

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРЫВНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА ВХОДЕ ВО ВСАСЫВАЮЩИЕ ОТВЕРСТИЯ\*

olga\_19572004@mail.ru

Описываются разработанные экспериментальные установки и методика проведения натурного эксперимента по исследованию отрывных и вихревых течений на входе во всасывающие каналы.

**Ключевые слова:** отрывные течения, всасывающие каналы, натурный эксперимент, коэффициент местного сопротивления.

Внедрение аспирационных систем важно с экономической и социальной сторон [1]. Их производительность должна быть такой, чтобы эффективно улавливались пылевые выбросы, при этом расходы электроэнергии должны быть минимальны [2-8]. Главным элементом системы аспирации является всасывающее отверстие. При входе в каналы образуется отрывная область течения, которая теоретически изучалась в работах [9-14]. Однако, экспериментальных работ посвященных отрыву потока на входе во всасывающие каналы крайне мало. Поэтому целью работы являлась разработка экспериментальных стендов и методики эксперимента по изучению отрывных и вихревых течений в аспирационных системах.

Экспериментальные исследования поля скоростей в непосредственной близости от входного отверстия предлагается выполнять на опытной установке (рис.1), рабочей частью ко-

торой является канал, образованный двумя вертикальными плоскостями 500×500 мм (из оргстекла толщиной 8 мм) и двумя горизонтальными полосами из оцинкованного листового железа (толщиной 0,55мм). Расстояние между плоскостями, как и между полосами, составляет 100мм. Общая длина нижней полосы равна 600 мм (причем на 100 мм входит во внутрь примыкающей камеры статического давления). Верхняя, длиной 100мм, была прикреплена к вертикальной стенке камеры и к вертикальным плоскостям и образует выступ канала (с поперечным сечением 100×100мм). Вертикальные плоскости продолжены во внутрь камеры статического давления на расстояние 100мм (как и нижняя стенка канала). Таким образом, рабочая часть установки была максимально приближена к модели плоских задач течения вблизи вытяжного отверстия.

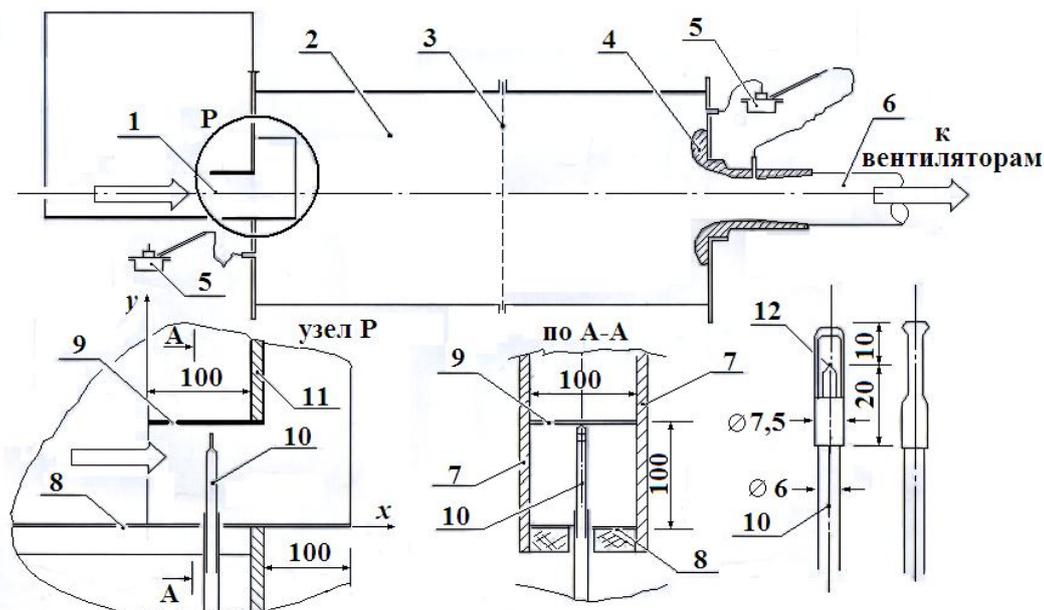


Рис. 1. Опытная установка для исследования поля скоростей вблизи всасывающей щели:

1 – всасывающее отверстие; 2 – камера статического давления (500 × 500 × 1100 мм);

3 – перегородка; 4 – измерительный коллектор ( $\varnothing = 112$  мм); 5 – микроманометры ММН-2400; 6 – воздуховод ( $\varnothing = 125$  мм); 7 – вертикальные плоскости; 8 – горизонтальная полоса (100 × 600 мм,  $\delta = 0,55$  мм); 9 – выступ (козырек, 100 × 100 мм,  $\delta = 0,55$  мм); 10 – зонд термоанемометра testo 425 ( $\varnothing = 6,75$  мм); 11 – вертикальная стенка камеры статического давления; 12 – датчик скорости

Измерения поля скоростей проводили в вертикальной плоскости, проходящей через ось симметрии канала термоанемометром testo-435 (погрешностью  $\pm(0,03+0,05u)$  м/с). Скорость автоматически усреднялась в интервале времени измерений  $\Delta t = 20 \div 25$  сек (при этом в автоматическом режиме осуществлялось около 50 измерений скорости в заданной точке). Определение расхода воздуха, отсасываемого из герметичной камеры статистического давления двумя последовательно соединенными вентиляторами (ВКМ 150 фирмы Вентс и EX-18 4с фирмы Systemair), осуществляется с помощью коллектора и микроанометра ММН-2400. Для исключения деформации потока на входе в коллектор, камера статического давления оснащена перегородкой из фильтровальной ткани.

Характерная скорость определялась из уравнения расхода

$$q = u_{щ}^* B^* = u_{\infty}^* \cdot \delta_{\infty}^*; \quad u_{\infty}^* = u_{щ}^* / \delta_{\infty},$$

где  $u_{щ}^*$  – средняя скорость в щели;  $q$  – удельный расход воздуха, определяемый при измеренном с помощью микроанометра перепаде статических давлений в коллекторе  $\Delta p$  (Па). В нашем случае (при длине щели 0,1м) эти величины определялись по формулам:

$$q = \frac{S_k}{0,1} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{(1+\zeta_k)\rho}} = 0,0507 \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}, \quad \frac{м^3}{с \cdot м};$$

$$u_{щ}^* = 0,507 \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}, \quad м/с, \quad (1)$$

где  $S_k$  – площадь замерного сечения коллектора (в нашем случае  $S_k = 0,112^2 \cdot \pi / 4 = 0,00985$  м<sup>2</sup>);  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\zeta_k = 0,073$  – к.м.с. коллектора.

Точность измеренных продольных составляющих в вертикальных сечениях щели проверялась графическим интегрированием и сопоставлением полученного среднего значения скорости  $u_{щ}^*$  с расчетами по формуле (1). Погрешность не превышала 2-3%.

Для определения коэффициента местного сопротивления была разработана и смонтирована следующая экспериментальная установка (рис.2).

Коэффициент местного сопротивления при входе воздуха в экранированный воздуховод определяется в соответствии с общепринятым соотношением  $\zeta = 2\Delta P / (\rho u^2)$ , представляющим собой отношение разности полных давлений к динамическому (скоростному) давлению.

Опыты проводили на установке (рис.2), измерительная часть которой состоит из микроанометра ММН-2500 и пневмометрической трубки Пито-Прандтля. Измерение давлений проводили в сечении, удаленном на расстоянии 1.5 м от оси входного сечения винипластовой трубы с внутренним диаметром 125 мм и толщиной стенки 1.7 мм. Система экранов (щита на трубе и экрана с круглым отверстием) связаны с помощью стальных шпилек диаметром 4 мм и длиной 400 мм. Для обеспечения перпендикулярности этой системы к оси трубы и ее осевой симметрии щит, моделирующий вертикальную непроницаемую стенку, жестко прикреплен к скользящей по трубе трехгранной правильной призме высотой 100 мм, а шпильки для крепления экрана – к ребрам этой призмы. Щит и экран выполнены из прессованного картона толщиной 4 мм в виде дисков с диаметрами  $D_0 = 128$  мм,  $D = 450$  мм и  $D_0 = 128$  мм,  $D = 360$  мм, соответственно в некоторых опытах внутренний диаметр экрана  $D_0$  составлял 106.5, 102.5, 90 и 73 мм. Большая часть опытов проводилась при  $D_0 = 128$  мм. Для жесткой фиксации и установки экрана на нужном расстоянии  $r$  использовали гайки для зажима с двух сторон.

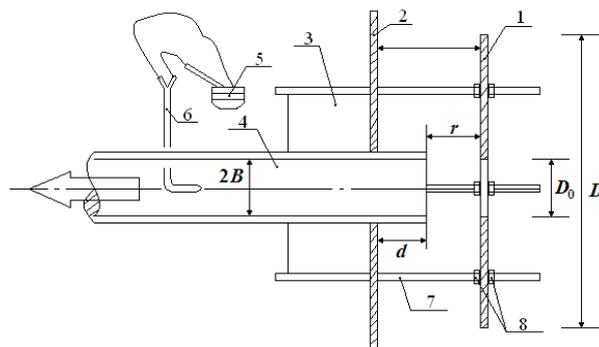


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для определения сопротивления при входе воздуха в экранированное круглое отверстие:

1 – экран с центральным отверстием; 2 – щит; 3 – направляющая трехгранная призма; 4 – труба; 5 – микроанометр с наклонной трубкой; 6 – пневмометрическая трубка Пито-Прандтля; 7 – стальные стержни-шпильки; 8 – гайки для фиксации экрана

В опытах изменялась длина выступающей части трубы  $d = 0 \div 100$  мм и величина зазора между входным сечением и экраном  $r = 0 \div 150$  мм. Средняя скорость воздуха в трубе  $u$  определялась с помощью измерения скоростного давления по оси трубы и внесения поправочного коэффициента на неравномерность поля скоростей, величина которого была определена измерениями скорости в четырех точках равновеликих колец. Потерями давления на трение о стен-

ки трубы от входного до замерного сечения пренебрегали (не только из-за гладкости трубы, но и из-за невозможности корректного учета этих потерь в условиях стабилизации потока при отрывном входе воздуха). Средняя скорость воздуха в трубе составляла 7-9 м/с.

Таким образом, разработаны и смонтированы экспериментальные установки для определения поля скоростей и коэффициента местного сопротивления на входе во всасывающие каналы. Разработана методика проведения натурного эксперимента. Полученные результаты могут быть использованы для исследования математических моделей отрыва потока на достоверность.

*\*Исследования выполнены при поддержке Совета по грантам Президента РФ (код проекта НШ-588.2012.8).*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Логачев, И.Н.* Характеристика пылевых выбросов при перегрузках сыпучих материалов / И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2009. – № 3. – С.63-67.
2. *Логачев, К.И.* Численное моделирование пылевоздушных течений вблизи вращающегося цилиндра-отсоса / К.И. Логачев, А.И. Пузанок // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2005. – № 9. – С. 63-70.
3. *Логачев, К.И.* Компьютерное моделирование пылегазовых потоков в пульсирующих аэродинамических полях/ К.И. Логачев, А.И. Пузанок, В.Ю. Зоря // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. – 2006. – Т. 7. – № 1. – С. 195-201.
4. *Логачев, К.И.* Численное исследование поведения пылевой аэрозоли в аспирационном укрытии/ К.И. Логачев, И.Н. Логачев, А.И. Пузанок // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2006. – № 5. – С. 65-71.
5. *Логачев, И.Н.* О прогнозировании дисперсного состава и концентрации грубодисперсных аэрозолей в местных отсосах систем аспирации/ И.Н. Логачев, К.И. Логачев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2002. – № 9. – С. 85-90.
6. *Логачев, К.И.* Закономерности изменения дисперсного состава пылевых аэрозолей в аспирационном укрытии/ К.И. Логачев, О.А. Аверкова, В.Ю. Зоря // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 9. – С. 46-52.
7. *Аверкова, О.А.* Особенности поведения аэрозольных частиц в аспирационном укрытии стандартной конструкции/ О.А. Аверкова, В.Ю. Зоря, К.И. Логачев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2007. – № 11. – С. 34-36.
8. *Аверкова, О.А.* К вопросу о моделировании пылегазовых потоков в аспирационном укрытии/ О.А. Аверкова, В.Ю. Зоря, И.Н. Логачев, К.И. Логачев // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. – 2009. – Т. 10. – № 1. – С. 371-376.
9. *Логачев, К.И.* Расчет течения вблизи круглого всасывающего патрубка/ К.И. Логачев, В.Н. Посохин // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2004. – № 1. – С. 29-32.
10. *Логачев, К.И.* Расчет течений на входе в отсосы-раструбы методом дискретных вихрей/ К.И. Логачев, А.И. Пузанок, В.Н. Посохин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2004. – № 7-8. – С. 61-69.
11. *Посохин, В.Н.* К расчету течения вблизи щелевидного отсоса-раструба/ В.Н. Посохин, Н.Б. Салимов, К.И. Логачев, А.М. Живов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2002. – № 10. – С. 81-84.
12. *Логачев, И.Н.* Моделирование отрывных течений вблизи всасывающей щели/ И.Н. Логачев, К.И. Логачев, В.Ю. Зоря, О.А. Аверкова // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. – 2010. – Т. 11. – № 1. – С. 43-52.
13. *Логачев, И.Н.* Математическое моделирование отрывных течений при входе в экранированный плоский канал/ И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. – 2010. – Т. 11. – № 1. – С. 68-77.
14. *Логачев, И.Н.* Математическое моделирование струйного течения воздуха при входе в плоский канал с козырьком и непроницаемым экраном/ И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. – 2010. – Т. 11. – № 1. – С. 160-167.
1. *Экологические проблемы и ситуации.* – С. 157-162.