

ПРОЦЕССЫ, АППАРАТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 621.928.93

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ВИХРЕВОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ С ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ ПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ВИХРЕВЫХ ПОТОКОВ

А. В. Акулич¹, В. М. Лустенков¹, В. М. Акулич², А. Ю. Жуков¹, Ю. Ю. Давыдик¹

¹Могилевский государственный университет продовольствия, Республика Беларусь

²Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. Актуальным является разработка метода управления взаимодействием закрученных потоков в вихревых пылеуловителях для обеспечения высокой эффективности их работы в конкретных производственных условиях. Научная задача – установление режимных параметров и определение их интервалов для разработки метода управления на основе исследования гидродинамики взаимодействия вихревых потоков в прозрачной цилиндрической сепарационной камере пылеуловителя.

Материалы и методы. Использован лабораторный образец вихревого пылеуловителя и экспериментальная установка, оснащенная контрольно-измерительными и регулирующими приборами. Гидродинамические исследования проведены по стандартным методикам.

Результаты. Получены новые зависимости гидравлического сопротивления и эффективности улавливания мелкодисперсных материалов в вихревом пылеуловителе от общего объемного расхода газа, кратности расходов и концентрации пыли. Впервые установлено образование «вращающегося кольца» дисперсного материала в сепарационной камере, структура, толщина и высота формирования которого зависит от изменения кратности расходов в интервале $k = 0,35 \div 0,5$. Определены оптимальные интервалы изменения режимных параметров: гидродинамический режим работы вихревого пылеуловителя в интервале кратности расходов $k = 0,6 \div 0,8$; режим осуществления тепло- и массообменных процессов – в интервале $k = 0,35 \div 0,5$.

Выводы. Разработан метод управления взаимодействующими вихревыми потоками в аппаратах для очистки газов от мелкодисперсных частиц, позволяющий обеспечить высокую эффективность улавливания при невысоком гидравлическом сопротивлении.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вихревой пылеуловитель; вихревые потоки; гидродинамика; мелкодисперсный материал; кратность расходов; концентрация; «вращающееся кольцо» дисперсного материала; гидравлическое сопротивление; эффективность улавливания.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Акулич, А. В. Исследование гидродинамики вихревого пылеуловителя с визуализацией протекающих процессов и разработка метода управления взаимодействием вихревых потоков / А. В. Акулич [и др.] // Вестник МГУП. – 2020. – № 2(29). – С. 83–92.

**STUDIES ON HYDRODYNAMICS OF VORTEX DUST COLLECTOR
WITH VISUALIZATION OF RUNNING PROCESSES AND DEVELOPMENT
OF A METHOD FOR CONTROLLING VORTEX FLOW INTERACTION**

A. V. Akulich¹, V. M. Lustenkov¹, V. M. Akulich², A. Yu. Zhukov¹, Yu. Yu. Davydik¹

¹ *Mogilev State University of Food Technologies, Republic of Belarus*

² *Belarusian-Russian University, Republic of Belarus*

ABSTRACT

Introduction. Nowadays the development of a method for controlling the interaction of swirling flows in vortex dust collectors to ensure their high efficiency in specific production conditions is of utmost importance. The scientific task is to establish operating parameters and determine their intervals for the development of a control method based on the study of the hydrodynamics of vortex flows interaction in a transparent cylindrical separation chamber of a dust collector.

Materials and methods. A laboratory model of a vortex dust collector and an experimental unit equipped with testing and controlling instruments were used. Hydrodynamic studies were carried out by standard methods.

Results. New dependences of hydraulic resistance and collection efficiency on the total volumetric flow rate of dust-free and dusty gas, flow rate, and concentration of fine particles of fodder dust were obtained. The formation of a «rotating ring» of dispersed material in the separation chamber was first established, the structure, thickness and height of its formation depending on the change in the flow rate $k = 0,35 \div 0,5$. There were determined the optimal intervals of change in operating parameters: hydrodynamic mode of operation of the vortex dust collector is in the range of flow rate $k = 0,6 \div 0,8$; the mode of heat and mass transfer processes is in the range of $k = 0,35 \div 0,5$.

Conclusions. A method for controlling interacting vortex flows in devices for cleaning gases from fine-dispersed particles has been developed, thus making it possible to ensure high collection efficiency at a low hydraulic resistance.

KEY WORDS: *vortex dust collector; vortex flows; hydrodynamics; fine-dispersed material; flow rate; concentration; «rotating ring» of particulates; hydraulic resistance; collection efficiency.*

FOR CITATION: Akulich A.V., Lustenkov V. M., Akulich V. M., Zhukov A.Yu., Davydik Yu.Yu. Studies on hydrodynamics of vortex dust collector with visualization of running processes and development of a method for controlling vortex flow interaction. Bulletin of Mogilev State University of Food Technologies. – 2020. – No. 2(29). – P. 83–92 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Многие технологические процессы, осуществляемые на промышленных предприятиях, сопровождаются выделением пыли, что приводит к потере части сырья и готовой продукции, ухудшению санитарно-гигиенического состояния производственных помещений, загрязнению окружающей среды. Поэтому на предприятиях используется различное пылеулавливающее оборудование: инерционные пылеуловители, циклоны, аппараты с вихревыми потоками, устройства мокрой очистки, механические и электрические фильтры [1–2].

При подборе и проектировании пылеулавливающего оборудования необходимо учитывать дисперсный состав пыли, плотность частиц, их абразивность, требуемую степень очистки, производительность, себестоимость, эксплуатационную надежность [1–5].

В настоящее время широкое распространение получили вихревые пылеуловители, характеризующиеся высокой эффективностью улавливания мелкодисперсных частиц и сравнительно невысокой энергоемкостью. Вихревые пылеуловители являются аппаратами с управляемой гидродинамикой, что делает их многофункциональными устройствами и расширяет область применения [1–5].

В каждом конкретном производстве эффективность эксплуатации вихревых аппаратов определяется соотношением рациональных режимных параметров. Следует отметить, что осуществление гидромеханических, тепло- и массообменных процессов, реализуемых в многофункциональных аппаратах, предполагает различные соотношения режимно-конструктивных парамет-

ров. Это, в свою очередь, требует детального изучения особенностей каждого протекающего технологического процесса и разработки рекомендаций для их реализации в многофункциональных аппаратах [6–13].

В частности, для очистки газов от пыли актуальна разработка методов управления взаимодействием вихревых потоков в вихревых пылеуловителях [14–15].

Цель исследования – изучение гидродинамики лабораторного образца вихревого пылеуловителя с визуализацией протекающих процессов для разработки метода управления взаимодействием вихревых потоков, обеспечивающего высокую эффективность его работы в конкретных производственных условиях.

Научная задача – установление режимных параметров и определение их интервалов для разработки метода управления на основе исследования гидродинамики взаимодействия вихревых потоков в прозрачной цилиндрической сепарационной камере пылеуловителя.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе проведены экспериментальные гидродинамические исследования. Скорость газа в подводящих воздуховодах определяется по известной зависимости [2] на основе данных по скоростному напору, измеренному с помощью микроманометров ММН–240, подключенных к трубкам Пито-Прандтля. Гидравлическое сопротивление находится с помощью дифференциальных манометров, подключенных к точкам отбора давления. Эффективность улавливания пылеуловителя рассчитывается по известной формуле [2] на основе измеренного количества мелкодисперсного материала, подаваемого в периферийный и центральный входные патрубки и уловленного в бункере с помощью весов ИТЕМСС2020.

В рамках исследования гидродинамики аппаратов для очистки газов от мелкодисперсных частиц создан лабораторный образец вихревого пылеуловителя с прозрачным цилиндрическим корпусом для визуализации протекающих процессов в сепарационной зоне при движении и взаимодействии двух закрученных запыленных потоков (рис. 1).

Прозрачный (стеклянный) цилиндрический корпус вихревого пылеуловителя выполнен внутренним диаметром 0,14 м и высотой сепарационной камеры 0,55 м. Аппарат рассчитан на объемный расход запыленного газа $360 \text{ м}^3/\text{ч}$ при средней плановой скорости газа в сепарационной камере 6,5 м/с.

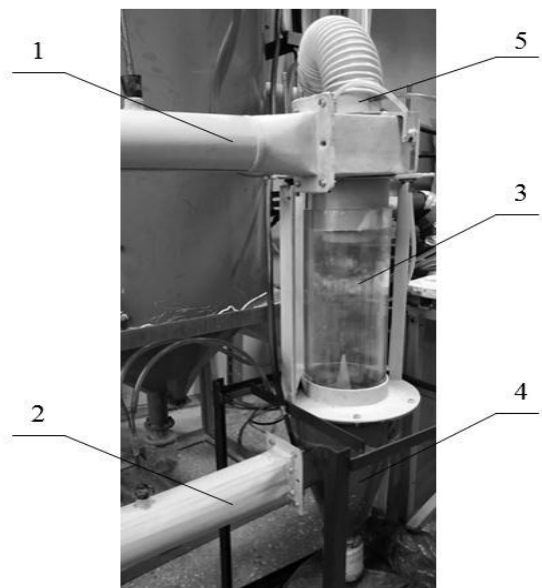
Для экспериментальных исследований принят интервал общего объемного расхода газа $Q_0 = 300 \div 360 \text{ м}^3/\text{ч}$, кратности расходов (отношение расхода газа, подаваемого в периферийный входной патрубок к общему расходу газа) $k = 0 \div 1$, концентрации мелкодисперсных частиц (запыленность газа) в газовых потоках, подаваемых в периферийный и центральный патрубки $z = 7,5 \div 37,5 \text{ г}/\text{м}^3$. В качестве дисперсного материала использованы пшеничная мука и комбикормовая пыль.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В работе исследовано гидравлическое сопротивление (ΔP) лабораторного образца вихревого пылеуловителя с прозрачным цилиндрическим корпусом от режимных параметров.

Установлено, что при постоянных значениях кратности расходов (k) с увеличением общего объемного расхода газа гидравлическое сопротивление вихревого пылеуловителя возрастает. При этом менее интенсивный рост ΔP наблюдается при $k = 0,45$.

На рис. 2 представлены зависимости гидравлического сопротивления вихревого пылеуловителя с прозрачным цилиндрическим корпусом от кратности расходов при постоянном общем объемном расходе незапыленного газа Q_0 .



- 1 – входной патрубок с тангенциальным завихрителем периферийного потока;
- 2 – входной патрубок с тангенциальным завихрителем центрального потока;
- 3 – прозрачная сепарационная камера для визуализации протекающих процессов;
- 4 – бункер уловленных частиц;
- 5 – выхлопная труба

Рис. 1. Лабораторный образец вихревого пылеуловителя с прозрачным цилиндрическим корпусом
Fig. 1. Laboratory model of a vortex dust collector with a transparent cylindrical body

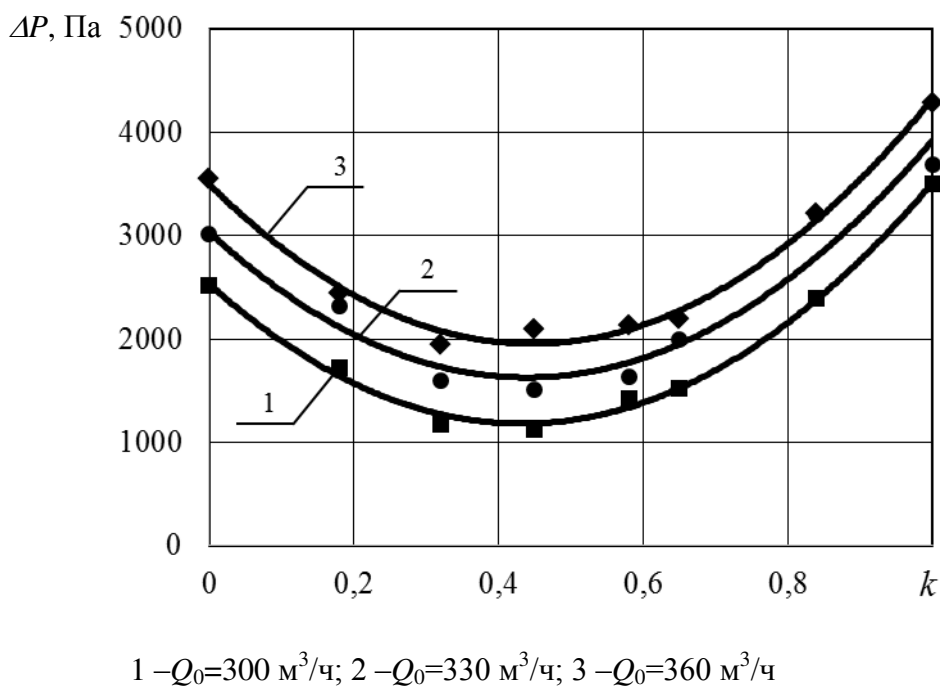


Рис. 2. Зависимости гидравлического сопротивления вихревого пылеуловителя с прозрачным цилиндрическим корпусом от кратности расходов при постоянном общем объемном расходе незапыленного газа Q_0

Fig. 2. Dependences of the hydraulic resistance of the vortex dust collector with a transparent cylindrical body on the flow rates at constant total volumetric flow rate of dust-free gas Q_0

Установлено повышение гидравлического сопротивления с увеличением расхода газа. При постоянных общих объемных расходах газа определен интервал кратности расходов $k=0,3\div 0,65$, характеризующийся наименьшим гидравлическим сопротивлением. Так при $Q_0=300\text{ м}^3/\text{ч}$ минимальное гидравлическое сопротивление ΔP составляет 1200 Па, с повышением общего объемного расхода газа до $Q_0=330\text{ м}^3/\text{ч}$ минимальное значение ΔP составляет 1500 Па, при $Q_0=360\text{ м}^3/\text{ч}$ минимальное гидравлическое сопротивление $\Delta P=2000$ Па.

Исследовано влияние концентрации мелкодисперсных частиц (запыленности газа) в газовом потоке в интервале $z = 15\div 30\text{ г}/\text{м}^3$ на гидравлическое сопротивление. В результате исследований установлено, что при одинаковых гидродинамических режимах работы наличие мелкодисперсных частиц в газовом потоке приводит к росту гидравлического сопротивления вихревого пылеуловителя до 15 %.

Изменение концентрации мелкодисперсных частиц во входящих газовых потоках в исследованном интервале при постоянных общем объемном расходе запыленного газа и кратности расходов практически не влияет на гидравлическое сопротивление лабораторного образца вихревого пылеуловителя (рис. 3).

При экспериментальных исследованиях эффективности улавливания мелкодисперсных частиц в лабораторном образце вихревого пылеуловителя проведена фото- и видеофиксация гидродинамической обстановки в цилиндрической сепарационной камере при улавливании пшеничной муки и комбикормовой пыли. Мелкодисперсный материал одновременно подается в периферийный и центральный входные патрубки в соотношении, определяемом кратностью расходов. Исследования проведены при трех повторностях опытов.

С помощью фотосъемки зафиксирована структура взаимодействующих газодисперсных потоков в лабораторном образце вихревого пылеуловителя и впервые установлено образование «вращающегося кольца» дисперсного материала в сепарационной камере (рис. 4). Экспериментально установлено, что структура, высота формирования и величина «вращающегося кольца» дисперсного материала зависит от изменения кратности расходов в интервале $k=0\div 0,5$.

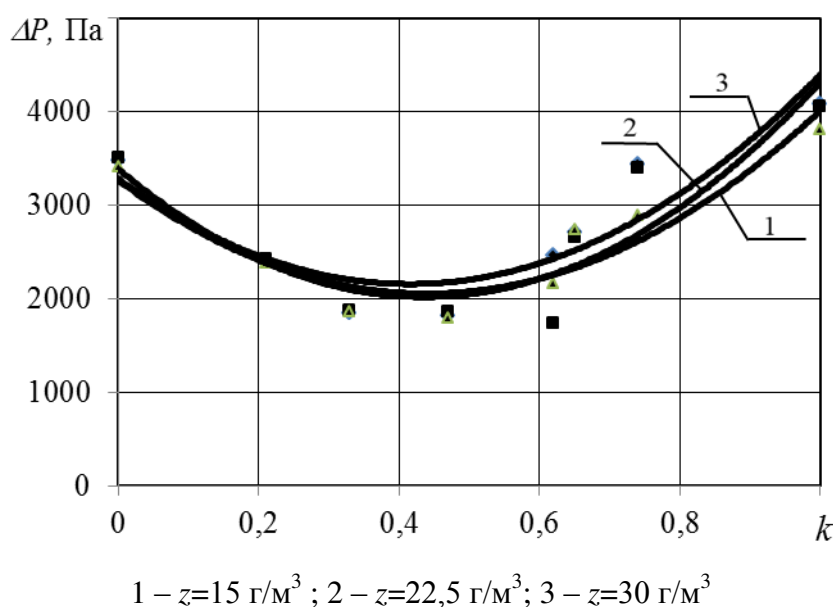
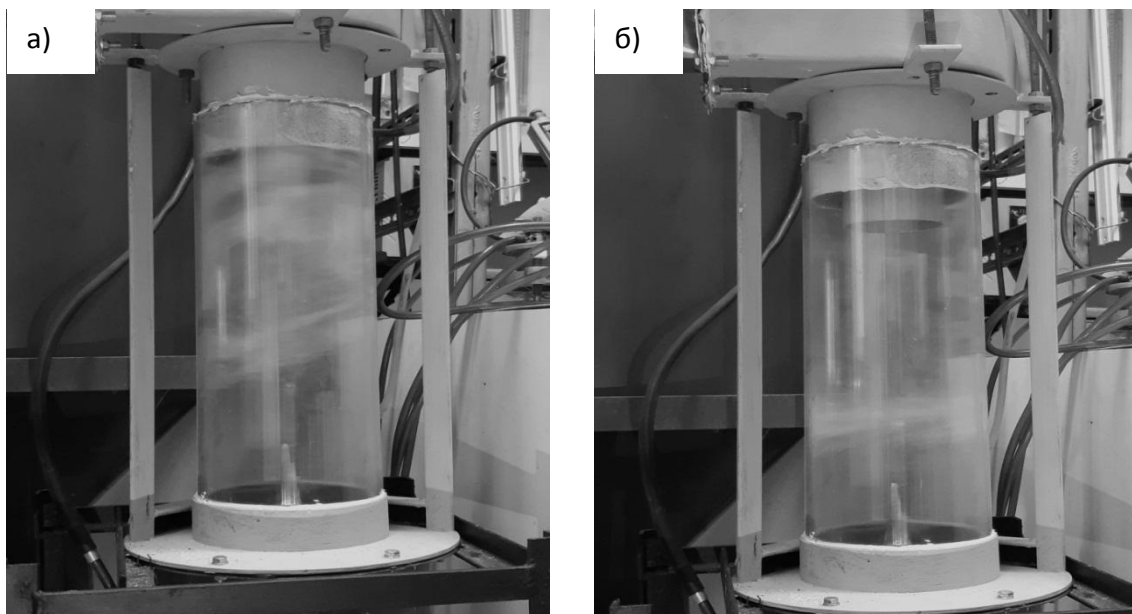


Рис. 3. Зависимости гидравлического сопротивления вихревого пылеуловителя с прозрачным цилиндрическим корпусом от кратности расходов при общем объемном расходе газа $Q_0=360\text{ м}^3/\text{ч}$ и различных концентрациях мелкодисперсных частиц

Fig. 3. Dependences of the hydraulic resistance of the vortex dust collector with a transparent cylindrical body on the flow rates at a total volumetric gas flow rate $Q_0 = 360\text{ м}^3/\text{h}$ and various concentrations of fine particles



а) – $k = 0,21$; б) – $k = 0,47$

Рис. 4. Визуализация формирования вихря и «вращающегося кольца» дисперсного материала в сепарационной камере вихревого пылеуловителя при общем объемном расходе газа $Q_0=330 \text{ м}^3/\text{ч}$ и концентрации мелкодисперсных частиц $z=15 \text{ г}/\text{м}^3$

Fig. 4. Visualization of the formation of vortex and "rotating ring" of particulates in the separation chamber of a vortex dust collector at a total volumetric gas flow rate $Q_0 = 330 \text{ м}^3/\text{ч}$ and a concentration of fine particles $z = 15 \text{ г}/\text{м}^3$

Установлено, что материал, находящийся в сепарационной камере во «вращающемся кольце», удерживается в нем и после прекращения подачи дисперсного материала в аппарат. А при уменьшении объемного расхода газа и, следовательно, центробежной силы, материал, продолжая вращаться, перемещается вниз сепарационной камеры под действием силы тяжести и поступает в бункер уловленного материала.

Так, при $k=0$, т.е. когда запыленный газовый поток подается только через центральный входной патрубок, его движение происходит по спирали снизу вверх, сопровождающееся накоплением дисперсного материала в верхней части сепарационной камеры в области периферийного потока. Установлено, что в верхней части сепарационной камеры из-за отсутствия встречного движения периферийного потока создается застойная область, в которой накапливается дисперсный материал, выделяемый из вращающегося центрального потока под действием центробежной силы. Основная часть материала выносится из аппарата вследствие близкого нахождения выхлопной трубы. При этом эффективность улавливания пшеничной муки в лабораторном образце вихревого пылеуловителя при $k=0$ составляет 15 %.

При $k=0,28$ наблюдается вращательно-поступательное встречное движение и взаимодействие двух запыленных вихревых потоков. Однако преобладание количества газа в центральном потоке обеспечивает формирование «вращающегося кольца», удерживающего материал, в верхней части сепарационной камеры. Эффективность улавливания пшеничной муки в лабораторном образце вихревого пылеуловителя составляет 25,6 %.

С увеличением кратности расходов до $k=0,33$ высота «вращающегося кольца» и количество материала в нем возрастают и «вращающееся кольцо» располагается в средней части сепарационной камеры. Эффективность улавливания пшеничной муки в лабораторном образце вихревого пылеуловителя при $k=0,33$ составляет 36,5 %.

При дальнейшем увеличении кратности расходов до $k=0,55$ преобладание энергии центробежного поля периферийного потока приводит к выраженному нисходящему перемещению потока газозвеси по спирали, сопровождающееся повышением эффективности улавливания.

Установлено, что при общем объемном расходе газа $Q_0=330 \text{ м}^3/\text{ч}$ наибольшая эффективность улавливания пшеничной муки в вихревом пылеуловителе $\eta=85\div 94 \%$ достигается в интервале $k=0,6\div 0,8$.

Исследования эффективности улавливания комбикормовой пыли при $z=15 \text{ г}/\text{м}^3$ показали наибольшие значения в интервале $k=0,6\div 0,75$ и при $k=0,65$ $\eta=89,47 \%$ (рис. 5). При этом «вращающееся кольцо» не образуется, а мелкодисперсные частицы движутся спиралеобразно.

С увеличением z до значения $22,5 \text{ г}/\text{м}^3$ наибольшая эффективность улавливания комбикормовой пыли соответствует интервалу $k=0,6\div 0,78$ и при $k=0,65$ достигает $\eta=92,05 \%$ (рис. 5).

Для $z=30 \text{ г}/\text{м}^3$ эффективность улавливания комбикормовой пыли достигает наибольших значений в интервале $k=0,6\div 0,8$ и при $k=0,74$ составляет $\eta=93,06 \%$ (рис. 5).

Определено, что в вихревом аппарате можно также проводить тепло- и массообменные процессы при гидродинамическом режиме «вращающегося кольца» дисперсного материала, что расширяет область его применения.

Для изучения влияния запыленности газа на гидродинамику вихревого пылеуловителя построены зависимости эффективности улавливания комбикормовой пыли от концентрации мелкодисперсных частиц при постоянных значениях кратности расходов (рис. 6).

Экспериментально определено, что повышение концентрации (z) мелкодисперсных частиц во входящих периферийном и центральном газовых потоках с $7,5$ до $37,5 \text{ г}/\text{м}^3$ при постоянных общем объемном расходе запыленного газа и кратности расходов ($k=0,47; 0,62$ и $0,65$) практически не влияет на эффективность улавливания мелкодисперсных материалов в лабораторном образце вихревого пылеуловителя. В то же время установлено, что при постоянных общем объемном расходе запыленного газа и кратностях расходов $k=0,21$ и $0,33$ с увеличением концентрации мелкодисперсных частиц (z) с 15 до $37,5 \text{ г}/\text{м}^3$ эффективность улавливания снижается (рис. 6).

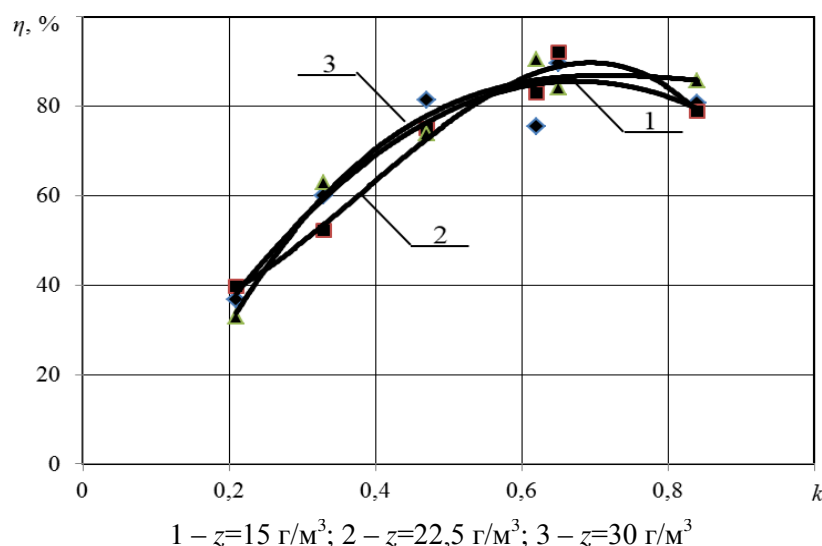
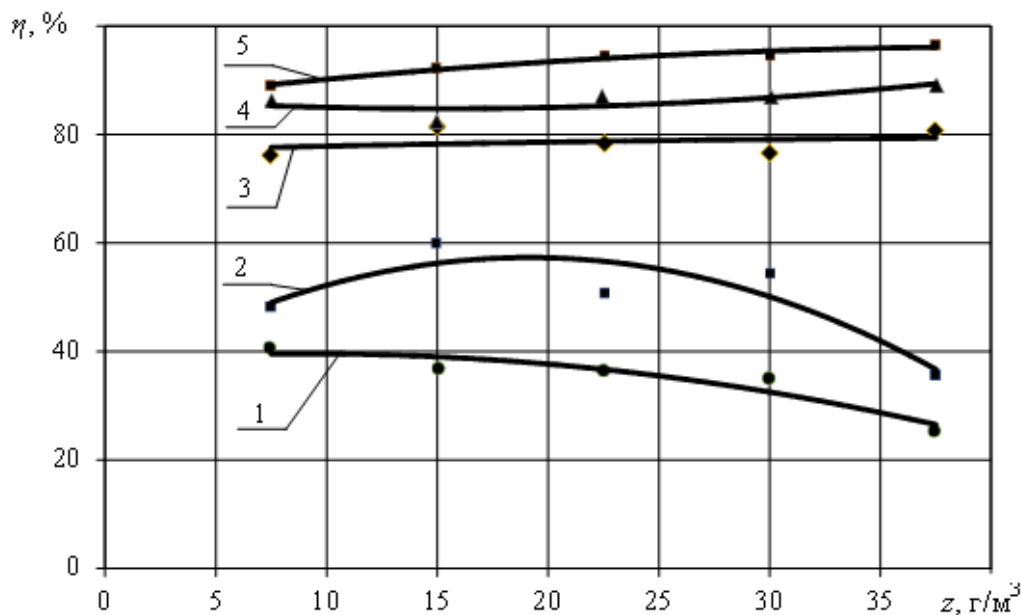


Рис. 5. Зависимости эффективности улавливания комбикормовой пыли в вихревом пылеуловителе с прозрачным цилиндрическим корпусом от кратности расходов при общем объемном расходе газа $Q_0=360 \text{ м}^3/\text{ч}$ и различных концентрациях мелкодисперсных частиц

Fig. 5. Dependences of the efficiency of collecting fodder dust in a vortex dust collector with a transparent cylindrical body on the flow rate at a total gas volume flow rate $Q_0 = 360 \text{ м}^3/\text{h}$ and various concentrations of fine particles



1 – $k=0,21$; 2 – $k=0,33$; 3 – $k=0,47$; 4 – $k=0,62$; 5 – $k=0,65$

Рис. 6. Зависимости эффективности улавливания комбикормовой пыли в вихревом пылеуловителе с прозрачным цилиндрическим корпусом от концентрации мелкодисперсных частиц при общем объемном расходе газа $Q_0=360 \text{ м}^3/\text{ч}$ и различных кратностях расходов

Fig. 6. Dependences of the efficiency of collecting fodder dust in a vortex dust collector with a transparent cylindrical body on the concentration of fine particles at a total volumetric gas flow rate $Q_0 = 360 \text{ m}^3/\text{h}$ and various flow rates

Очевидным преимуществом вихревых пылеуловителей является возможность управления гидродинамикой взаимодействия закрученных потоков. Это позволяет расширять область применения аппаратов данного типа и рассматривать их как многофункциональные, т.е. появляется возможность их эффективного использования для реализации гидромеханических, тепло- и массообменных процессов. Однако для этого необходимо определить рациональные режимно-конструктивные параметры их работы.

Разработан метод управления взаимодействующими вихревыми потоками в аппаратах для очистки газов от мелкодисперсных частиц, основанный на регулировании кратности расходов путем установки на подводящем воздуховоде вместе его разветвления на периферийный и центральный пылегазовые потоки поворотной заслонки, позволяющей изменять распределение общего объемного расхода запыленного газа. Это позволяет установить такой гидродинамический режим взаимодействия вихревых потоков, при котором обеспечивается высокая эффективность улавливания мелкодисперсных частиц при наименьшем гидравлическом сопротивлении.

Кроме того, данный метод управления позволяет расширить область применения вихревых аппаратов данного типа и рассматривать их как многофункциональные, т.е. появляется возможность их эффективного использования для реализации как гидромеханических, так и тепло- и массообменных процессов.

Установлено, что при изменении кратности расходов в интервале $k=0 \div 1$ при постоянном общем объемном расходе газа в сепарационной камере лабораторного образца вихревого пылеуловителя обеспечивается формирование различной структуры взаимодействия вихревых потоков. Так, в интервале $k=0 \div 0,5$ реализуется гидродинамический режим «вращающегося кольца», удерживающего мелкодисперсный материал. Наиболее сформированное «вра-

щающееся кольцо» наблюдается в интервале $k=0,35\div 0,5$. Гидравлическое сопротивление при этом минимально, а эффективность улавливания – невысокая. Определен интервал кратности расходов $k=0,35\div 0,6$, при котором гидравлическое сопротивление наименьшее [14–15].

Экспериментально установлено увеличение эффективности улавливания мелкодисперсных частиц комбикормовой пыли в лабораторном образце вихревого пылеуловителя с достижением наибольших значений при $k=0,6\div 0,8$. Гидравлическое сопротивление в данном интервале кратности расходов увеличивается незначительно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследована гидродинамика лабораторного образца вихревого пылеуловителя с визуализацией протекающих процессов. Впервые установлено образование «вращающегося кольца» дисперсного материала в сепарационной камере, структура, толщина и высота формирования которого зависит от изменения кратности расходов в интервале $k=0,35\div 0,5$. Получены новые зависимости гидравлического сопротивления и эффективности улавливания комбикормовой пыли в лабораторном образце вихревого пылеуловителя от режимных параметров. Разработан метод управления взаимодействующими вихревыми потоками в аппаратах для очистки газов от мелкодисперсных частиц. Рекомендован гидродинамический режим работы вихревого пылеуловителя в интервале кратности расходов $k=0,6\div 0,8$, который характеризуется наибольшей эффективностью улавливания при невысоком гидравлическом сопротивлении. Интервал кратности расходов $k=0,35\div 0,5$ рекомендован для осуществления тепло- и массообменных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Акулич, П. В. Конвективные сушильные установки: методы и примеры расчета: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по энергетическим и технологическим специальностям / П. В. Акулич, А. В. Акулич. – Минск: Вышэйшая школа, 2019. – 376 с.
- 2 Сажин, Б. С. Вихревые пылеуловители / Б.С. Сажин, Л.И. Гудим. – Москва: Химия, 1995. – 144 с.
- 3 Махоткин, И. А. Разработка и анализ результатов внедрения в производство одноступенчатых вихревых аппаратов / И. А. Махоткин, Е. А. Махоткина, Н. А. Хамидуллина // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 17. – С. 56–58.
- 4 Василевский, М. В. Обеспыливание газов инерционными аппаратами: монография / М.В. Василевский. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 258 с.
- 5 Акулич, А. В. Эффективные способы и вихревые аппараты для очистки пылегазовых выбросов от мелкодисперсных частиц / А. В. Акулич, В. М. Лустенков, А. А. Акулич // Вестник МГУП. – 2018. – № 1 (24). – С. 75–81.
- 6 The effect of cyclonevortex finder dimensionson the flow pattern and performan ceusing LES / Khairy Elsayed, Chris Lacor// Computers & Fluids.–Volume 71, 30 January 2013. – P. 224–239.
- 7 Мшвидобадзе, Ю. М. Структура течения в коаксиальном закрученном спутном потоке. Ю. М. Мшвидобадзе, В. И. Терехов, М. В. Филиппов, И. А. Чохар /Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках: материалы VI Всероссийской конференции с международным участием / Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СОРАН. – Новосибирск, 2017. – С. 77.
- 8 Simulation of Gas Flow Patternand Separation Efficiencyin Cyclone with Conventional Single and Spiral Double Inlet Configuration / B. Zhao, Y. Su, J. Zhang // Chemical Engineering Research and Design.– Volume 84, Issue 12, December 2006. – P. 1158–1165.
- 9 Халитов, Р. А. Исследование гидродинамических характеристик вихревого аппарата / Р. А. Халитов, И. А. Махоткин, А. Ф. Махоткин, Ю. В. Пензин, Э. С. Степанов, Р. Р. Туктаров. – Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 4. – С. 57–60.
- 10 Хайри Эль-Саид. Влияние размеров циклонного вихревого зонда на характер потока и производительность /Хайри Эль-Саид, Крис Лакор. – Брюссельский Университет, кафедра машиностроения, исследовательская группа «Механика жидкости и термодинамика», 1050 Брюссель, Бельгия.
- 11 Пэн, У. Экспериментальное исследование конца вихря в центробежных сепараторах / У. Пэн, А. С. Хофман, Н. W. А. Дриас, М. А. Регелинк, Л. Е. Штейн. – Физико-технический факультет, Университет Бергена, Allegaten 55, 5007 Берген, Норвегия ShellGlobalSolutionsInt., А/я 38000, 1030 BN Амстердам, Нидерланды. Химическая инженерия 60 (2005). – P. 6919–6928.
- 12 Хуэй, С. И. Влияние шероховатости стенки на поле течения и длину вихря циклона / СИ. Хуэй, GuogangSun. – Государственная ключевая лаборатория по переработке тяжелой нефти, Китайский университет нефти, Пекин, 102249, Китай. Procedia Engineering 102 (2015). – P. 1316–1325.
- 13 Леонтьев, А. И. Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках (обзор) / А. И. Леонтьев, Ю. А. Кузма-Кичта, И. А. Попов // Теплоэнергетика. – 2017. – № 2. – С. 36–54.

14 Акулич, А. В. Управление процессом очистки запыленного воздуха в вихревых аппаратах /А. В. Акулич, В. М. Лустенков, В. М. Акулич/ Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: М.Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]– Могилев: Белорус.-Рос. ун-т. – 2019. – С. 75.

15 Акулич, А. В. Исследование эффективности улавливания вихревого пылеуловителя с визуализацией протекающих процессов /А. В. Акулич, В. М. Лустенков, В. М. Акулич // Техника и технология пищевых производств: материалы XIII Междунар. научн.-технич. конф., Могилев, 23–24 апреля 2020 г. /В 2 т./ Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»; редкол.: А.В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев. – 2020. – Т. 2. – С. 5–6.

Поступила в редакцию 06.11.2020 г.

ОБ АВТОРАХ:

Александр Васильевич Акулич, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, заслуженный изобретатель РБ, Могилевский государственный университет продовольствия, e-mail: akulichav57@mail.ru.

Виктор Михайлович Лустенков, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплохладотехники, Могилевский государственный университет продовольствия.

Вера Михайловна Акулич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инженерной графики, Белорусско-Российский университет.

Александр Юрьевич Жуков, студент, Могилевский государственный университет продовольствия.

Юлия Юрьевна Давыдик, студентка, Могилевский государственный университет продовольствия.

ABOUT AUTHORS:

Aleksandr V. Akulich, D. Sc. (Engineering), Professor, Honored Inventor of the Republic of Belarus, Vice-rector for Scientific Work, Mogilev State University of Food Technologies, e-mail: akulichav57@mail.ru.

Victor M. Lustenkov, PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat and Refrigerating Engineering, Mogilev State University of Food Technologies.

Vera M. Akulich, PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Engineering Graphics, Belarusian-Russian University.

Aleksandr Yu. Zhukov, student, Mogilev State University of Food Technologies.

Yuliya Yu. Davydik, student, Mogilev State University of Food Technologies.