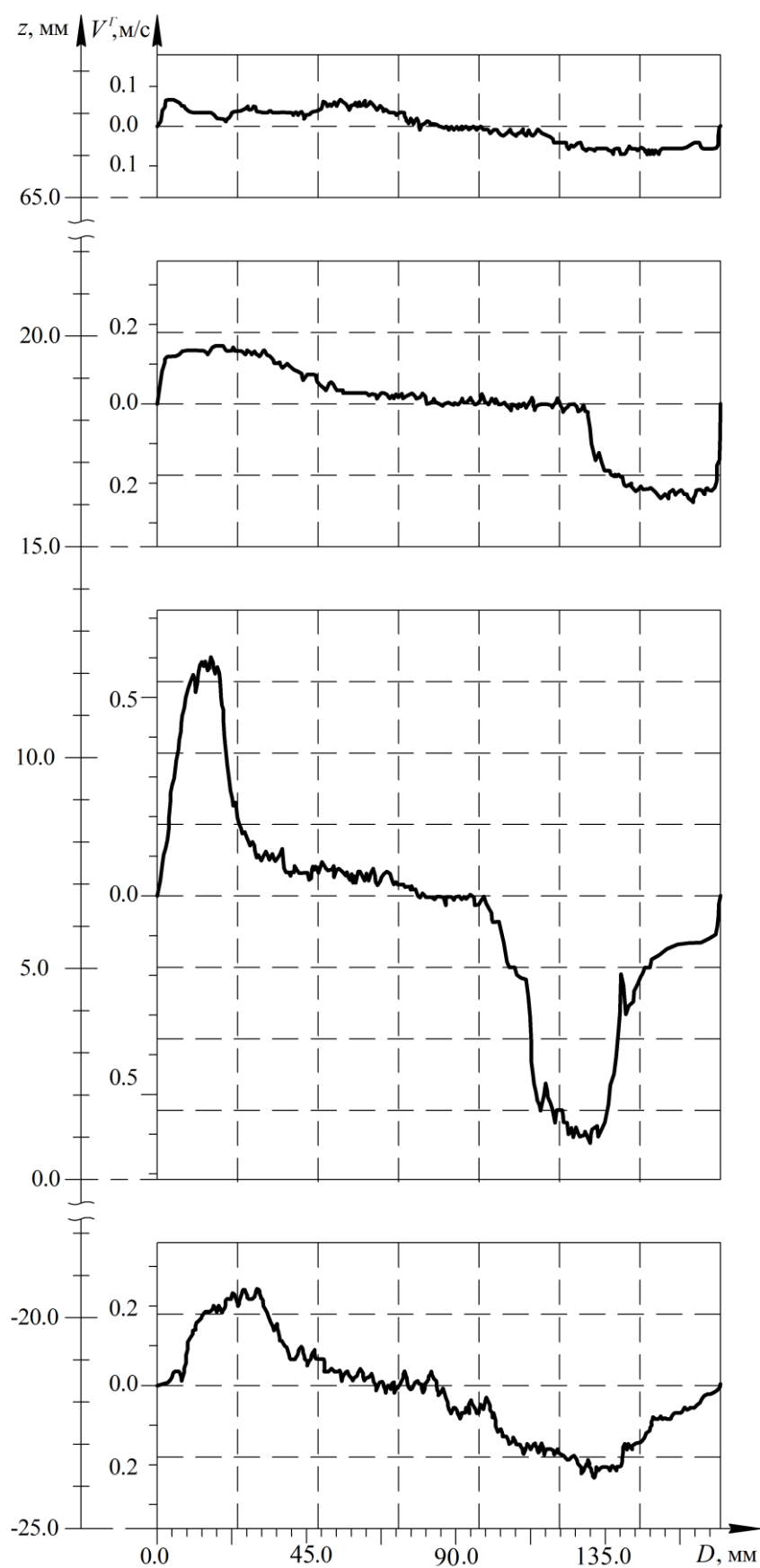


Рисунок 7 – Распределение тангенциальной компоненты скорости течения в вихре по его диаметру

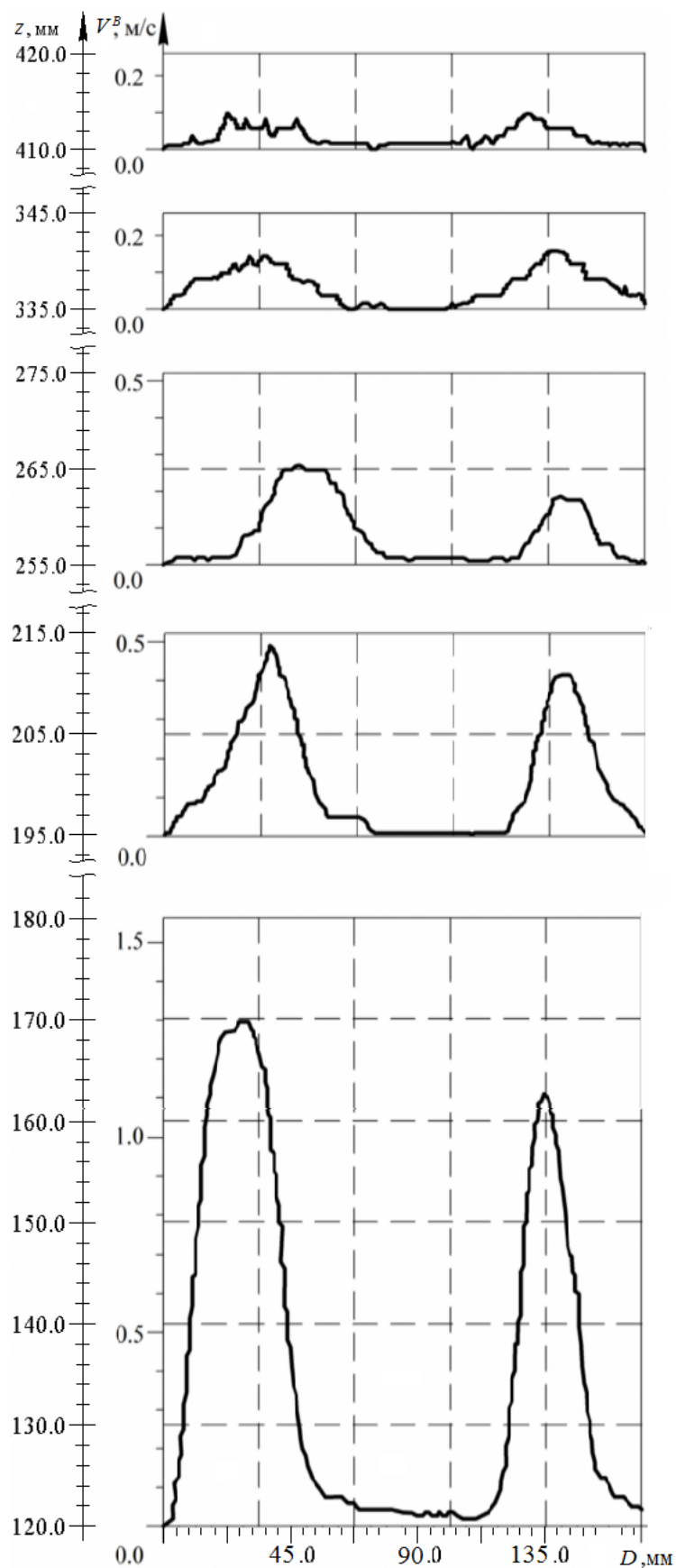


Рисунок 8 – Распределение вертикальной компоненты скорости течения
в вихре по его диаметру



Рисунок 9 – Характерные картины образования устойчивого вихря, генерируемого узлом безлопастного вентилятора

Данные экспериментальных исследований об осредненных значениях скоростей потоков позволили рассчитать объемные расходы газо-воздушных смесей, эвакуируемых при функционировании усовершенствованной конструкции узла безлопастного вентилятора. Отношение объемного расхода эвакуируемой смеси к объемному расходу воздуха, подаваемого компрессором к модели устройства, позволяет оценить энергетическую эффективность его работы. Указанное отношение принято считать коэффициентом «умножающего эффекта» [18]. Данный показатель достигает значения 7,5 крат при давлении во внутреннем объеме структурных элементов, равном 0,15 МПа.

Моделирование работы подтвердило работоспособность модернизированного узла безлопастного вентилятора, позволяющего сформировать устойчивый вихрь благодаря новой взаимосвязи компонентов и элементов. Его использование позволяет увеличивать суммарную зону действия устройства в осевом направлении, локализовать распространение пылегазовых образований от источника образования, а также сфокусировать их в системе вентиляции и рассеять в атмосфере.

Заключение

В ходе проведенных исследований предложено использование в качестве устройства удаления пылегазовых образований от источника их происхождения усовершенствованной конструкции узла безлопастного вентилятора. Использование новой взаимосвязи между компонентами устройства позволяет повысить эффективность их работы благодаря синергетическому эффекту.

Внедрение предлагаемых мероприятий позволит эффективно осуществлять эвакуацию пылегазовых образований от источника их происхождения, обеспечивая тем самым благоприятный микроклимат и санитарные условия рабочих мест.

Направлением дальнейших исследований следует считать изучение влияния масштабного фактора на эффективность работы усовершенствованной конструкции в промышленных условиях и оценку технико-экономических показателей.

Список литературы

1. Патент 2389907 Российская Федерация, МПК F04D29/44. Спиральный наддув воздуха : № 2007140869/06/ : заявл. 22.03.2006 : опубл. 20.05.2010 / Шпаковски З, Родунер К ; заявитель АББ ТУРБО СИСТЕМС АГ (СН). – 9 с.
2. А. с. 4716476 СССР, МПК E21F5/00. Установка для обеспыливания воздуха : № 358518 : заявл. 07.07.1989 : опубл. 15.07.1989 / Созонов А. Ф., Паничкина Л. Ф., Бекежанов Е. Б. ; заявитель Всесоюзный научно-исследовательский горно-металлургический институт цветных металлов. – 2 с.
3. Патент 98117425/12 Российская Федерация, МПК B01D45/06. Струйно-инерционный пылеуловитель : № 94003081/25 : заявл. 15.09.1998 : опубл. 20.11.2000 / Квашнин И. М., Зубарева О. Н., Каравайкин А. Н. [и др.] ; Пензенская государственная архитектурно-строительная академия. – 5 с.
4. Мысливец, Д. К. Использование высокоэффективного газоочистного оборудования в металлургической, цементной и других отраслях при новом строительстве и реконструкции / Д. К. Мысливец // Пылегазоочистка-2009 : материалы Второй Международной Межотраслевой конференции, 29–30 сентября 2009 г. – Москва : Интехэко, 2009. – С. 43–46.

5. Ткачёв, М. Ю. Использование энергии вихря для повышения эффективности работы вентиляционных устройств и систем / М. Ю. Ткачёв, Е. В. Ошовская // Донбасс будущего глазами молодых ученых : материалы научно-технической конференции, 21 ноября 2017 г. – Донецк : ДонНТУ, 2017. – С. 94–98.
6. Чудаков, А. В. Цифровые устройства пневмоники / А. В. Чудаков. – Москва : Энергия, 1971. – 112 с.
7. Ткачёв, М. Ю. Синергетический подход в разработке оборудования для непрерывной разливки стали / М. Ю. Ткачёв, Е. А. Понамарёва, В. А. Захаров // Донбасс будущего глазами молодых ученых : материалы научно-технической конференции, 20 ноября 2018 г. – Донецк : ДонНТУ, 2018. – С. 8–11.
8. Dragan, V. A New Mathematical Model for High Thickness Coanda Effect Wall Jets / V. Dragan // Review of the Air Force Academy. – 2013. – Issue 1(23). – P. 23–28.
9. Miozzi, M. Experimental Investigation of a Free-Surface Turbulent Jet With Coanda Effect / M. Miozzi, F. Lalli, G. P. Romano // Proc. of the 15th Int Symp on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics, 05-08 July 2010. – 2010. – 13 p.
10. Патент 2630443 Российская Федерация, МПК F24F 7/00, F04D 25/00, F04D 29/00. Узел безопасного вентилятора для эвакуации газопылевых выбросов из промышленных агрегатов : № 2016119782 : заявл. 23.05.2016 : опубл. 07.09.2017 / Смирнов Е. Н., Еронько С. П., Ткачёв М. Ю. [и др.] ; заявитель АББ ТУРБО СИСТЕМС АГ (СН). – 9 с.
11. Ткачёв, М. Ю. Универсальность узла безопасного вентилятора для эвакуации газопылевых выбросов из промышленных агрегатов в условиях металлургического производства / М. Ю. Ткачёв, М. Ю. Гришук // Донбасс будущего глазами молодых ученых : материалы научно-технической конференции, 20 ноября 2018 г., Донецк ; ДонНТУ, 2018. – С. 12–15.
12. Ткачёв, М. Ю. Обоснование применения безопасного вентилятора при разработке систем вентиляции паркингов / М. Ю. Ткачёв // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute. – 2021. – № 1(36). – С. 82–90.
13. Еронько, С. П. Моделирование газоотсоса от плавильных агрегатов с использованием безопасных вентиляторов / С. П. Еронько, М. Ю. Ткачёв, Б. И. Стародубцев // Вестник Института гражданской защиты Донбасса. – 2015. – № 3. – С. 15–19.
14. Еронько, С. П. Моделирование работы модернизированной системы газоотсоса кислородного конвертера с вращающимся корпусом / С. П. Еронько, М. Ю. Ткачёв, Б. И. Стародубцев // Вестник ДонНТУ. – 2017. – № 4. – С. 3–12.
15. Разработка конструкции и модельные исследования новой вентиляторной системы проветривания карьеров / С. П. Еронько, М. Ю. Ткачёв, Е. Н. Смирнов [и др.] // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». – 2018. – № 1. – С. 26–33.
16. Патент 2489651 Российская Федерация, МПК F24F7/06. Вентилятор : № 2011136075/12 : заявл. 10.03.2013 : опубл. 10.08.2013 / Б. Хаттон, А. Ниро, А. Нокс [и др.] : заявитель Дайсон Текнолоджи Лимитед. – 16 с.
17. Физическое моделирование технических систем / С. П. Еронько, Е. В. Ошовская, М. Ю. Ткачев [и др.]. – Донецк : ДОННТУ, 2020. – 259 с.
18. Еронько, С. П. Исследование на физической модели возможности использования принципа вентилятора Дайсона в системах газоотсоса металлургических агрегатов / С. П. Еронько, М. Ю. Ткачёв, А. С. Сосонкин [и др.] // Металлургические процессы и оборудование. – 2014. – № 2. – С. 51–59.

М. Ю. Ткачёв

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

Совершенствование конструкции узла безопасного вентилятора для эвакуации пылегазовых образований от источников их происхождения

Создание высокоэффективных с энергетической точки зрения систем для локализации и удаления пылегазовых образований от источников их происхождения является актуальной задачей, которая достигается за счет обгигания движущимися потоками воздуха профилей специальных конструкций. В настоящее время известны ряд систем, реализующих активное воздействие на газовые потоки с целью обеспечения нужной траектории их движения для проведения их последующей очистки. Наибольшую эффективность имеют системы, в основе принципа действия которых лежат эффекты Коанда и торнадо, за счет чего формируются потоки воздуха особой формы с большим транспортировочным эффектом. Известными недостатками существующих систем являются нерациональность воздушных потоков, обратный ток струй, а также образование зон с их отсутствием. Совершенствование конструкции узла безопасного вентилятора направлено на расширение его функциональных возможностей за счет новой структурной взаимосвязи входящих в его состав компонентов. Новая система эвакуации пылегазовых выбросов от источников их происхождения состоит из комбинации трех модернизированных узлов безопасных вентиляторов. За счет этой новой компоновки формируется устойчивый

вихрь, позволяющий качественно локализовать распространение пылегазовых образований от источников их происхождения. Физическое моделирование процесса эвакуации пылегазовых образований системой новой конструкции позволило сделать вывод о соответствии параметров полученного вихреподобного столба газов основным положениям теоретического описания вихря.

БЕЗОПАСНОЙ ВЕНТИЛЯТОР, ВЕНТИЛЯЦИЯ, ЭФФЕКТ КОАНДА, ВИХРЬ РЭНКИНА, ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ, ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА

M. Yu. Tkachev

***Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka
Improving the Design of the Bladeless Fan Assembly for Evacuation of the Dust and
Gas Formations from their Origin Sources***

From the energy point of view, the creation of highly efficient systems for the localization and removal of dust-and-gas formations from their origin sources is an urgent task, which is achieved due to moving air flows around the profiles of special designs. Currently, a number of systems implementing an active effect on the gas flows in order to provide the necessary trajectory of their movement for their subsequent cleaning are known. The most effective are the systems based on the Coanda and tornado effects, due to which the air flows of the special shape with a great transportation effect are formed. The known disadvantages of existing systems are the irrationality of air flows, the reverse flow of jets, as well as the formation of zones with their absence. Improving the design of the bladeless fan assembly is aimed at expanding its functionality due to the new structural relationship of its components. The new system for evacuation of the dust and gas emissions from their origin sources consists of the combination of 3 modernized units of bladeless fans. Due to this new arrangement, a stable vortex is formed, which makes it possible to qualitatively localize the spread of dust and gas formations from their sources. Physical modelling of the process of dust and gas formations evacuation by the system of a new design made it possible to conclude that the parameters of the obtained vortex-like column of gases correspond to the main provisions of the theoretical description of the vortex.

BLADELESS FAN, VENTILATION, COANDA EFFECT, RANKINE VORTEX, PERMISSIBLE CONCENTRATIONS, HARMFUL SUBSTANCES

Сведения об авторе:

М. Ю. Ткачёв

SPIN-код: 9855-0447

Телефон: +38 (071) 334-92-61

Эл. почта: mishel-tkachev@ya.ru

Статья поступила 11.02.2021

© М. Ю. Ткачёв, 2021

Рецензент: Е. П. Мельникова, д-р техн. наук, проф., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»