

**СЕКЦИЯ 3. «ПРОЦЕССЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ТЕХНОСФЕРЫ  
(ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ,  
УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ)»**

УДК 621.928

DOI: 10.37816/eeste-2024-1-164-167

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ СИСТЕМЫ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ  
ЦИКЛОН — ВИХРЕВОЙ ПРОТИВОТОЧНЫЙ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ ДЛЯ ОЧИСТКИ  
ГАЗОВ В ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ  
STUDY OF TWO-STAGE DUST COLLECTION SYSTEM  
CYCLONE — VORTEX COUNTERFLOW DUST COLLECTOR INTENDED FOR GASES  
CLEANING IN THE THERMAL TECHNOLOGICAL INSTALLATIONS**

**Александр Васильевич Акулич\*, Виктор Михайлович Лустенков\*,  
Вера Михайловна Акулич\*\*  
Alexander Vasilyevich Akulich\*, Viktor Mikhailovich Lustenkov\*,  
Vera Mikhailovna Akulich\*\***

*\*Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий,  
Республика Беларусь, Могилев*

*\*Belarusian State University of Food and Chemical Technologies,  
Republic of Belarus, Mogilev*

*\*\*Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь, Могилев*

*\*\*Belarusian-Russian University, Republic of Belarus, Mogilev  
(email: mail@mgup.by)*

*Аннотация:* Создана лабораторная установка двухступенчатой системы пылеулавливания циклон-вихревой противоточный пылеуловитель, приведены результаты экспериментальных исследований гидравлического сопротивления и эффективности улавливания мелкодисперсных пылей в данной установке. Получены зависимости для расчета общего гидравлического сопротивления и эффективности улавливания двухступенчатой системы от кратности расходов и относительного объемного расхода воздуха.

*Abstract:* A two-stage dust collection system cyclone-vortex counterflow dust collector laboratory installation has been created, and the hydraulic resistance experimental study results and the fine dust collecting efficiency in the given installation have been presented. Dependencies for the total hydraulic resistance and a two-stage system capture efficiency on the flow rate and relative volumetric air flow calculating have been obtained.

*Ключевые слова:* двухступенчатая система пылеулавливания, циклон, вихревой противоточный пылеуловитель, мелкодисперсные пыли, гидравлическое сопротивление, эффективность улавливания, кратность расходов.

*Key words:* two-stage dust collection system, cyclone, vortex counterflow dust collector, fine dust, hydraulic resistance, collection efficiency, flow rate.

Во многих отраслях химической, текстильной, пищевой промышленности стоит проблема высокоэффективной очистки пылегазовых потоков от мелкодисперсных твердых частиц [1-2]. Для решения данной проблемы в промышленных технологических и теплотехнологических установках находят применение различные способы и аппараты для очистки запыленных газовых потоков, а именно: циклоны различных типов, рукавные и зернистые фильтры, вихревые противоточные и прямоточные пылеуловители, комбинированные и мокрые пылеуловители [3-6].

Одним из направлений повышения эффективности пылеочистки является разработка двухступенчатых систем, состоящих из последовательно установленных пылеуловителей

различного типа. В данном случае важно использовать преимущества каждого типа оборудования при решении конкретной технологической задачи. При этом необходимо обеспечить требуемую производительность при высокой степени очистки пылегазовых потоков и наименьшем гидравлическом сопротивлении.

Авторами разработана схема и создана лабораторная установка двухступенчатой системы пылеулавливания, обеспечивающей снижение гидравлического сопротивления при высокой эффективности улавливания дисперсных материалов за счет рационального использования особенностей гидродинамики каждого из пылеуловителей [7-8]. Установка состоит на первой ступени из циклона ЦН-24 диаметром цилиндрической части  $D_{ц} = 0,2$  м и углом наклона входного патрубка  $24^\circ$ , который обеспечивает повышенную производительность при наименьшем гидравлическом сопротивлении и предназначен для улавливания крупной пыли. Для циклонов данного типа рекомендован интервал плановой скорости  $2,5 \div 4$  м/с. На второй ступени вихревой противоточный пылеуловитель ВПП-140. Вихревые пылеуловители являются аппаратами с управляемой гидродинамикой, что позволяет регулировать режим работы, подбирая оптимальные параметры процесса пылеочистки [3, 6]. А реализация взаимодействия двух закрученных потоков в условиях встречного движения определяет высокую эффективность улавливания мелкодисперсной фракции.

Применение вихревого противоточного пылеуловителя на второй ступени в условиях меньшей пылевой нагрузки, в том числе по крупной фракции после циклона разгрузителя, обеспечивает высокую эффективность доочистки воздуха при небольшом общем гидравлическом сопротивлении системы. Для вихревых противоточных пылеуловителей оптимальная плановая скорость находится в интервале  $5 \div 7$  м/с [3, 6].

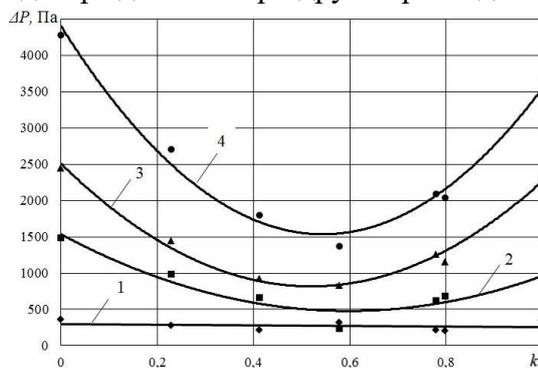
Для снижения гидравлического сопротивления предусмотрена последовательная компоновка аппаратов в условиях, когда выходящий из циклона газ перераспределяется между периферийным и центральным входными патрубками вихревого противоточного пылеуловителя в соответствии с принятой кратностью расходов посредством участка воздуховода, соединяющего выхлопную трубу циклона с периферийным и центральным входными патрубками вихревого противоточного пылеуловителя.

Проведен комплекс экспериментальных исследований эффективности улавливания и гидравлического сопротивления двухступенчатой системы пылеулавливания циклон – вихревой противоточный пылеуловитель по выбранному плану  $3^2$  двухфакторного эксперимента [9-10]. Эксперименты проведены при варьировании двух режимных параметров: общего объемного расхода воздуха со значениями  $Q_0 = 280$  м<sup>3</sup>/ч; 330 м<sup>3</sup>/ч; 380 м<sup>3</sup>/ч и кратности расходов ( $k$ ), определяемой как отношение объемного расхода воздуха, подаваемого через периферийный входной патрубок вихревого противоточного пылеуловителя к общему объемному расходу воздуха через систему, при значениях  $k = 0,4; 0,6; 0,8$ . При этом выполнено обезразмеривание параметра общего объемного расхода воздуха и получен относительный объемный расход воздуха ( $Q_0/Q_{расч}$ ), определяемый как отношение общего объемного расхода воздуха к расчетной величине общего объемного расхода воздуха, которая составляет  $Q_{расч} = 330$  м<sup>3</sup>/ч со значениями  $Q_0/Q_{расч} = 0,85; 1; 1,15$ .

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что гидравлическое сопротивление двухступенчатой системы пылеулавливания циклон-вихревой противоточный пылеуловитель зависит от кратности расходов  $k$  и относительного объемного расхода воздуха ( $Q_0/Q_{расч}$ ). На рисунке 1 приведены зависимости гидравлического сопротивления двухступенчатой системы пылеулавливания циклон-вихревой противоточный пылеуловитель от кратности расходов  $k$  при общем объемном расходе воздуха  $Q_0 = 280$  м<sup>3</sup>/ч. Следует отметить, что гидравлическое сопротивление циклона не зависит от кратности расходов. Это объясняется тем, что весь запыленный воздух не разделяясь на потоки подается в циклон. В то же время гидравлическое сопротивление вихревого противоточного пылеуловителя и воздуховода, соединяющего его с циклоном, зависит от кратности расходов (рисунок 1). При кратности расходов  $k = 0,45 - 0,7$  гидравлическое сопротивление вихревого противоточного

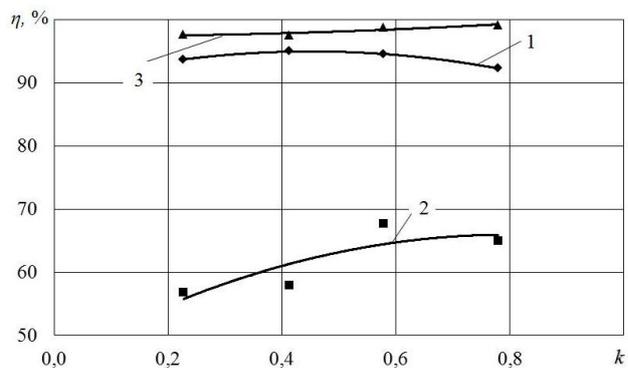
пылеуловителя, а также двухступенчатой системы наименьшее и составляет 1500 - 1750 Па при общем расходе воздуха  $Q_0=280 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Проведены экспериментальные исследования по улавливанию мучной пыли (муки пшеничной) в лабораторной установке. Получены зависимости эффективности улавливания мучной пыли в двухступенчатой системе пылеулавливания циклон-вихревой противоточный пылеуловитель от кратности расходов  $k$  при общем объемном расходе воздуха  $Q_0=280 \text{ м}^3/\text{ч}$  (рисунок 2). Из анализа полученных зависимостей следует, что при постоянном общем объемном расходе воздуха  $Q_0=280 \text{ м}^3/\text{ч}$  наибольшая эффективность улавливания мучной пыли достигается при кратности расходов  $k=0,6-0,75$  (рисунок 2). Такой характер изменения эффективности улавливания подтверждается и при других расходах воздуха.



**Рисунок 1** — Зависимости гидравлического сопротивления двухступенчатой системы пылеулавливания циклон-вихревой противоточный пылеуловитель от кратности расходов  $k$  при общем объемном расходе воздуха  $Q_0=280 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

- 1 – циклон; 2 – воздухопровод, соединяющий циклон-вихревой противоточный пылеуловитель;  
3 – вихревой противоточный пылеуловитель;  
4 – двухступенчатая система пылеулавливания



**Рисунок 2** — Зависимости эффективности улавливания мучной пыли в двухступенчатой системе пылеулавливания циклон-вихревой противоточный пылеуловитель от кратности расходов  $k$  при общем объемном расходе воздуха  $Q_0=280 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

- 1 –циклон; 2 – вихревой противоточный пылеуловитель;  
3 – двухступенчатая система пылеулавливания

В результате обработки экспериментальных данных получены зависимости для расчета общего гидравлического сопротивления и эффективности улавливания мучной пыли в двухступенчатой системе пылеулавливания циклон-вихревой противоточный пылеуловитель от кратности расходов и относительного объемного расхода воздуха:

$$\Delta P_0 = 6860 - 874,2 \left( \frac{Q_0}{Q_{\text{расч}}} \right) - 24224k + 2483 \left( \frac{Q_0}{Q_{\text{расч}}} \right)^2 + 1407 \left( \frac{Q_0}{Q_{\text{расч}}} \right) k + 19804k^2. \quad (1)$$

$$\eta_0 = 79,96 + 28,87 \left( \frac{Q_0}{Q_{\text{расч}}} \right) + 15,25k - 11,85 \left( \frac{Q_0}{Q_{\text{расч}}} \right)^2 - 10,83 \left( \frac{Q_0}{Q_{\text{расч}}} \right) \cdot k - 2,92 k^2 \quad (2)$$

### Выводы

В работе разработана и создана лабораторная установка двухступенчатой системы пылеулавливания циклон-вихревой противоточный пылеуловитель и получены новые экспериментальные данные по гидравлическому сопротивлению и эффективности улавливания мучной пыли (муки пшеничной). В результате обработки эксперимента получены зависимости для расчета общего гидравлического сопротивления и эффективности улавливания мучной пыли в двухступенчатой системе пылеулавливания от кратности расходов и относительного объемного расхода воздуха.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Штокман Е. А. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности. М. АСВ, 2001.– 354 с.
2. Николаева Л. А. Очистка газовых выбросов предприятий химической промышленности карбонатным шламом / Л. А. Николаева, А. Н. Хуснутдинов // Экология и промышленность России. – 2018. - №8. – С. 14 – 18.
3. Акулич П. В., Акулич А. 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.
4. Акулич А. В., Лустенков В. М. Новые высокоэффективные способы и пылеулавливающее оборудование на основе взаимодействующих вихревых потоков в пищевой промышленности. Сборник материалов научно-практической конференции “Инновационные решения проблем экономики знаний Беларуси и Казахстана” (13 октября 2016 года) / БНТУ, Минск, 2016., С.150–151.
5. Studies on the Hydrodynamics of the Combined Dust Collector on the Basis of Vortex Flows and Outer Filtering and the Development of the Effective Methods of Cleaning Gases from Solid Particles / Alexandr V. Akulich, Viktor M. Lustenkov, Viachaslau A. Sharshunou, Alexandr A. Akulich // «Food Science, Engineering and Technology – 2016»: Scientific Works of University of Food Technologies Proceedings of the 63<sup>rd</sup> Scientific Conference with Internacional Participation: Volume 63, Issue 1, 283–288.
6. Сажин Б. С. Вихревые пылеуловители / Б.С. Сажин , Л.И. Гудим. – Москва: Химия, 1995. – 144 с.
7. Акулич А. В. Способы и конструкции пылеулавливающих аппаратов, применяемые в теплотехнологических установках /А.В.Акулич, В.М.Лустенков, В.М.Акулич/ Международная конференция «Образование, наука и производство в XXI веке: современные тенденции развития», Могилев, Белорусско-Российский университет, 11-12 ноября 2021/ 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, 2021. – С.108.
8. Акулич А. В. Обоснование и разработка схемы двухступенчатой системы пылеулавливания в теплотехнологических установках / А.В. Акулич, В.М. Лустенков, В.М. Акулич, К.Т. Динков // Техника и технология пищевых производств: материалы XIV Междунар. научн.-техн. конф. / Могилев, 21–22 апреля 2022 г. / В 2-х т. / Учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий»; редкол.: А.В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев: БГУТ, 2022. – Т.2. – С.7-8.
9. Акулич А. В., Лустенков В. М. Определение гидравлического сопротивления двухступенчатой системы пылеулавливания циклон-вихревой противоточный пылеуловитель /Инновации в АПК – как стратегические приоритеты технологического суверенитета: Национал. науч.-практ. конф. с Междунар. участием: Ассоциация «ТППП АПК»,2022, Воронеж, 30 ноября 2022 г. – С. 56-62.
10. Акулич А. В. Исследование гидравлического сопротивления двухступенчатой системы пылеулавливания циклон-вихревой противоточный пылеуловитель и выбор параметров для планирования эксперимента / А.В. Акулич, В.М. Лустенков, С.С. Ермоленко, Н.С. Порошков // Техника и технология пищевых производств: материалы XV Юбилейной Междунар. научн.-техн. конф. / Могилев, 19–20 апреля 2023 г. / В 2-х т. / Учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий»; редкол.: А.В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев: БГУТ, 2023. – Т.2. – С.4-5.