

DOI: 10.12737/24499

Аверкова О.А., д-р техн. наук, проф.,  
Гольцов А.Б., канд. техн. наук, доц.,  
Здесенко В.А., асп.,  
Киреев В.М., канд. техн. наук, доц.,  
Логачев К.И., д-р техн. наук, проф.,  
Ходаков И.В., канд. техн. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИЛИНДРА-ОТСОСА ПРИ АСПИРАЦИИ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ УЗЛОВ\*

kilogachev@mail.ru

В статье приведены результаты ряда натурных и вычислительных экспериментов по исследованию поля скоростей вблизи вращающегося цилиндра-отсоса. Произведено сравнение расчетных и экспериментальных данных. Обсуждаются перспективы использования вращающегося цилиндра-отсоса в системах аспирации.

**Ключевые слова:** натурный эксперимент, вычислительный эксперимент, аспирация, вращающийся цилиндр-отсос.

**Введение.** Процессы производства переработки сыпучих материалов сопряжены с выделением пыли в воздух рабочей зоны. Современные системы обеспыливающей вентиляции способны эффективно локализовать данные пылевыведения. Но, не смотря на это, данные системы требуют высоких капитальных и эксплуатационных затрат. Соответственно перспективы их дальнейшего совершенствования, направленного на снижения энергозатрат являются актуальными и сегодня.

Одним из источников пылевыведения на предприятиях различных отраслей промышленности является конвейерная перегрузка. Доля конвейерного транспорта на данных предприятиях достаточно высока. Различными исследователями, учеными проведено множество исследований направленных на совершенствование систем обеспыливания [1–12], выявлены основные закономерности формирования пылевых потоков [6–10], создано множество конструкций укрытий [6, 9]. Одним из перспективных направлений на наш взгляд является применение в укрытия цилиндра-отсоса.

**Основная часть.** Вращение цилиндра отсоса как показали ряд исследований [6, 12] приводит к созданию устойчивого управляемого вихря, за которого под воздействием центробежных частицы пыли не попадают в аспирационный всасывающий канал и осаждаются в полости укрытия. В тоже время можно говорить и о проблемах применения данного устройства: усложненная техническая конструкция с наличием вращающихся деталей; образование избыточного давления в полости укрытия за счет вращения цилиндра-отсоса; отсутствие лабораторных и

полупромышленных испытаний данного устройства.

Основной целью нашего исследования является попытка выявить перспективы применения цилиндра-отсоса на основании экспериментальных исследований в лабораторных условиях. Нами уже были проведены численные исследования, входе которых были получены противоречивые данные, выявлены основные факторы влияющие на эффективность работы отсоса. Проведенные исследования позволяют нам говорить о существовании определенных условий, при которых создается устойчивое осаждение пыли в укрытии. Для достижения цели нашей работы с учетом результатов проведенных исследований [12] сформулированы следующие задачи:

- создать лабораторную установку вращающегося цилиндра-отсоса;
- исследовать поле скоростей воздуха в спектре действия цилиндра-отсоса;
- установить согласованность вычислительного и натурного экспериментов;
- оценить влияние, выявленных в предыдущих исследованиях факторов, на эффективную закрутку воздушного потока;
- установить целесообразность создания полупромышленного испытательного стенда для проведения дальнейших исследований и возможности реализации его в промышленных условиях.

На основании поставленных перед нами задач нами была создана лабораторная установка, которая представлена на рис. 1–2. Работа которой осуществляется следующим образом. Побудитель тяги 1 создает устойчивое движение воздушной массы через щель цилиндра-отсоса 2 и

далее по трубопроводам 3. В свою очередь цилиндр-отсос вращается за счет работы электродвигателя 4. В ходе эксперимента осуществляется регулирование следующих параметров: расход отсасываемого воздуха  $Q$  (10–50 м<sup>3</sup>/час), частота вращения цилиндра отсоса  $n$  (1000–

2000 об/мин). В качестве измеряемой величины была принята скорость  $V_z$  в различных точках относительно цилиндра-отсоса. Ниже в таблице 1 представлены уровни варьирования факторов эксперимента, а на рис. 5 представлены графики результатов измерения скорости  $V_z$ .



Рис. 1. Исследовательский стенд вращающегося цилиндра-отсоса

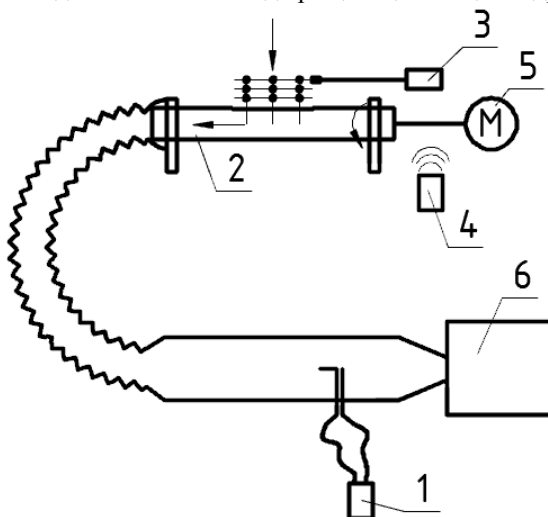


Рис. 2. Схема лабораторной установки: 1 – дифференциальный манометр Testo, 2 – цилиндр отсос; 3 – термоанемометр Testo, 4 – тахометр; 5 – электропривод; 6 – пылесос

Ряд работ по исследованию поля скоростей вблизи вращающегося цилиндра-отсоса выполнены численными методами [6, 12]. Поэтому одной из задач стоявшей перед нами являлось сравнение адекватности результатов вычислительных экспериментов. Для этого параллельно с вычислительными исследованиями были проведены лабораторные исследования в приложе-

нии COSMOSFlowWorks для программного обеспечения SolidWorks. Была создана модель цилиндра-отсоса (рис. 3), на основании которой были проведены аналогичные лабораторным исследования. Данная модель представляет собой открытое пространство с вращающимся в центре цилиндром-отсосом с размерами указанными на рис. 4.

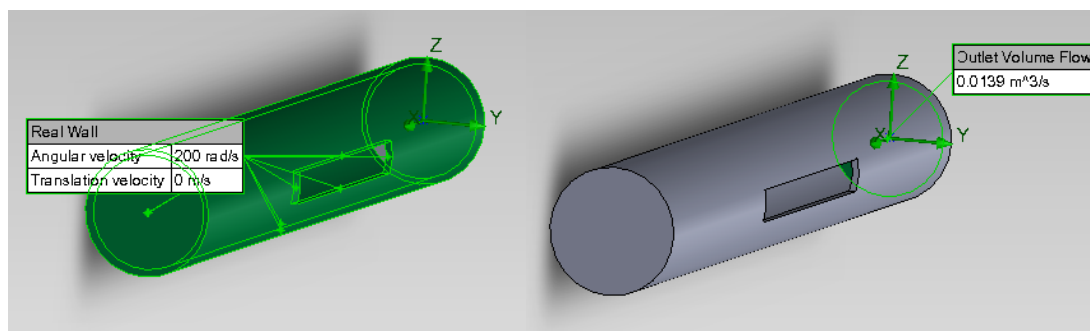


Рис. 3. Граничные условия численного эксперимента: Outlet Volume Flow – объем вытяжного воздуха; Real Wall – поверхность цилиндра

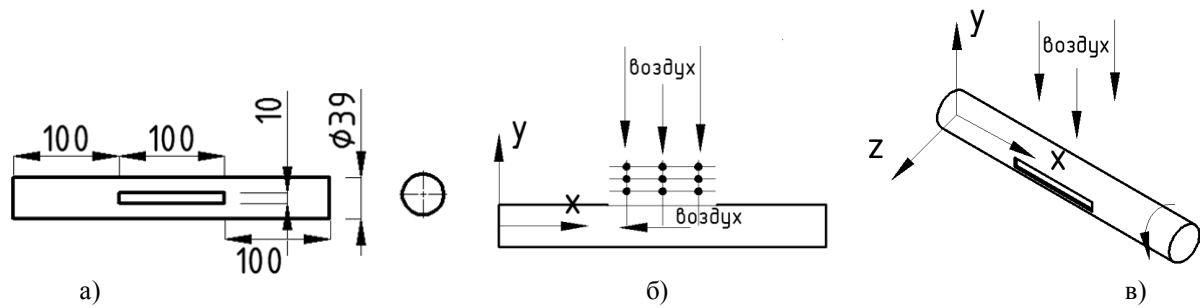


Рис. 4. Габаритные размеры исследуемого цилиндра-отсоса:

а – вид на всасывающее отверстие; б – вид в плоскости XOY; в – трехмерное изображение

Результаты проведенных натурных и вычислительных экспериментов представлены в таблице 1, а также на рис. 5–7.

Таблица 1

**Факторы и результаты вычислительного и лабораторного экспериментов**

№ Опыта	Расход воздуха $Q$ , м <sup>3</sup> /час	Частота вращения цилиндра отсоса, $n$ , об/мин	Координаты точек измерения, м		Скорость вращения воздуха вокруг $OX$ в вычислительном эксперименте $Vz$ , м/с	Скорость вращения воздуха вокруг $OX$ в лабораторном эксперименте $Vz2$ , м/с
			$x$	$y$		
1	10	1000	0,12	0,025	0,26	0,31
2	10	1000	0,15	0,025	0,27	0,31
3	10	1000	0,18	0,025	0,30	0,36
4	10	1000	0,12	0,035	0,11	0,10
5	10	1000	0,15	0,035	0,17	0,15
6	10	1000	0,18	0,035	0,15	0,13
7	10	1000	0,12	0,045	0,07	0,07
8	10	1000	0,15	0,045	0,11	0,12
9	10	1000	0,18	0,045	0,08	0,10
10	50	1000	0,12	0,025	0,06	0,06
11	50	1000	0,15	0,025	0,09	0,10
12	50	1000	0,18	0,025	0,07	0,09
13	50	1000	0,12	0,035	-0,11	0,06
14	50	1000	0,15	0,035	0,07	0,07
15	50	1000	0,18	0,035	0,01	0,01
16	50	1000	0,12	0,045	-0,08	0,09
17	50	1000	0,15	0,045	0,04	0,05
18	50	1000	0,18	0,045	0,00	0,03
19	10	2000	0,12	0,025	0,40	0,34
20	10	2000	0,15	0,025	0,54	0,66
21	10	2000	0,18	0,025	0,70	0,87
22	10	2000	0,12	0,035	0,30	0,35
23	10	2000	0,15	0,035	0,34	0,40
24	10	2000	0,18	0,035	0,29	0,29
25	10	2000	0,12	0,045	0,23	0,22
26	10	2000	0,15	0,045	0,22	0,22
27	10	2000	0,18	0,045	0,14	0,18
28	50	2000	0,12	0,025	0,12	0,13
29	50	2000	0,15	0,025	0,10	0,11
30	50	2000	0,18	0,025	0,13	0,14
31	50	2000	0,12	0,035	-0,13	0,13
32	50	2000	0,15	0,035	0,02	0,02
33	50	2000	0,18	0,035	0,11	0,13
34	50	2000	0,12	0,045	-0,10	0,08
35	50	2000	0,15	0,045	0,00	0,00
36	50	2000	0,18	0,045	0,08	0,08

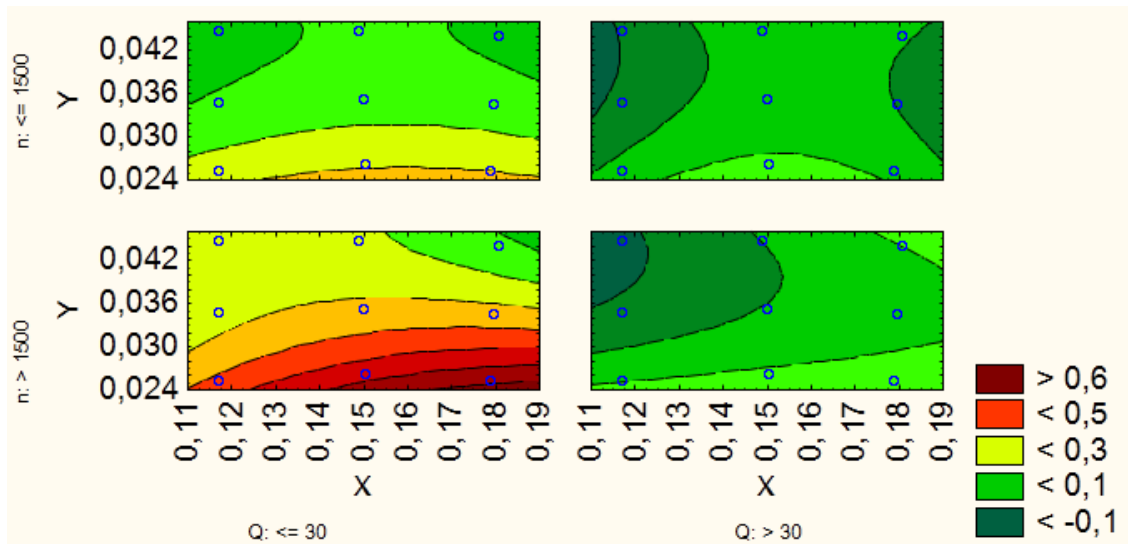


Рис. 5. Результаты вычисления скорости вращения относительно оси  $V_z$  в ходе вычислительного эксперимента

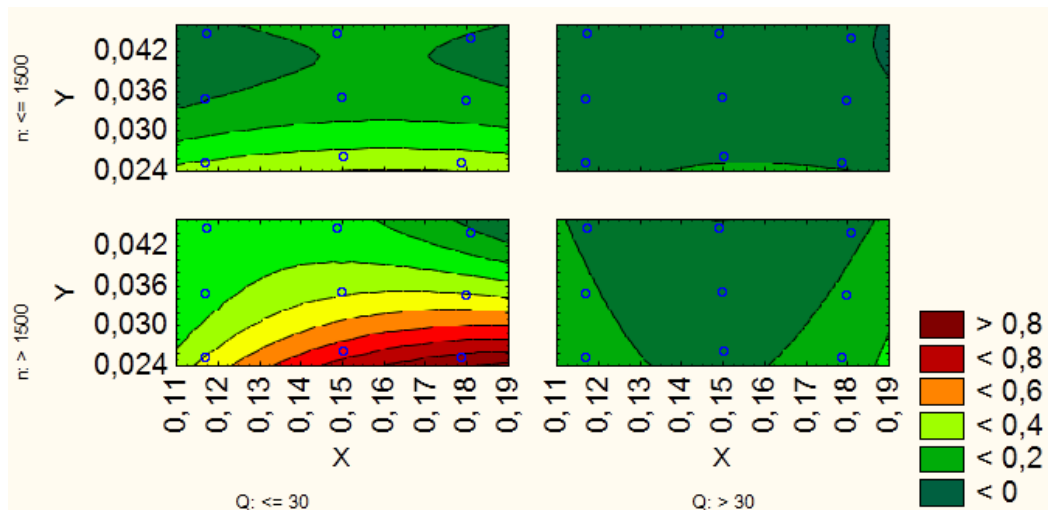


Рис. 6. Экспериментальные величины скорости вращения относительно оси  $V_{z2}$

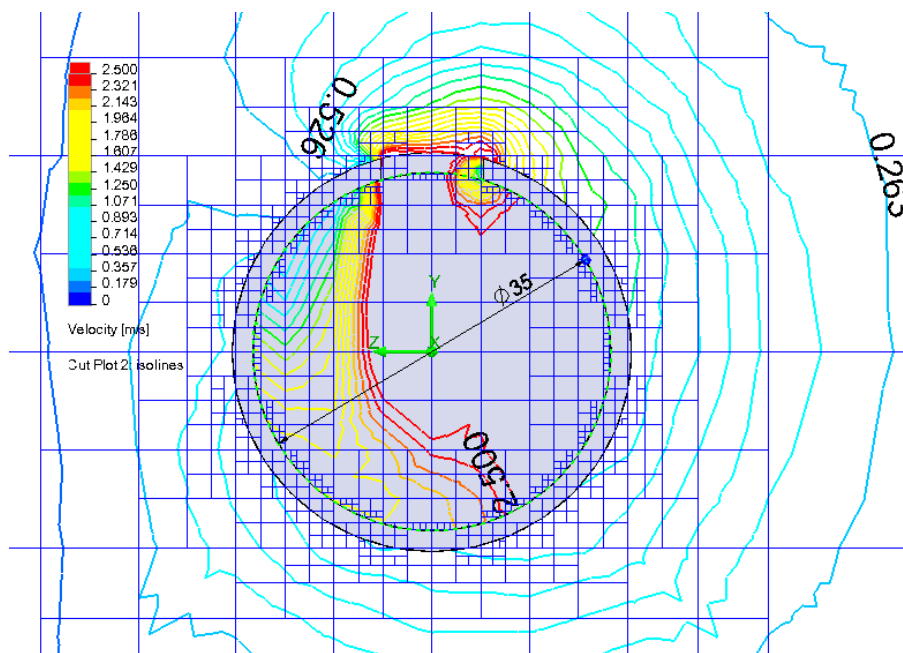


Рис. 7. Поле скоростей, полученное входе численного эксперимента при  $Q = 10 \text{ м}^3/\text{час}$  и  $n = 2000 \text{ об/мин}$ .

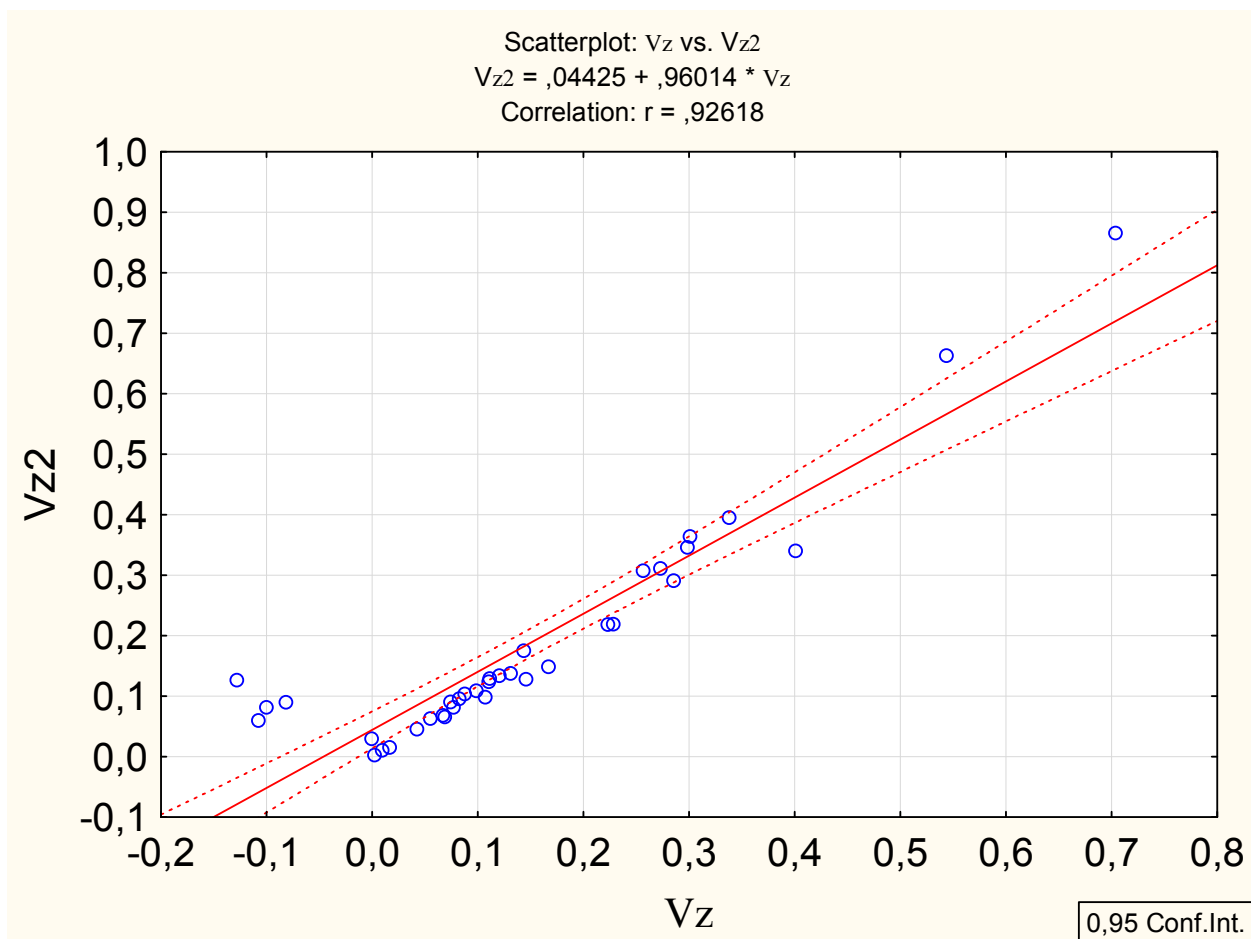


Рис. 8. Скорость движения воздуха Vz при измерении в вычислительном (Vz) и лабораторном (Vz2) эксперименте

Для сравнения и анализа полученных результатов был выбран описательный метод оценки согласованности измерений Блэнда-Алтмана (рис.8-9).. Для этого нами были определены разности каждой пары измерений, средняя величина и стандартное отклонение разности. Средняя разность характеризует систематическое расхождение, а стандартное отклонение – степень разброса результатов [13]. На рис. 8 представлен график, отражающий корреляционную взаимосвязь, между окружной скоростью измеренную в вычислительном Vz и лабораторном Vz2 экспериментах. Данные скорости при хорошем согласовании проведенных экспериментов должны иметь линейную зависимость, а в идеале должны совпадать, что на практике маловероятно в виду множества факторов влияющих на погрешность измерений и вычислений.

Диаграмма Блэнда-Алтмана представляет собой обычную диаграмму рассеяния, по оси X которой откладывается среднее значение скорости Vz для двух методов в одном испытании, а по Y –разность значений скорости Vz в одном испытании (рис. 9). Также на графике проводятся две линии соответствующие средней разности плюс/минус 1,96\*стандартное отклонение,

что должно обозначать ожидаемый разброс разностей значений двух измерений.

Средняя разность между измерениями составляет 0,039, что говорит об отсутствии систематического отклонения. Стандартное отклонение разностей составило 0,069, достаточно большое значение, так как величина измеряемых скоростей лежит в диапазоне от -0,13...0,87 м/с.

Полученную величину ошибки можно объяснить рядом причин:

- в реальном эксперименте при измерении скорости существует пульсация скоростей вызванная вращением цилиндра отсоса;

- в численном эксперименте легче увидеть реальное направление движения воздуха, можно обратить внимание, что в вычислительном эксперименте скорости имеют отрицательное значение, в то время как в лабораторном все скорости положительны, не исключена вероятность ошибки выбора направления движения воздуха на расстояниях далеких от цилиндра, в тоже время в данных областях пульсация скорости более чувствительна, так как измеряемые значения меньше;

В целом результаты измерения скорости в вычислительном и лабораторном эксперименте достаточно хорошо коррелируют между собой,

что видно из рис.8 и таблицы 2. Коэффициент корреляции между измерениями, выполненными обоими способами, составил 0,926. Данный коэффициент корреляции говорит о наличии высокой линейной взаимосвязи между двумя выборками. Применение вычислительного ком-

плекса позволяет в дальнейшем производить исследования для выявления основных факторов оказывающих влияние на снижение пылевой нагрузки на фильтры систем аспирации при использовании цилиндра-отсоса.

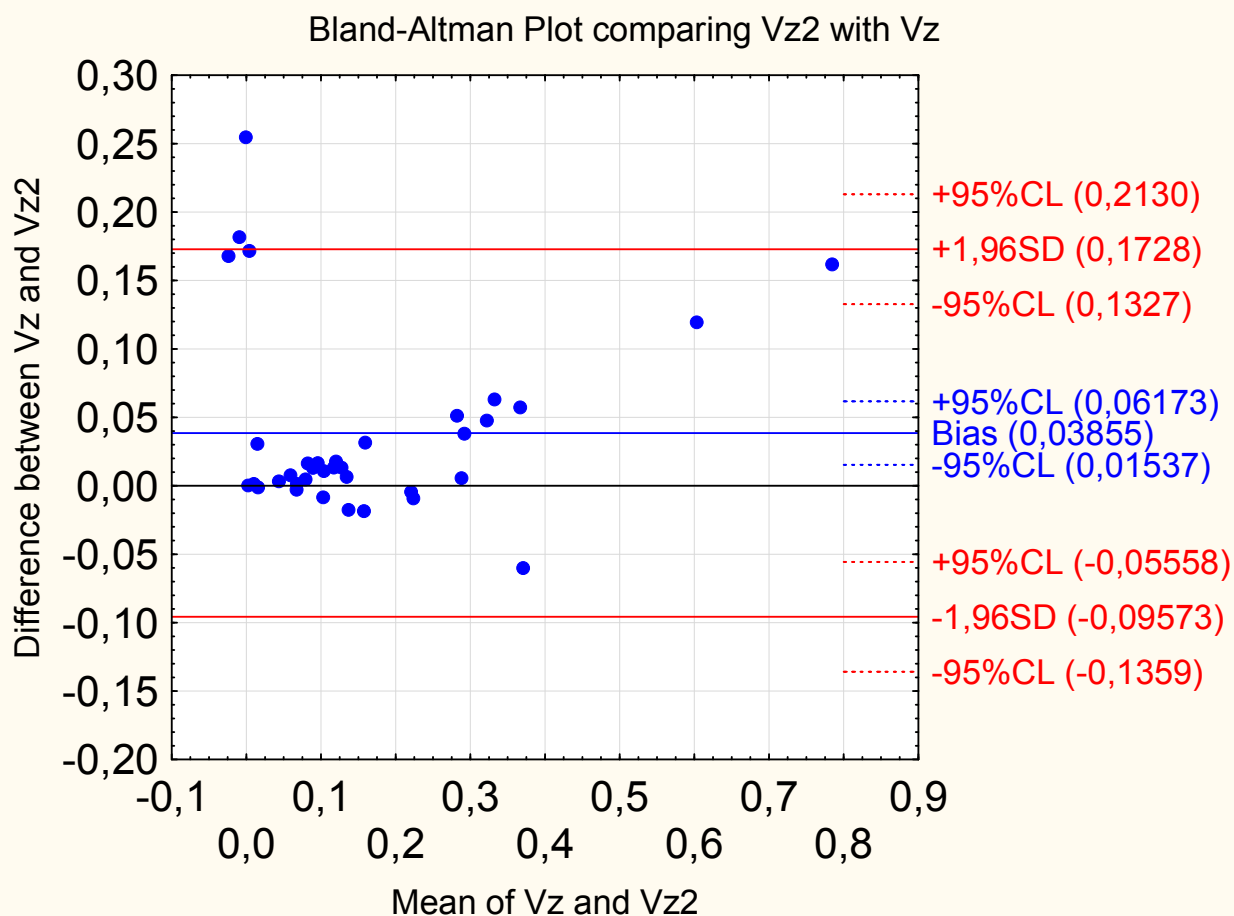


Рис. 9. Диаграмма Блэнда-Алтмана

Таблица 2

**Сравнение экспериментальных и расчетных величин скоростей вращения вокруг цилиндра-отсоса**

	Разница между Vz и Vz2
Объем выборки	36
Средняя разность между измерениями	0,038549
Доверительный уровень (-95 %)	0,015368
Доверительный уровень (95 %)	0,061730
Стандартное отклонение	0,068511
Стандартная ошибка	0,011418
Нижний предел соответствия	-0,095732
Верхний предел соответствия	0,17283
Нижний предел соответствия (доверительный уровень -95 %)	-0,135882
Нижний предел соответствия (доверительный уровень +95 %)	-0,055582
Верхний предел соответствия (доверительный уровень -95 %)	0,13268
Верхний предел соответствия (доверительный уровень +95 %)	0,21298

**Выводы.** По результатам проведенных исследований выявлено следующее:

- на повышение скорости закрутки воздушного потока значительное влияние оказывает частота вращения цилиндра отсоса;

- наибольшая скорость закрутки достигается при максимальной частоте вращения цилиндра-отсоса и минимальных расходах удаляемого воздуха, а это говорит о возможности создания и поддержания устойчивых условий для сепарации пыли из пылевоздушных потоков в полостях укрытий;

- отмечено негативное влияние малых диаметров цилиндра отсоса на закрутку воздушного потока, а это значит, требуется исследовать цилиндры отсосы с большим диаметром.

Основным выводом проведенных исследований является целесообразность проведения дальнейшей работы в полупромышленных условиях на чистом и запыленном воздухе, позволяющих выявить: режимно-технические характеристики предлагаемой конструкции цилиндра-отсоса, при которых работа отсоса будет оптимальной; выявить технологические условия, в которых целесообразно применение данного цилиндра отсоса. Перспектива использования цилиндра-отсоса в аспирационных укрытиях достаточно интересна с точки зрения снижения энергозатрат пылеулавливающим оборудованием в системах обеспыливания, хотя и существует ряд особенностей затрудняющих его применение в условиях производства. Применение цилиндра-отсоса при определенных условиях способно значительно снизить концентрацию пыли в аспирируемом воздухе.

*\*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ – проект № 16-08-00074а*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mallick S., Wypych P. W. Evaluation of scaleup procedures using "system" approach for pneumatic conveying of powders // Particulate Sci. Technol. 2010. Vol. 28. №1. pp. 41–50.
2. Li Xiaochuan, Wang Qili, Liu Qi, Hu Yafei Developments in studies of air entrained by falling bulk materials // Powder Technology. 2016. Vol. 291. pp. 159-169.
3. Wypych Peter W. Jianglin Yi Minimum transport boundary for horizontal dense-phase pneumatic conveying of granular materials // Powder Technology. 2003. Vol. 129. pp. 111–121.
4. Шафран Ю.В., Хоперсков А. В. Моделирование промышленных вентиляционных систем: проблема создания 3D-модели расчетной области // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. 2016. № 2 (33). С. 52–62.
5. Хоперсков А.В., Шафран Ю. В., Бутенко М. А. Численное моделирование вентиляционных течений в промышленных помещениях // Южно-Сибирский научный вестник. 2014. № 2 (6). С. 98–102.
6. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions. 2015. BocaRaton: CRC Press, pp: 576.
7. Азаров В.Н., Мензелинцева Н.В., Карапузова Н.Ю., Фомина Е.О., Пшеничкина Н.А. Экспериментальная оценка пылевого фактора на цементных заводах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. № 44-2 (63). С. 145–156
8. Азаров В.Н., Мензелинцева Н.В., Карапузова Н.Ю., Фомина Е.О., Пшеничкина Н.А. Математическая модель прогноза дисперсного состава пыли в воздухе рабочих зон цементных заводов при оценке пылевой обстановки// Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. № 44-2 (63). С. 134–144.
9. Минко В. А. Обеспыливание технологических процессов производства строительных материалов. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1981. 176 с.
10. Минко В.А. [и др.]. Обеспыливающая вентиляция. Белгород : Изд-во БГТУ, 2010. 565 с.
11. Шаптала В. Г. [и др.]. Математическое обеспечение САПР систем вентиляции: учеб. пособие. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 1998. 77 с.
12. Gol'tsov A.B., Logachev K.I., Averkova O.A. Modeling Dust and Air Flow Within an Aspirated Shelter // Refractories and Industrial Ceramics. 2016. Vol. 57. № 3. pp. 325-331.
13. С. Гланц. Медико-биологическая статистика. пер. с англ. М.: Практика, 1998. 459 с.

---

#### **Averkova O.A., Goltsov A.B., Zdesenko V.A., Kireev V.M., Logachev K.I., Khodakov I.V. PERSPECTIVES OF USING SUCTION-CYLINDER FOR ASPIRATION OF TRANSFER GROUPS**

*In the article the results of a number of natural and computational experiments of research of velocity field near the rotating suction-cylinder are described. Comparison of computational and experimental data is shown. Perspectives of use of rotating suction-cylinder in aspiration systems are discussed.*

**Key words:** *natural experiment, computational experiment, aspiration, rotating suction-cylinder.*

---

**Аверкова Ольга Александровна**, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

e-mail: olga\_19572004@mail.ru

**Гольцов Александр Борисович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

e-mail: abgoltcov@gmail.com

**Здесенко Виктория Александровна**, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

e-mail: vitazdes@yandex.ru

**Киреев Виталий Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

e-mail: vit31rus@mail.ru

**Логачев Константин Иванович**, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

e-mail: kilogachev@mail.ru

**Ходаков Илья Владимирович**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры высшей математики

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

e-mail: ivh89@bk.ru