

К. ф.-м. н. **М. С. Грицкевич**<sup>1</sup>, д. т. н. **К. И. Логачёв**<sup>2</sup> (✉), д. т. н. **О. А. Аверкова**<sup>2</sup>,  
**В. А. Ткаченко**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», г. Белгород, Россия

УДК 533.6:628.5

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЫЛЕВОЗДУШНОГО ТЕЧЕНИЯ ВБЛИЗИ КРУГЛОГО ОТСОСА, ЭКРАНИРОВАННОГО КОЛЬЦЕВОЙ ЗАКРУЧЕННОЙ СТРУЕЙ. Часть 1. Воздушно-струйные течения**

Рассмотрен метод улавливания загрязняющих веществ с помощью местной вытяжной вентиляции, элементом которой является местный отсос. Исследовано влияние соотношения геометрических размеров отсоса и кольцевого отверстия, расходов всасываемого и приточного воздуха как на дальность захвата отсоса, так и на снижение пылеуноса в местных отсосах закрытого типа. Рассмотрены местные отсосы в неограниченном, полуограниченном и ограниченном пространстве.

**Ключевые слова:** местная вытяжная вентиляция, вихревой отсос, распределение скоростей, пылевые частицы, дальность действия отсоса, аспирация.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Применение местной вытяжной вентиляции — наиболее надежный и эффективный способ улавливания и локализации пылегазовых выбросов [1–20]. Для повышения эффективности улавливания местными отсосами открытого типа загрязняющих веществ необходимо повысить диапазон их захвата [1–18]. Для местных отсосов закрытого типа — аспирационных укрытий, наоборот, снизить пылеунос в аспирационную сеть [7, 16, 19, 20]. За счет воздушно-струйного экранирования или активирования можно существенно повысить диапазон захвата местных отсосов открытого типа. Воздушно-струйное экранирование (активирование) является одним из активно развиваемых способов повышения эффективности местных отсосов. В статье [1] рассмотрено активирование местного отсоса от ванны приточной воздушной струей и определена необходимая высота отсоса. Аналогичный подход представлен в работе [2]. Воздушно-струйную завесу применяли для повышения эффективности улавливания дымовых газов местным отсосом полузакрытого типа [3] и местного отсоса для сварочных работ [4]. Определено влияние угла подачи струи на дальность захвата отсоса при экранировании щелевидного отсоса

наклонной воздушной струей, истекающей из его стенок [5]. Экранирование щелевого отсоса приточной струей может повысить диапазон его захвата в 2–3 раза [6]. Исследовано аналогичное экранирование круглых всасывающих зонтов коаксиально расположенной кольцевой приточной струей [7–9]. Диапазон действия вытяжного зонта можно увеличить путем использования закрученной воздушной струи и созданием торнадо [10–18]. Такой восходящий вихревой поток создается четырьмя компактными струями [10, 11]. Для этого используют разомкнутую закрученную струю [12–17]. Вихревой поток создается при помощи ребристого вращающегося диска, установленного на входе во всасывающее отверстие [18]. Снижение пылеуноса в закрытых местных отсосах также можно достичь организацией вихревого потока, препятствующего попаданию пылевых частиц в аспирационный патрубок, что позволяет использовать укрытие как первую ступень очистки воздуха от пыли [7, 16, 19, 20].

Цель работы — численное моделирование отсоса закрученной кольцевой струей в неограниченном, полуограниченном и замкнутом пространстве для определения режимно-технических параметров, повышающих эффективность систем обеспыливающей вентиляции.

За основу разрабатываемой математической модели взяты уравнения Рейнольдса, замкнутые при помощи двух моделей турбулентности: переноса сдвиговых напряжений (Shear Stress Transport, или SST) с поправкой на кривизну и вращение (Curvature Correction, или CC). Все



К. И. Логачёв  
E-mail: kilogachev@mail.ru

представленные расчеты выполнены с использованием кода общего назначения ANSYS-CFX.

### Исследование дальнобойности вытяжного устройства при его расположении в открытом пространстве

В данном разделе производится исследование влияния конфигурации вытяжного устройства на его дальнобойность в случае расположения в открытом пространстве. Постановка задачи показана на рис. 1. На входе в кольцевой канал задают осевую ( $U_0$ ) и окружную ( $W_0$ ) скорости, соответствующие расходу  $Q_0$  и закрутке  $S_0$ . На выходе из центрального канала задают расход  $Q_s/Q_0 = 0,5$  и  $1,0$ , при этом рассматривают две конфигурации с  $R_s/R_0 = 0,23$  и  $0,46$ . На выходе из расчетной области задают атмосферное давление.

Число Рейнольдса  $Re = D_0 \cdot U_0 / \nu = 15000$ , где  $D_0$  — внешний радиус кольцевого канала,  $D_0 = 2R_0$ ;  $U_0$  — среднерасходная скорость в кольцевом канале;  $\nu$  — кинематическая вязкость среды. Задавали различные значения закрутки  $S_0 = 0, 0,334, 0,5, 0,556, 0,904$ , величина которой имеет следующее выражение:

$$S_0 = \frac{\int_{0,65R_0}^{R_0} \rho \cdot U \cdot W \cdot r^2 \cdot dr}{R_0 \cdot \int_{0,65R_0}^{R_0} \rho \cdot U^2 \cdot r \cdot dr}$$

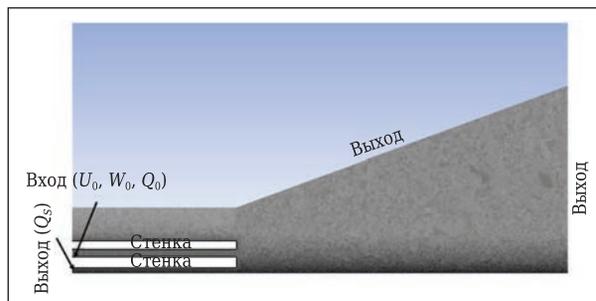


Рис. 1. Постановка задачи для вытяжного устройства в открытом пространстве

где  $r$  — радиальная координата;  $\rho$  — плотность газа;  $U$  и  $W$  — осевая и окружная компоненты скорости соответственно.

На рис. 2 показаны поля осевой компоненты скорости ( $U/U_0$ ) для соотношений расходов  $Q_s/Q_0 = 0,5$  и  $Q_s/Q_0 = 1,0$  в случае соотношения диаметров  $D_s/D_0 = 0,23$  и  $D_s/D_0 = 0,46$ . В случае отсутствия экранирования для обоих рассмотренных расходов происходит равномерный забор воздуха во всей расчетной области со сравнительно небольшой интенсивностью. В случае наличия экранирования увеличение закрутки приводит к увеличению области обратных токов и их интенсивности для всех рассмотренных конфигураций.

Сравнение различных режимов работы вытяжного устройства показало (см. рис. 2), что

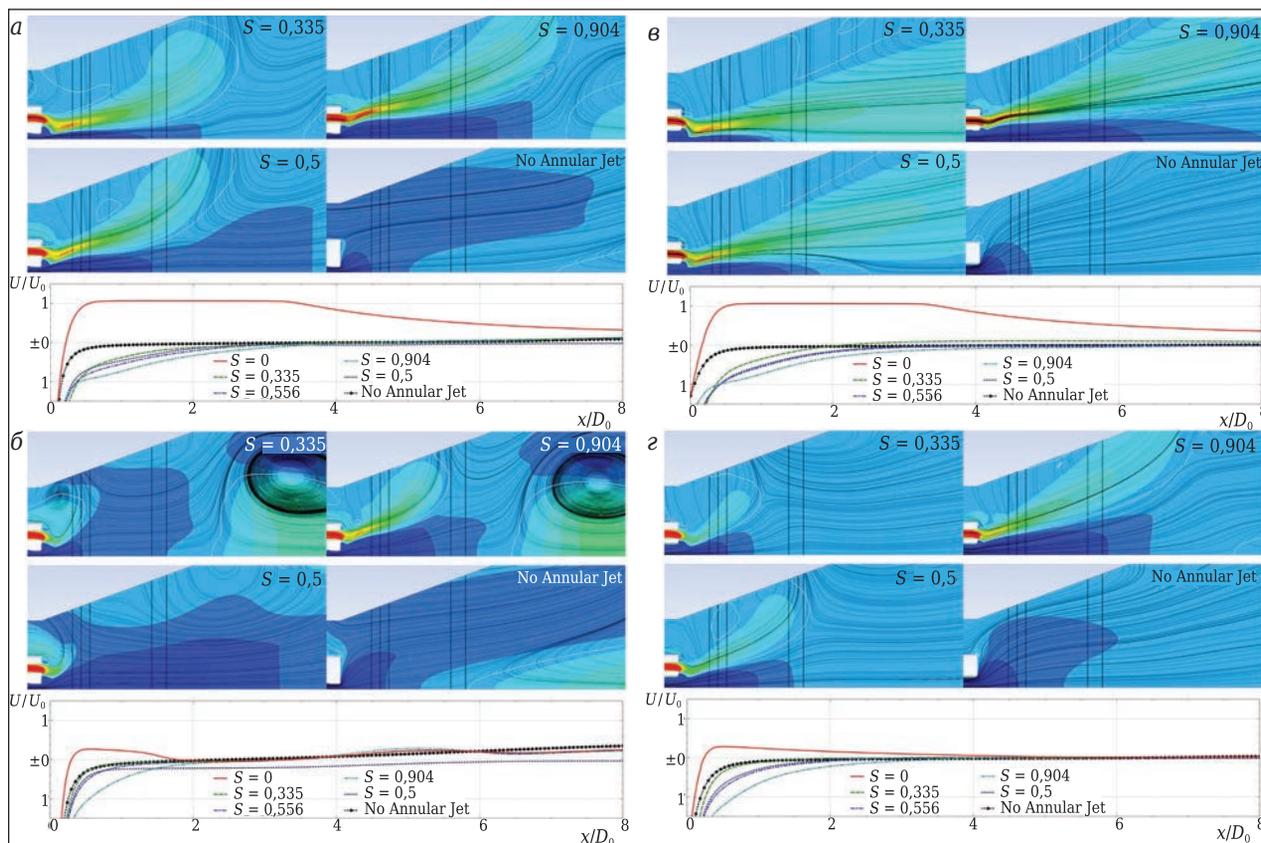


Рис. 2. Сравнение полей скорости, линии тока и скорости на оси для различных закруток с конфигурацией без закрутки: а —  $Q_s/Q_0 = 0,5$ ,  $R_s/R_0 = 0,23$ ; б —  $Q_s/Q_0 = 1,0$ ,  $R_s/R_0 = 0,23$ ; в —  $Q_s/Q_0 = 0,5$ ,  $R_s/R_0 = 0,46$ ; г —  $Q_s/Q_0 = 1,0$ ,  $R_s/R_0 = 0,46$

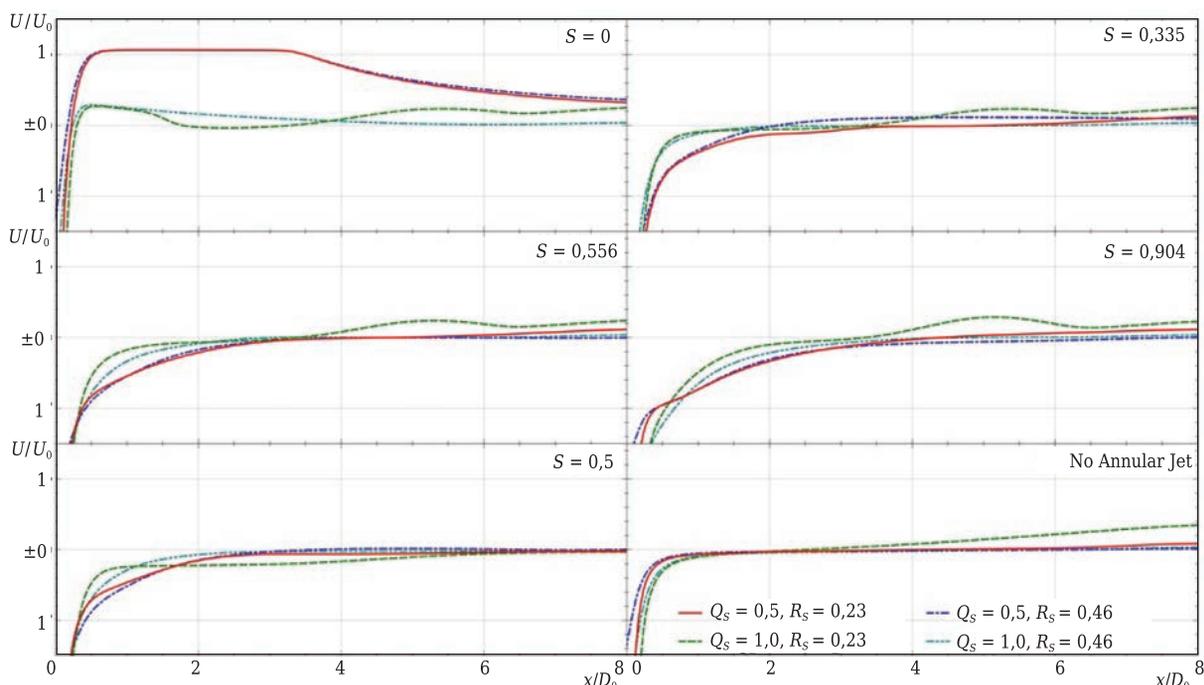


Рис. 3. Сравнение осевых скоростей для различных режимов течения и конфигураций центрального канала

для всех рассмотренных конфигураций наиболее интенсивные обратные токи возникают при  $S_0 = 0,904$  (по сравнению со случаем забора газа из рассматриваемой области без экранирования вытяжного канала дальнобойность увеличивается до 4 раз), при этом использование экранирования закрученной струей позволяет заметно улучшить эксплуатационные характеристики вытяжного устройства для всех рассмотренных закруток.

Аналогичные выводы можно сделать на основе анализа осевых распределений скорости для различных конфигураций вытяжного устройства (рис. 3). Так, для  $S_0 = 0$  обратные токи присутствуют только на сравнительно небольшом удалении от вытяжного устройства

( $X/D_0 < 0,1$ ). Несколько лучшие результаты получены при  $S_0 = 0,5$  и в случае конфигурации вытяжного устройства без экранирования, при этом для данных режимов интенсивность обратных токов лишь незначительно зависит от соотношения расходов  $Q_s/Q_0$ .

Установлено, что экранирование круглого вытяжного канала кольцевой закрученной струей позволяет значительно увеличить дальнобойность и интенсивность обратных токов для всех рассмотренных соотношений диаметров и расходов вытяжного и кольцевого канала.

\* \* \*

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10025).

#### Библиографический список

1. **Gonzalez, E.** Influence of exhaust hood geometry on the capture efficiency of lateral exhaust and push-pull ventilation systems in surface treatment tanks / *E. Gonzalez, F. Marzal, A. Minana, M. Doval* // *Environ. Prog.* — 2008. — Vol. 27, № 3. — P. 405–411. DOI: 10.1002/ep.10287
2. **Kulmala, I.** Local ventilation solution for large, warm emission sources / *I. Kulmala, P. Hynynen, I. Welling* [et al.] // *Ann. Occup. Hyg.* — 2007. — Vol. 51, № 1. — P. 35–43. DOI: 10.1093/annhyg/mel049
3. **Chern, M. J.** Numerical investigation push-pull and exhaust of turbulent diffusion in fume cupboards / *M. J. Chern, W. Y. Cheng* // *Ann. Occup. Hyg.* — 2007. — Vol. 51, № 6. — P. 517–531. DOI: 10.1093/annhyg/mem031
4. **Iwasaki, T.** Some engineering countermeasures to reduce exposure to welding fumes and gases avoiding occurrence of blow holes in welded material / *T. Iwasaki,*

5. **Fujishiro, Y. Kubota** [et al.] // *Industrial Health.* — 2005. — № 43. — P. 351–357. DOI: 10.2486/indhealth.43.351
6. **Wen, X.** The numerical modelling of a two-dimensional local exhaust system associated with an inclined jet flow / *X. Wen, D. B. Ingham, B. Fletcher* // *J. Eng. Math.* — 2002. — № 43. — P. 367–384. DOI: 10.1023/A:1020328305459
7. **Kulmala, I.** Experimental validation of potential and turbulent flow models for a two-dimensional jet enhanced exhaust hood / *I. Kulmala* // *AIHAJ.* — 2000. — № 61. — P. 183–191. DOI: 10.1080/15298660008984527
8. **Logachev, I. N.** Local exhaust ventilation / *I. N. Logachev, K. I. Logachev, O. A. Averkova* // *Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions*, CRC Press, 2015.
9. **Hunt, G. R.** Long range exhaustion — a mathematical model for the axisymmetric air flow of a local exhaust ventilation hood assisted by a turbulent radial jet / *G. R.*

- Hunt, D. B. Ingham // Ann. occq. Hyg. — 1996. — Vol. 40, № 2. — P. 171–196. DOI: 10.1016/0003-4878(95)00065-8
9. Saunders, C. J. Jet enhanced local exhaust ventilation / C. J. Saunders, B. Fletcher // Ann. occup. Hyg. — 1993. — Vol. 37, № 1. — P. 15–24. DOI: 10.1093/annhyg/37.1.15.
10. Cao, Z. Study of the vortex principle for improving the efficiency of an exhaust ventilation system / Z. Cao, Y. Wang, H. Zhu, M. Duan // Energy and Buildings. — 2017. — № 142. — P. 39–48. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.03.007
11. Кузьмин, Л. В. Вихревая вентиляция, организованная четырьмя компактными струями / Л. В. Кузьмин, А. М. Попова, А. С. Гуськов, Л. С. Дмитриева // Водоснабжение и санитарная техника. — 1991. — № 2. — С. 20–22.
12. Penot, F. Experimental study of non-isothermal diverging swirling and non-swirling annular jets with central aspiration / F. Penot, M. D. Pavlović // International Journal of Ventilation. — 2010. — Vol. 8, № 4. — P. 347–357. DOI: 10.1080/14733315.2010.11683858.
13. Spotar, S. Y. Focusing of the flow capture for local exhaust ventilation systems / S. Y. Spotar, A. L. Sorokin // American Journal of Applied Sciences. — 2010. — Vol. 7, № 6. — P. 732–738. DOI: 10.3844/ajassp.2010.732.738.
14. Ивенский, В. Г. Использование воздушных вихрей для активирования открытых местных отсосов ; сб. НС «Теплоснабжение и вентиляция агропромышленного комплекса» / В. Г. Ивенский. — Ростов-на-Дону : РИСИ, 1988. — С. 85–92.
15. Зайцев, О. Н. Системы локализации нестационарных тепловых источников на основе аэродинамики закрученных потоков : монография / О. Н. Зайцев, С. Л. Донченко, В. В. Витюков. — Одесса : ТЕС, 2006. — 181 с.
16. Ивенский В. Г. Совершенствование систем аспирации на основе использования вихревого эффекта : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Ростов на Дону, 1991. — 19 с.
17. Wang, P. F. Characteristics study of the swirl air curtain exhaust hood / P. F. Wang, T. Feng, R. H. Liu // 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (ICBBE 2010).
18. Lee, S. M. A new local ventilation system using a vortex flow generated with a finned rotating annular disk / S. M. Lee, J. W. Lee // Winter Meeting of the American-Society-of-Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE TRANSACTIONS. — 2005. — Vol. 111, Pt 1. — P. 149–158.
19. Гольцов, А. Б. Моделирование пылевоздушных течений в аспирируемом укрытии / А. Б. Гольцов, К. И. Логачев, О. А. Аверкова // Новые огнеупоры. — 2016. — № 6. — С. 61–66.
- Gol'tsov, A. B. Modeling dust and air flow within an aspirated shelter / A. B. Gol'tsov, K. I. Logachev, O. A. Averkova // Refract. Ind. Ceram. — 2016. — Vol. 57, № 3. — P. 325–331.
20. Аверкова, О. А. Перспективы применения цилиндра-отсоса при аспирации перегрузочных узлов / О. А. Аверкова, А. Б. Гольцов, В. А. Здесенко [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. — 2017. — № 2. — С. 154–161. ■

Получено 22.01.18

© М. С. Грицкевич, К. И. Логачёв,  
О. А. Аверкова, В. А. Ткаченко, 2018 г.

#### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**COMPOSITES EUROPE 2018** — европейская выставка и форум по композиционным материалам, технологиям их производства и применения

6–8 ноября 2018 г.  
Германия, г. Штутгарт, Messe Stuttgart

**Тематика:**

- сырьевые материалы (каучуки, добавки, модификаторы, наполнители)
- промежуточная продукция (листовой формовочный материал, стекло, наполненные премиксы, препреги, грануляты)
- полуфабрикаты (профили, трубы, отливки, плиты)
- технологии и оборудование (для литья и формовки под давлением, компрессионного, центробежного и др., ламинирования, намотки, прикатки)
- услуги (программного обеспечения, новых разработок и т.д.)

[www.expoamar.ru](http://www.expoamar.ru)

**COMPOSITES EUROPE**