

УДК 621.928.6

UDC 621.928.6

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

**СРАВНЕНИЕ СЕПАРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ В ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ ПРИ ОЧИСТКЕ ЗАПЫЛЕННОГО ВОЗДУХА ОТ ПИЩЕВОЙ ПЫЛИ**

**COMPARISON OF SEPARATION ELEMENTS OF VARIOUS SHAPES IN A DUST EXTRACTION DEVICE WHEN CLEANING DUSTY AIR FROM FOOD DUST**

Абдуллина Азалия Айратовна  
студент

SPIN – код автора: 8779-4251

*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Abdullina Azaliya Airatovna  
Student

RSCI SPIN-code: 8779-4251

*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Зинуров Вадим Эдуардович  
Канд. техн. наук

SPIN – код автора: 1564-3438

*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Zinurov Vadim Eduardovich  
Cand.Tech.Sci.

RSCI SPIN-code: 1564-3438

*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Воронина Ленура Тахировна  
старший преподаватель

SPIN – код автора: 2588-2686

*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия*

Voronina Lenura Tahirovna  
senior lecturer

RSCI SPIN-code: 2588-2686

*Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia*

Валиуллин Ильнар Айдарович  
аспирант

SPIN – код автора: 8221-6399

*Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия*

Valiullin Ilnar Aidarovich  
postgraduate student.

RSCI SPIN-code: 8221-6399

*Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia*

В статье рассматривается актуальная задача, которая стоит перед агропромышленным комплексом – совершенствование систем очистки воздуха, в частности, пылеуловителей. Эти устройства играют важную роль в обеспечении безопасности производственных процессов и защите окружающей среды. Рассматривается использование различных типов сепарационных устройств, таких как циклоны, барабанные и воздушно-решетные сепараторы, которые помогают минимизировать вредное воздействие пищевой пыли и других отходов на качество продукции и экосистему. В статье предложена новая конструкция пылеуловителя с V-образными сепарационными элементами, которая позволяет повысить степень очистки воздуха за счет создания волнообразной структуры потока, способствующей более эффективному отделению частиц. Исследование подчеркивает важность выбора оптимальных условий работы устройства, включая скорость входного потока и геометрическую форму элементов, для достижения максимальной эффективности и минимального гидравлического сопротивления. С

The article discusses the urgent task facing the agro-industrial complex – the improvement of air purification systems, in particular, dust collectors. These devices play an important role in ensuring the safety of production processes and protecting the environment. The use of various types of separation devices, such as cyclones, drum and air-sieve separators, which help to minimize the harmful effects of food dust and other waste on product quality and the ecosystem, is being considered. The article proposes a new design of a dust collector with V-shaped separation elements, which allows to increase the degree of air purification by creating a wave-like flow structure that promotes more efficient separation of particles. The study highlights the importance of choosing the optimal operating conditions of the device, including the input flow rate and the geometric shape of the elements, to achieve maximum efficiency and minimum hydraulic resistance. Numerical modeling is used to compare the different shapes of separation elements:  $T$ ,  $N$ ,  $V$  and  $C$ . The aim of the work is a comparative analysis of separation elements of various shapes in a dust extraction device when cleaning dusty air from solid

помощью численного моделирования сравнивается различная форма сепарационных элементов: *T*, *П*, *V* и *С*. Целью работы является сравнительный анализ сепарационных элементов различной формы в пылеуловительном устройстве при очистке запыленного воздуха от твердых частиц. Показано, что наилучшей является *V*-образная форма сепарационных элементов

Ключевые слова: ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ, ПИЩЕВАЯ ПЫЛЬ, АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ СЕКТОР, МЕЛКОДИСПЕРСНЫЕ ЧАСТИЦЫ, ЦИКЛОН, СЕПАРАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО, СЕПАРАЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

particles. It is shown that the *V*-shape of the separation elements is the best

Keywords: DUST COLLECTOR, FOOD DUST, AGRO-INDUSTRIAL SECTOR, FINE PARTICLES, CYCLONE, SEPARATION DEVICE, SEPARATION ELEMENTS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-199-001>

**Введение.** В агропромышленном секторе ключевую роль играют системы очистки воздуха – различные пылеуловители, которые обеспечивают высокий уровень безопасности производственных процессов и способствуют охране здоровья сотрудников и защите окружающей среды. Данные устройства демонстрируют высокую результативность в процессе удаления из запылённых потоков пищевой пыли и прочих отходов. Это оказывает важную функцию минимизации негативного воздействия мелких шламов на качество конечной продукции и состояние окружающей среды. В условиях постоянно возрастающих требований к экологической безопасности и нормам здоровья на рабочих местах, применение эффективных пылеуловительных систем становится не только технологической необходимостью, но и стратегической задачей для устойчивого развития агропромышленных предприятий. Интеграция продвинутых технологий очистки воздуха способствует созданию безопасной рабочей среды, минимизируя риски для здоровья персонала и влияние производственной деятельности на окружающую среду. Таким образом, применение передовых систем очистки воздуха в агропромышленном секторе является одной из важных задач в реализации экологических стандартов и повышении качества производственных процессов.

<http://ej.kubagro.ru/2024/05/pdf/01.pdf>

**Состояние исследований и актуальность проблемы.** На сегодняшний день в агропромышленном секторе получили широкое распространение различные виды сепарационных устройств. Наиболее популярными являются циклоны и сепараторы барабанного, воздушного и воздушно-решетного типа. Очистка в сепараторах барабанного типа происходит следующим образом: запыленный газ входит во вращающийся барабан, имеющий множество отверстий, в котором под действием центробежных сил силы мелкие и легкие частицы покидают барабан, а более крупные и тяжелые остаются в нем. В сепараторах воздушного типа легкие частицы уносятся, а тяжелые падают вниз и собираются в специальные контейнеры. Сепараторы воздушно-решетного типа сочетают в себе принципы работы барабанных и воздушных сепараторов. В циклонах очистка газового потока от твердых частиц осуществляется за счет инерционных (центробежных) сил, возникающих при прохождении газового потока в них. Они являются наиболее популярными, так как просты в конструктивном исполнении и эксплуатации. Однако из недостатков можно выделить быстрый износ, невысокий показатель улавливания частиц менее 20 мкм, а также достаточно высокое значение гидравлического сопротивления.

С целью усовершенствования существующих конструкций сепарационных устройств или создания новых различных модификаций проводится большое количество исследований. В работе [1] приведены результаты математического исследования различных конструкций при различных значениях входных скоростей. Предложен прямоугольный сепаратор с двутавровыми элементами. Показано, что под действием центробежных сил частицы эффективно отделяются от газа.

Авторами работы для улавливания мелкодисперсных твердых частиц из запыленных воздушных потоков предлагается использовать пылеуловительное устройство с V-образными сепарационными

элементами 1, которые вставлены в решетку 2 (рис. 1). Элементы располагаются в шахматном порядке. Такое расположение позволяет создавать волнообразную структуру потока (рис. 2). Ввиду того, что радиус поворота запыленного воздуха при огибании V-образных сепарационных элементов небольшой, создаются центробежные силы относительно высоких значений. Они действуют на частицы в запыленном воздушном потоке. В результате мелкие частицы сепарируются из газа. Далее отлетают к V-образным сепарационным элементам, отскакивают от них и, как правило, падают в бункер пылеуловительного устройства.

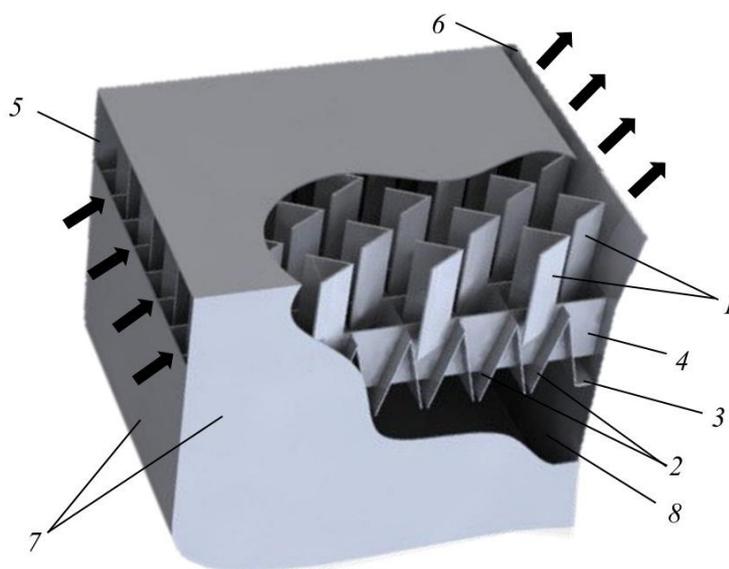


Рисунок 1 – Трехмерная модель пылеуловительного устройства с V-образными сепарационными элементами (вид с многоступенчатым сложным разрезом): 1 – V-образные сепарационные элементы; 2 – угловая поперечная решетка; 3 – поперечная пластина; 4 – продольная решетка; 5 – входной патрубок; 6 – выходной патрубок; 7 – корпус; 8 – бункер;

Угловая поперечная решетка 2 в нижней части пылеуловительного устройства образует небольшие щели, через которые сыплются частицы в бункер. С другой стороны, щели, а также установленные недалеко от корпуса поперечные пластины 3 способствуют минимизации проскока

воздуха снизу вверх (восходящий газ может возвращать отсепарированные частицы обратно в волнообразный поток). Особый интерес в данной конструкции (рис. 1) вызывает геометрическая форма сепарационных элементов [2], влияющая на эффективность очистки воздуха и потери давления в устройстве.

**Цель исследований.** Сравнительный анализ сепарационных элементов различной формы в пылеуловительном устройстве при очистке запыленного воздуха от твердых частиц.

**Материалы и методы исследований.** Исследование проводилось с помощью математического моделирования в программном комплексе Ansys Fluent. Была использована трехмерная модель для численных расчетов со следующими параметрами: высота устройства  $H - 371$  мм, высота  $V$ -образных элементов  $h - 110$  мм, высота сепарационной решетки  $h_p - 91$  мм, длина элементов  $d - 40$  мм, глубина погружения  $V$ -образных элементов в сепарационную решетку  $C_r - 27$  мм и угол между пластинами поперечной решетки  $\varphi - 29$ . В ходе исследований изменялась геометрическая форма сепарационных элементов:  $T$ ,  $П$ ,  $V$  и  $C$ . В пылеуловитель на входе задавалась скорость  $W = 0,5 - 2$  м/с и размер, поступающих частиц  $a$  был принят равным от 10 до 275 мкм, а на выходе - давление равное атмосферному. Для имитации бункера и дальнейшей оценки эффективности пылеуловителя на дне задавалось условие прилипания частиц, а на остальных поверхностях - отражение.

Последующая эффективность сепараторов  $E$  по формуле  $E = N_{in}/N$ , где  $N_{in}$ ,  $N$  – количество уловленных и всех запущенных частиц.

**Результаты исследований.** Математическое моделирование показало, что при увеличении входной скорости до 2 м/с снижается эффективность очистки пылеулавливающих устройств. При использовании  $V$ -образных сепарационных элементов эффективность составляет 81,1, 77,2

66,7 и 56,5 % при скорости воздуха на входе равной 0,5, 1, 1,5 и 2 м/с соответственно.

Снижение эффективности при увеличении скорости потока газа на входе в устройство объясняется тем, что повышается импульс частиц, которые выбиваются из запыленного волнообразного течения газа (рис. 2), что приводит к их отскоку от сепарационных элементов обратно в поток. В результате они уносятся из устройства.

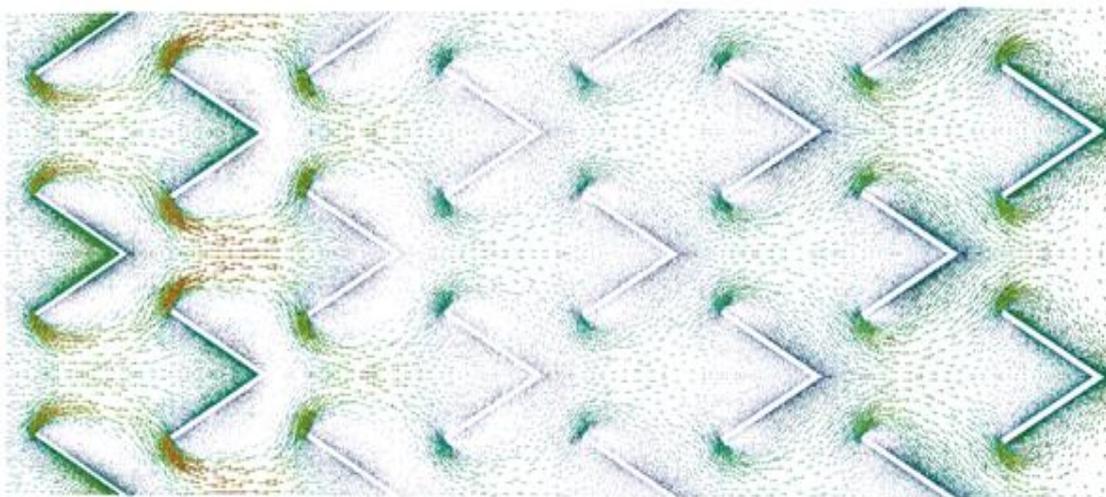


Рисунок 2 – Волнообразное течение газа в конструкции с V-образными элементами при входной скорости  $W = 1$  м/с.

Стоит отметить, что изменение конструкции сепарационных элементов в пылеулавливающих устройствах при относительно низких значениях входной скорости (до 1 м/с) практически никак не влияет на эффективность очистки запыленного воздуха (рис. 3).

На изменение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  в пылеуловителях оказывает рост значений входных скоростей и изменение геометрической формы сепарационных элементов (рис.4).

При геометрической форме сепарационных элементов вида  $T$ ,  $\Pi$ ,  $V$  и  $C$  средняя эффективность пылеулавливающего устройства составляет 51,8, 62,1, 70,3 и 65,9 % соответственно (рис. 3).

Гидравлическое сопротивление в сепараторах составляет 15,5 – 548,5 (Т), 16,6 – 614,7 (И), 13,1 – 504,3 (V) и 14,3 – 525,2 (С) Па при входных значениях скорости газового потока 0,5, 1, 1,5 и 2 м/с соответственно.

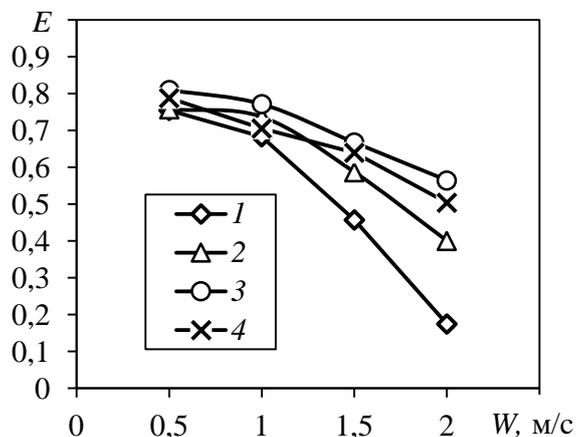


Рисунок 3 – Зависимость эффективности пылеуловителей от входной скорости  $W$  при различной геометрии сепарационных элементов:

$1 - T; 2 - И; 3 - V; 4 - C$

Очевидно, что использовать данное устройство целесообразней при низкой входной скорости, что дает высокую эффективность и низкое значение гидравлического сопротивления (рис. 4).

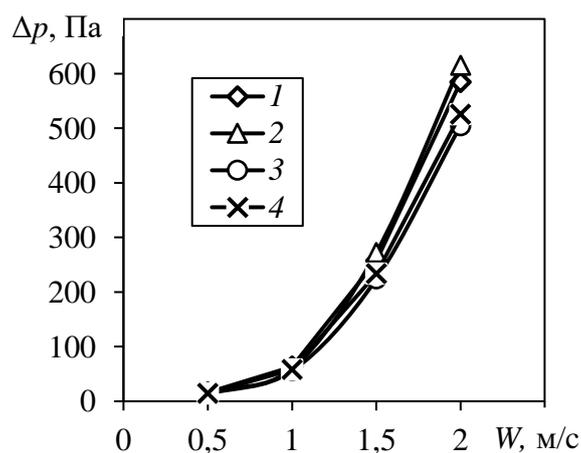


Рисунок 4 – Зависимость гидравлического сопротивления пылеуловителей от входной скорости  $W$  при различной геометрии сепарационных элементов:

$1 - T; 2 - И; 3 - V; 4 - C$

**Выводы.** 1. При уменьшение входной скорости в пылеуловитель происходит увеличение эффективности очистки газового потока. При наименьшей входной скорости равной 0,5 м/с эффективность устройства составляла около 81,1 %. 2. Различная геометрическая форма сепарационных элементов при входной скорости менее 1 м/с незначительно влияет на эффективность устройства. 3. При увеличении входной скорости гидравлическое сопротивление в устройстве увеличивается. 4. Наиболее эффективной является конструкция с V-образными элементами при входной скорости:  $W = 0,5$  м/с. При данных параметрах эффективность устройства составляет 81,1 %, гидравлическое сопротивление составляет 13,1 Па.

#### Библиографический список

1. Болтыров, В.Б. Опасные и вредные свойства угольной пыли и устройство по ее разделному улавливанию / В. Б. Болтыров, Л. А. Стороженко, Д. С. Маслов, В. А. Стороженко // Управление техносферой. – 2022. – Т. 5, № 2. – С. 150-167.
2. Салахова, Э.И. Пылеулавливающее устройство для блоков дегидрирования парафиновых углеводородов с кипящим слоем катализатора / Э. И. Салахова, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров [и др.] // Катализ в промышленности. – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 57-64.

#### References

1. Boltyrov, V.B. Opasnye i vrednye svojstva ugol'noj pyli i ustrojstvo po ee razdel'nomu ulavlivaniju / V. B. Boltyrov, L. A. Storozhenko, D. S. Maslov, V. A. Storozhenko // Upravlenie tehnosferoj. – 2022. – T. 5, № 2. – S. 150-167.
2. Salahova, Je.I. Pyleulavlivajushhee ustrojstvo dlja blokov degidrirovaniya parafinovyh uglevodorodov s kipjashhim sloem katalizatora / Je. I. Salahova, A. V. Dmitriev, V. Je. Zinurov [i dr.] // Kataliz v promyshlennosti. – 2022. – T. 22, № 2. – S. 57-64.