

Физическое моделирование функционирования безопасного вентилятора для систем газоотсоса плавильных агрегатов

Б. И. Стародубцев

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

Аннотация. Обозначены перспективы использования безопасных вентиляторов в системах газоотсоса сталеплавильных агрегатов и необходимость проведения комплексных исследований, связанных с обоснованием их скоростных и энергетических параметров. Описана методика и приведены результаты выполненного физического моделирования процесса функционирования вентилятора нового типа. С использованием специального зонда, снабженного тензорезисторным преобразователем, на плоской и объемной моделях безопасного вентилятора определены значения скоростей воздушных потоков на различном удалении от его сопел, а также оценены достигаемые при этом значения коэффициента «умножающего эффекта», характеризующего отношение объемного расхода эвакуируемой газовой смеси к объемному расходу рабочего воздуха, подаваемого компрессором в распределительную камеру насосной системы. Предполагаемой действенной мерой, способствующей увеличению развиваемого вентилятором расхода, может послужить установка в его сопловой части специальных завихрителей, вызывающих закручивание потока эвакуируемого газа.

Ключевые слова: газоочистка, вентилятор Дайсона, скорость газового потока, траектория.

Технологические процессы металлургического производства сопровождаются образованием большого количества газов и пыли, которые смешиваются и при отсутствии системы утилизации попадают в окружающую среду, в результате чего резко ухудшается экологическая ситуация в промышленных регионах. Для предотвращения загрязнения воздуха в районах размещения крупных предприятий необходима разработка и внедрение в производство передовых методов очистки попутных газов, которые бы обеспечили с большой энергетической эффективностью достижение требуемого результата. Наряду с традиционными системами газоотсоса и газоочистки, основанными на применении мощных дымососов и вентиляторов, в ближайшей перспективе найдут промышленное использование установки, в

которых направленная циркуляция газовой среды будет обеспечиваться путем создания зон пониженного давления за счет огибания движущимися потоками воздуха специальных профильных поверхностей [1, 3]. При этом ожидается снижение энергопотребления для выполнения транспортирующей функции во время эвакуации газопылевых выбросов, образующихся при работе технологических агрегатов металлургического производства. Поэтому исследования возможности применения подобных газодинамических эффектов для реализации методов очистки газовых смесей применительно к металлургическим агрегатам имеют важное научно-практическое значение с точки зрения улучшения показателей экономии энергоносителей и защиты от загрязнения окружающей среды.

Среди технических разработок последних лет должное место следует отдать безопасному вентилятору британского новатора Джеймса Дайсона, конструкция которого защищена несколькими патентами [4 - 7]. В основе системы лежит кольцо, сечение которого похоже на профиль самолётного крыла (рис. 1). На внутренней его поверхности по всему периметру

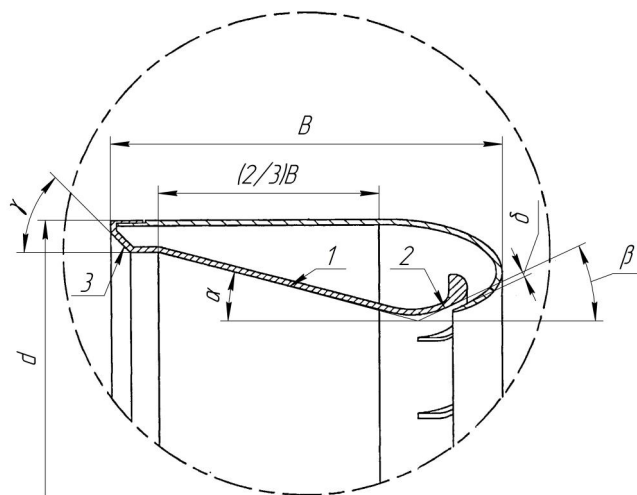


Рисунок 1 – Основные геометрические параметры профиля кольца ВД:
 $B=50$ мм – ширина кольца; $(2/3)B$ – ширина диффузора; d – диаметр кольца;
 $\delta=0,7$ мм – ширина щели; $\alpha=15^\circ$ – угол наклона поверхности 1 диффузора
 кольца к его оси;

расположена щель толщиной 0,5...5 мм (предпочтительно 1,3 мм). Воздушная турбина, размещенная в основании вентилятора, подает воздух во внутреннюю полость кольца, который через узкую щель выходит с огромной скоростью, плавно огибает внутренний аэродинамический профиль и напротив центра кольца создает область разрежения, вызывающую втягивание воздушной массы с периферии. Возбуждаемый при этом вторичный воздушный поток,

проходящий через центральное отверстие кольца со значительной скоростью, объединяется с первичным потоком, в результате чего формируется струя, выталкиваемая вперед из кольца, благодаря которой объем воздуха на выходе вентилятора увеличивается средним в 10...20 раз. Следует также отметить, что средством для создания потока воздуха через сопло вентилятора Дайсона (ВД) может быть не только турбина, приводимая в действие электродвигателем, но и другое устройство, например, компрессор. Данное обстоятельство позволяет выдвинуть предположение о возможности использования принципа работы ВД при создании систем очистки газопылевых промышленных выбросов.

Целью данной работы является экспериментальная проверка возможности применения безопасного вентилятора в работе систем эвакуации и очистки газов, образующихся в процессах металлургического производства.

Для проведения исследований был разработан лабораторный стенд, схема которого приведена на рис. 2. В его состав входят два одинаковых сопла 1, выполненных в виде фрагмента кольца ВД (рис. 1). При этом геометрические параметры "ячейки" (сопла) ВД выбирались таким образом, чтобы создавался максимально возможный массовый расход общего воздушного потока. Профиль 2 сопла 1 выполнен в виде свернутой полосы металла толщиной 0,6 мм и шириной 10 мм. Герметичность торцов сопел достигнута установкой резиновых прокладок 3 между профилем 2 и торцовыми накладками 4 с последующей стяжкой всей конструкции винтами 5 и 6. Сопла ("ячейки" ВД) закреплены на ползунках 7 с возможностью поворота относительно оси винтов 6. Ползунки 7 в свою очередь жестко связаны с зубчатыми рейками 8 и расположены в пазах 9 рамы 10 лабораторного стенда. Синхронизация перемещения сопел 1 относительно вертикальной оси осуществляется посредством установленного зубчатого колеса 11, одновременно находящегося в зацеплении с двумя зубчатыми рейками 8. Ползунки 7 с расположенными на них соплами 1 и зубчатые рейки 8 с синхронизирующим зубчатым колесом 11 монтируются на раме 10 лабораторного стенда, который устанавливается в специальную емкость 12 с торцовыми стенками 13, изготовленными из органического стекла.

Создание и поддержание избыточного давления (50 кПа) в соплах осуществляется подачей воздуха от компрессора в их внутреннюю полость при помощи пустотелых стяжных винтов 6 специальной конструкции. Винты 6 на участке профилей 2 сопел 1 имеют отверстия для нагнетания воздуха в их полости.

Подачу дыма, моделирующего и визуализирующего возбуждаемые газовые потоки, осуществляли от генератора через форсунку с щелью 14, обеспечивающей равномерное распределение имитатора газа в пространстве под соплами. При этом форсунка 14 имеет возможность изменять свое положение в вертикальной плоскости с помощью регулировочных винтов 15.

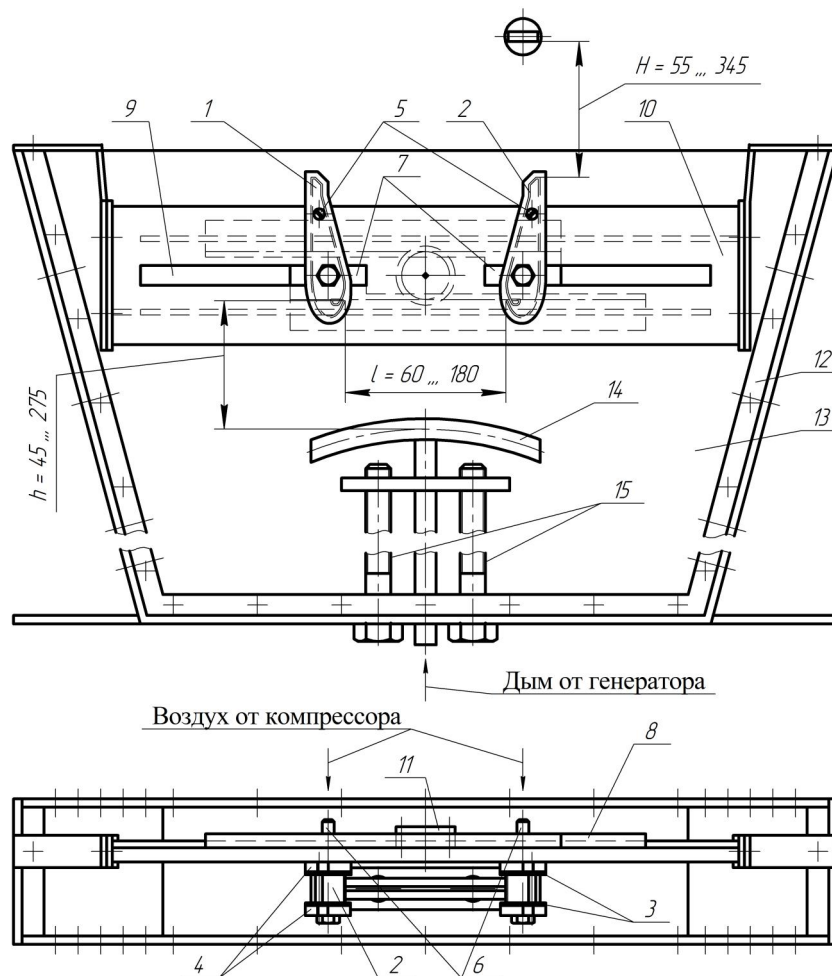


Рисунок 2 – Схема лабораторного стенда для исследования свойств и возможностей безлопастного вентилятора с соплами новой конструкции

Для контроля скорости газовых потоков, формирующихся на выходе плоской модели ВД, использовался измерительный зонд, снабженный тензорезисторным преобразователем, схематично представленный на рис. 3. Зонд состоит из плоского упругого элемента с наклеенными фольговыми тензодатчиками 5, помещенного в герметичный стеклянный баллон 3, верхняя часть которого жестко соединена с полый штангой 4. Один конец упругого элемента защемлен, а другой соединен с рычагом 1, проходящим через отверстие в резиновом колпачке 2 и несущим диск 6 [2].

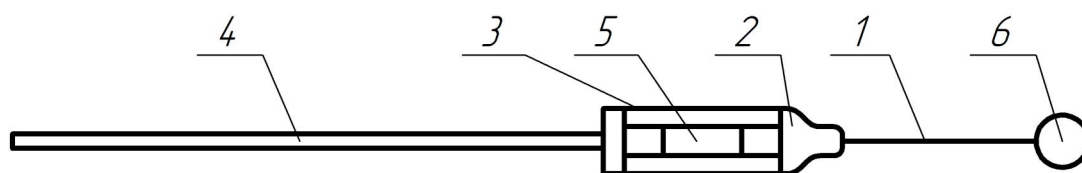


Рисунок 3 – Схема зонда для измерения скоростей потоков

Тензорезисторный преобразователь позволяет преобразовать в электрический сигнал скоростной напор потока, пропорциональный квадрату его скорости и действующий на диск 6, размещаемый на удалении H от сопла (рис. 2). Для его регистрации тензорезисторный преобразователь работает в комплексе с четырехканальным усилителем переменного тока УТЧ-1 и 12-ти разрядным многоканальным аналого-цифровым преобразователем L-CARD с персональным компьютером.

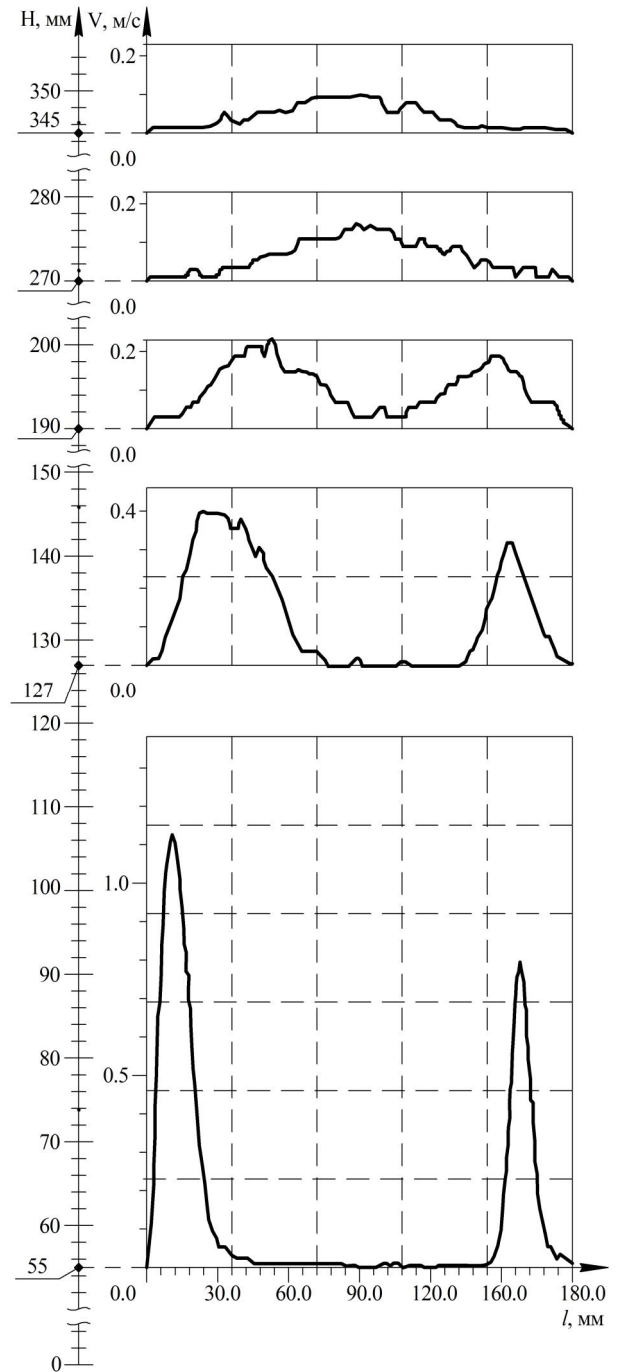
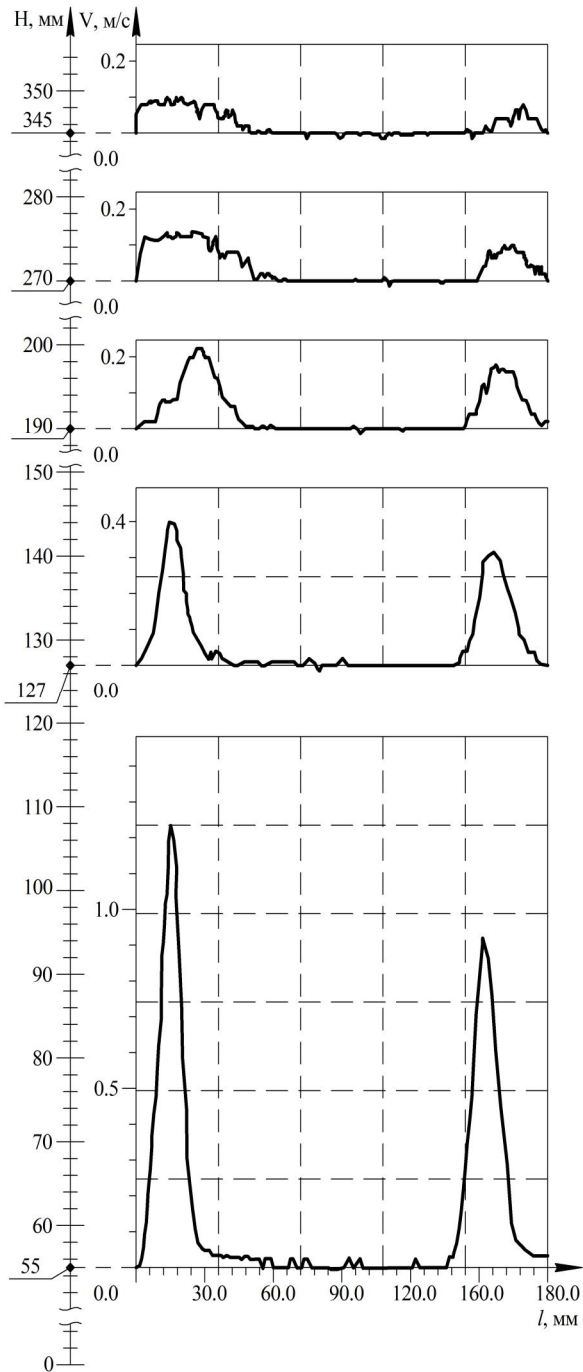
Физическое моделирование процесса эвакуации газов из зоны их образования проводилось при варьировании удаления h сопел с поверхностью Коанда от форсунки с щелевым отверстием в пределах 45...275 мм, расстояние l между самими соплами в пределах 60...180 мм и угла наклона поверхности диффузора сопла к вертикальной оси стенда в пределах $\alpha=\beta=-15...+25^\circ$. Во время эксперимента для каждой выбранной комбинации геометрических параметров (h , l , α) проводилась видеосъемка картин газовых потоков, возникающих в зоне размещения плоской модели ВД, и измерялись их скорости в горизонтальных плоскостях на различном удалении H по высоте от верхних торцов сопел вентиляторной системы, для чего зонд с тензорезисторным преобразователем закреплялся на кронштейне тележки, перемещаемой вдоль лабораторного стенда.

Характерные картины, отображающие направленность потоков газа, эвакуируемого из зоны его выделения при различных соотношениях параметров плоской модели ВД, и поля скоростей эвакуируемой газозвушной смеси, полученные в результате обработки контрольных измерений в горизонтальных плоскостях на различном удалении по высоте H от верхнего торца плоской модели, представлены на рис. 4.

Данные экспериментальных исследований об осредненных значениях скоростей газозвушных потоков и размерах их поперечных сечений позволили рассчитать объемные расходы газовых смесей, эвакуируемых при функционировании плоской модели ВД, для различных комбинаций его конструктивных параметров.



а



б

Рисунок 4 – Картина (а) и поля скоростей (б) воздушных потоков, формируемых плоской моделью ВД при $\alpha = -15^\circ$ (слева) и $\alpha = 5^\circ$ (справа)

($l=180$ мм, $H=55, 127, 190, 270$ и 345 мм)

Отношение объемного расхода эвакуируемой смеси к объемному расходу воздуха, подаваемого компрессором к соплам плоской модели вентилятора, позволяет оценить энергетическую эффективность его работы. Указанное отношение в специальной литературе принято считать коэффициентом "умножающего эффекта". Данные о значениях этого коэффициента, полученные в ходе эксперимента, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Скоростные и расходные характеристики работы плоской модели безопасного вентилятора

Условия моделирования процесса эвакуации газа			Скорость потоков, возбуждаемая соплами, м/с			Суммарный расход газовой смеси на выходе вентилятора, $\cdot 10^{-6}$, м ³ /с	Коэффициент "умножающего эффекта"
l , мм	α , °	Суммарный расход рабочего воздуха, $\cdot 10^{-6}$ м ³ /с	Левое сопло	Правое сопло	Осредненная скорость		
60	-15	166	2,08	1,77	1,93	796	4,78
	5		2,12	1,68	1,88	893	5,36
	25		2,08	2,08	2,06	631	3,8
120	-15		1,93	1,66	1,8	1122	6,73
	5		1,99	1,52	1,76	1167	7
	25		1,76	1,36	1,56	970	5,8
180	-15		2,05	1,48	1,77	1224	7,35
	5		1,93	1,39	1,66	978	5,87
	25		1,62	1,12	1,36	869	5,22

Полученные результаты модельных исследований использовались при разработке компьютерной 3-D модели системы эвакуации пылегазовых смесей (рис. 5). Принцип работы безопасного вентилятора может быть использован в системах вентиляции и газоочистки цехов металлургического производства в качестве альтернативы системам, включающим центробежные или радиальные

насосы. Повышение скорости совокупного воздушного потока в моделируемой системе достигается за счет уменьшения угла β между поверхностью Коанда и осью кольца ВД, т.к. при этом совокупный воздушный поток выпускается более

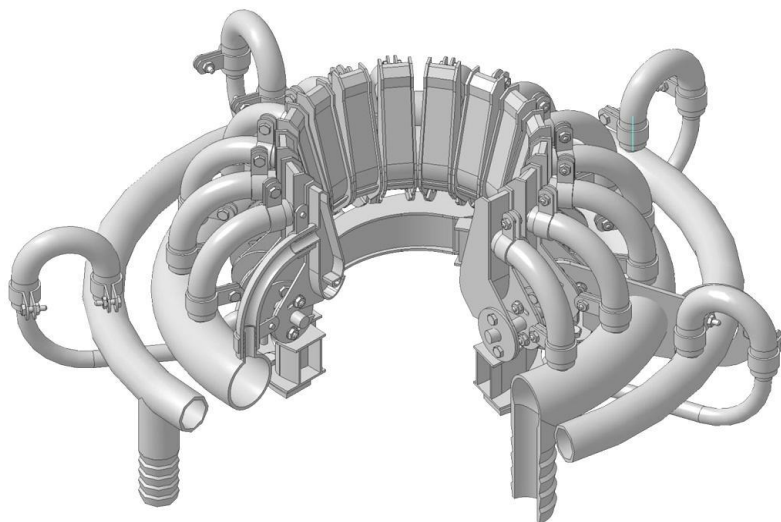


Рисунок 5 – Компьютерная 3D модель системы эвакуации пылегазовых смесей

фокусировано и направленно. При увеличении угла β растет удельный массовый расход воздушного потока, но скорость его уменьшается. Экспериментальные исследования в данном направлении следует продолжить на объемных моделях.

Библиографический список

1. Dragan V. A new mathematical model for high thickness Coanda effect wall jets / Review of the Air Force Academy. – Bucharest (Romania): Politehnica University of Bucharest. – 2013, Issue 1 (23). – P. 23-28.
2. Еронец С.П., Быковских С.В. Физическое моделирование процессов внепечной обработки и разлива стали. – К.: Техника, 1998. – 136 с.
3. Miozzi M., Lalli F., Romano G.P. Experimental investigation of a free-surface turbulent jet with Coanda effect. Proc. of the 15th Int Symp on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics July 05-08. Lisbon (Portugal), 2010. – 13 p.
4. Патент 2458254 РФ, F04D25/08. Вентилятор / П.Д. Гэммак, Ф. Николас, К.Д. Симмондз; Дайсон Текнолоджи Лимитед (GB); №2010112706/06, заявлено 10.10.2011; опубл. 10.08.2012.
5. Патент 2460904 РФ, F04D25/08, F04D29/60. Вентилятор в сборе / Т. Кроуфорд, К. Осборн, К. Симмондз и др.; Дайсон Текнолоджи Лимитед (GB); №2011134489/06, заявлено 18.02.2010; опубл. 10.09.2012.
6. Патент 2484383 РФ, F24F1/02. Вентилятор / Ф. Николас, К. Симмондз; Дайсон Текнолоджи Лимитед (GB); №2011128308/12, заявлено 27.01.2013; опубл. 10.06.2013.

7. Патент 2489651 РФ, F24F7/06. Вентилятор / Б. Хаттон, А. Ниро, А. Нокс, И. Бро; Дайсон Текнолоджи Лимитед; №2011136075/12, заявлено 10.03.2013; опубл. 10.08.2013.