

УДК 621.928.9

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ КОМБИНИРОВАННОГО  
ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ВИХРЕВЫХ ПОТОКОВ  
И ВНЕШНЕГО ФИЛЬТРОВАНИЯ**  
**HYDRODYNAMICS STUDY COMBINED DUST COLLECTORS ON BASE OF VORTEX  
FLOWS AND EXTERNAL FILTERRING**

**Александр Васильевич Акулич, Виктор Михайлович Лустенков,  
Вера Михайловна Акулич**  
**Alexander V. Akulich, Viktor M. Lustenkov, Vera M. Akulich**

*Могилевский государственный университет продовольствия, Беларусь, Могилев.*  
*Mogilev State Foodstuffs University, Belorussia, Mogilev*  
(e-mail: mgup@mogilev.by)

*Аннотация:* Разработан новый способ очистки газов от твердых частиц и конструкция комбинированного пылеуловителя на основе вихревых потоков и внешнего фильтрования. Проведены теоретические и экспериментальные исследования гидравлического сопротивления, коэффициента гидравлического сопротивления и эффективности улавливания комбинированного пылеуловителя.

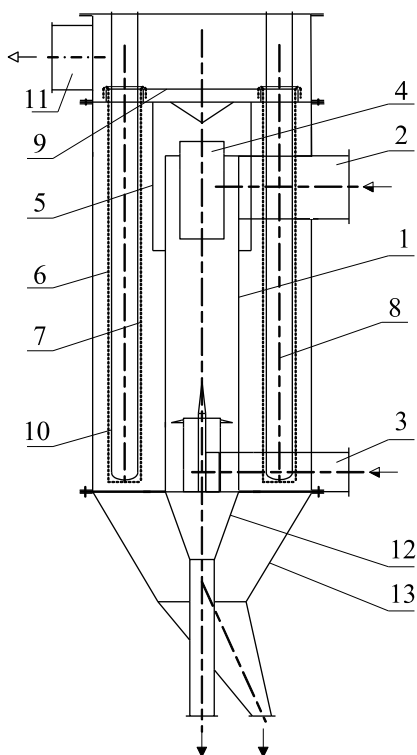
*Abstract:* Development new way a peelings of gases from hard particles and design combined dust collectors on base of vortex flows and external filterring. conducted theoretical and experimental hydraulic resistance studies, hydraulic resistance and efficiency factor of catching combined dust collectors.

*Ключевые слова:* Очистка газов, гидродинамика, вихревые потоки, фильтрование, комбинированный аппарат, экспериментальный образец, гидравлическое сопротивление, коэффициент гидравлического сопротивления, эффективность улавливания.

*Keywords:* Clear of gases, hydrodynamics, vortex flows, filterring, combined dust collectors, experimental sample, hydraulic resistance, hydraulic resistance factor, efficiency of catching.

На современном этапе развития промышленного производства требуется разработка нового высокоэффективного пылеулавливающего оборудования. Авторами предложен ряд комбинированных способов для очистки газов от твердых частиц и аппараты для их реализации в системах аспирации и пневмотранспорта предприятий пищевой промышленности и других отраслях народного хозяйства [1, 2].

В работе представлен новый способ очистки газов от твердых частиц и конструкция комбинированного пылеуловителя на основе вихревых потоков и внешнего фильтрования, отличительной особенностью которого является выполнение ступени фильтрования в виде цельного фильтровального элемента с наружной и внутренней поверхностями, расположенными по концентрическим окружностям вокруг цилиндрической камеры центробежного улавливания с высотой, превышающей высоту камеры [2 – 4]. При работе комбинированного пылеуловителя газ, очищенный в центробежном поле первой ступени, совершая вращательно поступательное нисходящее движение, перераспределяется на ступень фильтрования, где дочищается в режиме внешней фильтрации двумя восходящими потоками по всей высоте наружной и внутренней боковых поверхностей цельного фильтровального элемента (рисунок 1). Такое техническое решение обеспечивает увеличение площади фильтровальной поверхности до 30% в сравнении с компоновкой ряда фильтровальных рукавов по окружности.



**Рис. 1. Схема новой конструкции комбинированного пылеуловителя на основе взаимодействующих вихревых потоков и внешнего фильтрации**

1 – цилиндрическая камера центробежного улавливания;  
 2, 3 – патрубки периферийного и центрального потока;  
 4 – выхлопная труба; 5 – корпус перераспределения газа;  
 6, 7 – боковые поверхности внешнего и внутреннего концентрических кольцевых потоков; 8 – кольцевой канал;  
 9 – рукавная решетка; 10 – поддерживающие каркасы;  
 11 – патрубок отвода из аппарата доочищенного газа;  
 12, 13 – бункеры крупной и мелкодисперсной пыли

Проведены теоретические и экспериментальные исследования гидродинамики комбинированного пылеуловителя на основе вихревых потоков и внешнего фильтрации. Исследовано гидравлическое сопротивление, коэффициент гидравлического сопротивления и эффективность улавливания [3, 5, 6].

На основе уравнения энергетического баланса потоков, подаваемых через периферийный и центральный входные патрубки разработанного комбинированного пылеуловителя, получена зависимость для расчета гидравлического сопротивления комбинированного пылеуловителя на основе вихревых потоков и внешнего фильтрации в общем виде:

$$\Delta P_0 = k\Delta P_1 + (1 - k)\Delta P_2 + \Delta P_3 \quad (1)$$

где  $\Delta P_1$ ,  $\Delta P_2$ ,  $\Delta P_3$  – потери давления соответственно периферийного и центрального потоков, на ступени фильтрации, Па;  $k$  – кратность расходов.

Исследования показали, что величина местных сопротивлений на ступени фильтрации незначительна по сравнению с сопротивлением фильтровальной перегородки, величина которой зависит от режимных и конструктивных параметров и определяется по зависимости:

$$\Delta P_3 = K\mu v_\phi + \mu\tau z_{\text{вх}} v_\phi^2 K_\Pi \quad (2)$$

где  $v_\phi$  – скорость фильтрации, зависящая от геометрии фильтровального элемента, м/с;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости воздуха, Па·с;  $\tau$  – продолжительность фильтровального цикла, с;  $z_{\text{вх}}$  – концентрация пыли на входе на ступень фильтрации, кг/м<sup>3</sup>;  $K$  – коэффициент, характеризующий сопротивление фильтровальной перегородки с оставшимся на ней слоем пыли, м<sup>-1</sup>;  $K_\Pi$  – коэффициент сопротивления слоя пыли, м/кг.

С учетом конструктивных особенностей ступени фильтрации впервые получена зависимость для расчета гидравлического сопротивления комбинированного пылеуловителя на основе вихревых потоков и внешнего фильтрации:

$$\Delta P_0 = k\Delta P_1 + (1 - k)\Delta P_2 + \mu\left\{K\left[V/\left(\pi h(D + d) + \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\right)\right] + \tau z_{\text{вх}} K_\Pi \left[V/\left(\pi h(D + d) + \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\right)\right]^2\right\} \quad (3)$$

где  $V$  – объемный расход газа, м<sup>3</sup>/с;  $h$  – высота фильтровального элемента, м;  $D$  – диаметр внешней поверхности фильтровального элемента, м;  $d$  – диаметр внутренней поверхности фильтровального элемента, м.

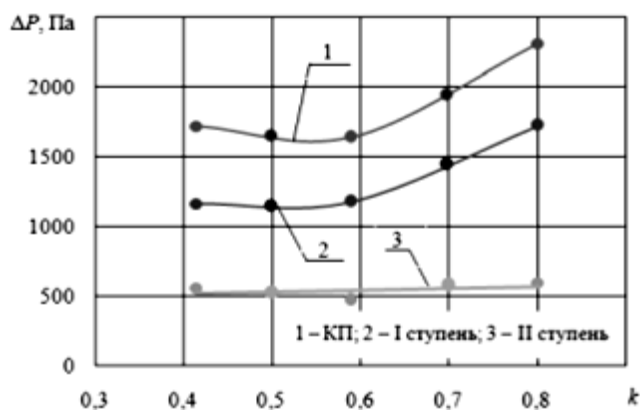
Отнеся общий расход газа к плановой скорости в цилиндрической камере центробежного улавливания (при условии, что через ступень фильтрования проходит весь объемный расход газа) впервые получена зависимость для определения коэффициента гидравлического сопротивления разработанного комбинированного пылеуловителя на основе вихревых потоков и внешнего фильтрования:

$$\zeta_0 = \zeta_1 k^3 + \zeta_2 (1 - k)^3 + \zeta_3 \left[ \frac{D_k^4}{16h^2(D + d)^2 + (D^2 - d^2)^2} \right] \quad (4)$$

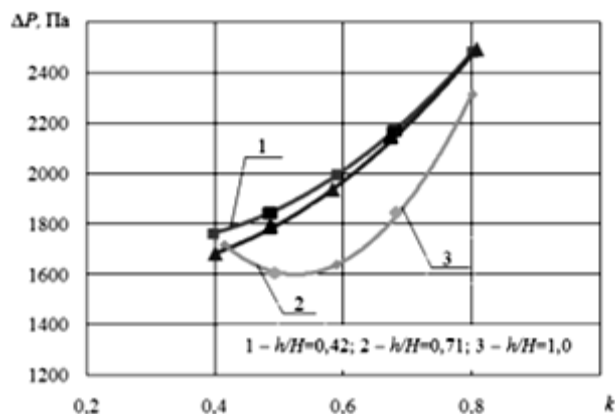
где  $D_k$  – диаметр цилиндрической камеры центробежного улавливания, м.

Для проведения комплекса экспериментальных исследований изготовлена модель комбинированного пылеуловителя на основе вихревых потоков и внешнего фильтрования с диаметром камеры центробежного улавливания 0,13 м, высотой 0,88 м и площадью поверхности фильтровального элемента 2,58 м<sup>2</sup>. При этом габаритные размеры комбинированного пылеуловителя составляют по высоте 1,66 м и диаметру 0,6 м. Создана лабораторная установка. При экспериментах общий объемный расход газа через аппарат изменялся в интервале  $Q=0,041 \div 0,083$  м<sup>3</sup>/с, кратность расходов  $k=0,1 \div 0,9$ . Определено, что при  $Q=0,083$  м<sup>3</sup>/с плановая скорость в цилиндрической камере центробежного улавливания составляет  $v=6,33$  м/с, что соответствует оптимальному интервалу скоростей центробежного улавливания в вихревых аппаратах. При этом скорость фильтрования в интервале варьирования относительной высоты фильтровального элемента изменяется в диапазоне  $1,3 \div 2,58$  м/мин.

Получены зависимости гидравлического сопротивления от кратности расходов по ступеням и комбинированного пылеуловителя в целом при различных относительных высотах фильтровального элемента (рисунки 2 и 3).



**Рис. 2.** Зависимости гидравлического сопротивления комбинированного пылеуловителя от кратности расходов при относительной высоте фильтровального элемента  $h/H=1000/1000$

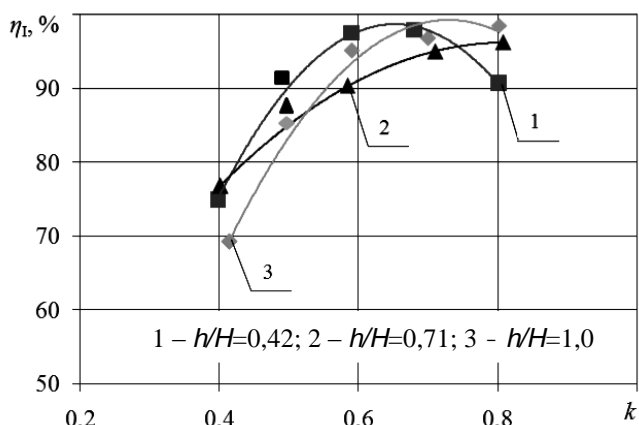


**Рис. 3.** Зависимости гидравлического сопротивления комбинированного пылеуловителя от кратности расходов при постоянной относительной высоте фильтровального элемента

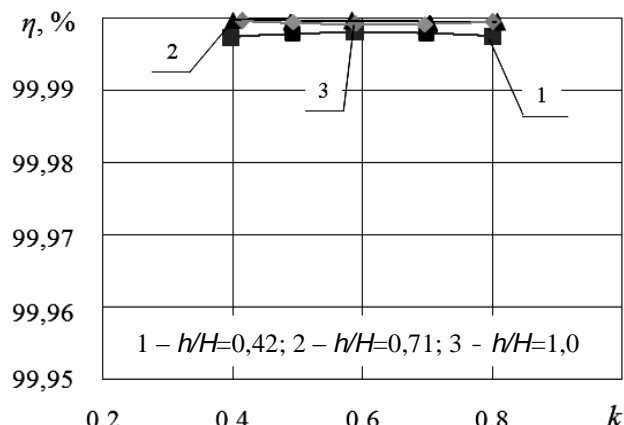
Установлено, что при  $k=0,6$  (рисунок 2) общее гидравлическое сопротивление комбинированного пылеуловителя (КП) составляет 1640 Па, ступени центробежного улавливания (I) – 1180 Па, а ступени фильтрования (II) – 520 Па. Из анализа влияния площади фильтровального элемента на гидравлическое сопротивление комбинированного пылеуловителя (рисунок 3) определено, что в интервале  $k=0,5 \div 0,65$  при наибольшем значении относительной высоты фильтровального элемента  $h/H=1000/1000$   $\Delta P=1600 \div 1800$  Па. Уменьшение  $h/H$  до значения 420/1000 приводит к росту  $\Delta P$  до величин  $1900 \div 2050$  Па

Исследована эффективность улавливания соляной пыли в разработанном комбинированном пылеуловителе (рисунки 4 и 5). Определено, что для первой ступени характерен рост эффективности улавливания соляной пыли до значения  $\eta_1=99,5\%$  с увеличением кратности расходов (рисунок 4). Установлено, что эффективность улавливания комбинированного пылеуловителя с цельным фильтровальным элементом достигает  $\eta_0=99,99\%$  (рисунок 5).

Из комплексного анализа полученных зависимостей гидравлического сопротивления и эффективности улавливания следует, что эффективная работа комбинированного аппарата при высокой эффективности улавливания  $\eta=99,99\%$  и небольшом гидравлическом сопротивлении  $\Delta P=1660\div 1870$  Па обеспечивается в интервалах кратности расходов  $k=0,6\div 0,7$  и относительной высоты фильтровального элемента  $h/H=710\div 1000$ .



**Рис. 4. Зависимости эффективности улавливания 1-ой ступени комбинированного пылеуловителя от кратности расходов при постоянной относительной высоте фильтровального элемента**



**Рис. 5. Зависимости эффективности улавливания комбинированного пылеуловителя от кратности расходов при постоянной относительной высоте фильтровального элемента**

### Список литературы

1. Акулич А.В., Лустенков В.М., Акулич В.М., Шушкевич К.В. Разработка новых типов пылеуловителей для очистки газов от пыли в текстильной и химической промышленности // Международная научно-техническая конференция “Современные технологии и оборудование текстильной промышленности” (Текстиль 2011), М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 29-30 ноября 2011 г. / Моск. гос. текстильный ун-т им. А.Н. Косыгина. – Москва, 2011. – С. 226.

2. Акулич А.В., Лустенков В.М., Акулич А.А., Парамеев М.А. Разработка комбинированного пылеуловителя на основе вихревых потоков и внешнего фильтрования // Материалы X международной научно-технической конференции «Техника и технология пищевых производств», Могилев, 23–24 апреля 2015 г. / Учреждение образования «Могил. гос. ун-т продовольствия»; редкол.: А.В. Акулич (отв. Ред.) [и др.]. – Могилев, 2015.– С. 211.

3. Акулич А.В. Разработка способа очистки газов от твердых частиц в комбинированном пылеуловителе на основе вихревых потоков и фильтрования и исследование гидравлического сопротивления // Хранительна наука, техника и технологии 2014. Т. LXI, Ч. 1. – С. 786–789.

4. Акулич А.В., Лустенков В.М., Акулич А.А. Способ очистки газа от твердых частиц. Евразийская заявка на изобретение №2015/EA/0052 от 01.04.2015г., регистрационный номер 201500461.

5. Акулич А. В. Гидравлическое сопротивление новой конструкции комбинированного пылеуловителя // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы муждунар. науч.-техн. конф. молод. ученых. Могилев 16–17 октября 2014 г. // М-

во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.–Рос. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2014. – С. 16.

6. Акулич А. В. Повышение эффективности пылеочистки в сушильных процессах на основе комбинированных аппаратов // Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе. 2015., С.141–146.

УДК 662.7: 662.9

**ЗАВИСИМОСТЬ ТОЛЩИНЫ ВЯЗКОГО ПОДСЛОЯ ОТ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ  
ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБЕ  
DEPENDENCE OF THE THICKNESS OF THE VISCOUS SUBLAYER ON THE MODE  
OF MOVEMENT OF LIQUID HYDROCARBONS IN A HORIZONTAL PIPE**

**Ойбек Юлибаевич Исмаилов\*, Тоир Зоирович Рахмонов\*\*  
Oybek Yu. Ismailov\*, Toir Z. Rakhmonov\*\***

*\*Институт общей и неорганической химии АН РУз, Узбекистан, Ташкент*

*\*Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of Uzbekistan,  
Uzbekistan, Tashkent*

*(e-mail: ismoilovnmipi@mail.ru)*

*\*\*ООО «ЛУКОЙЛ Узбекистан Оперейтинг компани», Узбекистан, Ташкент*

*\*\*«LUKOIL Uzbekistan Operating Company», Uzbekistan, Tashkent*

*Аннотация:* Приведены результаты расчёта толщина вязкого подслоя с учётом режима движения жидкости и состава смеси нефтегазоконденсатных потоков в круглой трубе.

*Abstract:* Results of calculation a thickness of a viscous intermediate layer taking into account a mode of movement of a liquid and mix structure of oil and gas streams in a round pipe are described.

*Ключевые слова:* нефть, газовый конденсат, режим движения жидкости, вязкость, число Рейнолдса, ламинарный режим, переходный режим, турбулентный режим, коэффициент Дарси, толщина вязкого подслоя.

*Keywords:* oil, gas condensate, liquid motion mode, the viscosity, the Reynolds number, laminar, transitional, turbulent, Darcy coefficient, the thickness of the viscous sublayer.

Многочисленные экспериментальные исследования показали, что потери энергии при движении жидкости существенно зависят от характера движения частиц жидкости в потоке, от режима движения жидкости. [1, 2, 3].

В общем случае режим движения жидкости определяется безразмерным комплексом

$$\frac{\nu l}{\mu / \rho} = \frac{\nu l}{\nu}, \quad (1)$$

составленным из четырех величин: динамической вязкости  $\mu$  (или кинематической вязкости  $\nu$ ), плотности жидкости  $\rho$ , характерного геометрического размера живого сечения  $l$  и средней скорости потока  $\nu$ . Этот комплекс называется числом Рейнольдса и обозначается символом  $Re$ .

При значениях  $Re$  ниже критической величины, т.е.  $Re_{кр} = 2320$  (для круглых труб), движение жидкости ламинарное; при  $Re > 10^4$  – развитое турбулентное; при  $Re = 2300 \dots 10^4$  – переходное. Турбулентное движение жидкости при  $Re > 10^4$  характерно для технологических аппаратов, трубопроводов и каналов [4]. Исследованиями установлено, что процессы турбулентного перемешивания происходят по-разному в различных частях поперечного сечения трубы. Современные представления о структуре потока в трубе при турбулентном