

УДК 621.928.6

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

**ВЛИЯНИЕ УГЛА РАСКРЫТИЯ V-ОБРАЗНЫХ СЕПАРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ ПРИ ОЧИСТКЕ ВОЗДУХА ОТ ПИЩЕВОЙ ПЫЛИ**

Абдуллина Азалия Айратовна  
Студент  
SPIN – код автора: - 8779-4251  
*Казанский государственный энергетический университет*

Зинуров Вадим Эдуардович  
Канд. техн. наук  
SPIN – код автора: 1564-3438  
*Казанский государственный энергетический университет*

Воронина Ленура Тахировна  
старший преподаватель  
SPIN – код автора: 2588-2686  
*Казанский национальный исследовательский технологический университет*

Статья посвящена актуальной проблеме, которая стоит перед сельскохозяйственным сектором – улучшение системы очистки воздуха. Для ее решения применяются различные пылеуловители. Они играют важную роль в обеспечении безопасности производственных процессов и охране окружающей среды. Рассматривается применение различных видов сепарационных устройств, таких как ситовые и циклонные сепараторы, а также фильтры, которые помогают сократить воздействие вредной пищевой пыли и других отходов на качество продукции и экосистему. В статье предлагается новая конструкция пылеуловителя с V-образными сепарационными элементами, которая способствует увеличению эффективности очистки воздуха. Исследование подчеркивает значение выбора оптимальных условий работы устройства, включая скорость входного потока и угол раскрытия V-образного элемента, для достижения максимальной эффективности и минимального гидравлического сопротивления. Исследование проведено с помощью численного моделирования. Целью исследования является исследование влияния угла раскрытия сепарационных элементов  $\alpha$  на эффективность очистки загрязненного воздуха от твердых частиц и на гидравлическое сопротивление пылеуловителя. Получено, что оптимальной является конструкция с

UDC 621.928.6

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

**THE EFFECT OF THE OPENING ANGLE OF V-SHAPED SEPARATION ELEMENTS ON THE EFFICIENCY OF THE DUST COLLECTOR WHEN CLEANING THE AIR FROM FOOD DUST**

Abdullina Azaliya Airatovna  
Student  
RSCI SPIN-code: 8779-4251  
*Kazan State Power Engineering University*

Zinurov Vadim Eduardovich  
Cand.Tech.Sci.  
RSCI SPIN-code: 1564-3438  
*Kazan State Power Engineering University*

Voronina Lenura Tahirovna  
senior lecturer  
RSCI SPIN-code: 2588-2686  
*Kazan National Research Technological University*

The article is devoted to an urgent problem facing the agricultural sector – improving the air purification system. Various dust collectors are used to solve it. They play an important role in ensuring the safety of production processes and environmental protection. The application of various types of separation devices, such as sieve and cyclone separators, as well as filters, which help reduce the impact of harmful 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 helps to increase the efficiency of air purification. The study highlights the importance of choosing the optimal operating conditions of the device, including the input flow rate and the opening angle of the V-shaped element, to achieve maximum efficiency and minimum hydraulic resistance. The study was carried out using numerical modeling. The aim of the study is to study the effect of the opening angle of the separation elements  $\alpha$  on the efficiency of cleaning polluted air from solid particles and the hydraulic resistance of the dust collector. It is found that the optimal design is the one with the smallest opening angle

наименьшим углом раскрытия

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

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

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-200-027>

**Введение.** Агропромышленный сектор активно использует системы очистки воздуха – разнообразные пылеуловители и сепараторы, которые обеспечивают безопасность производства, защищают здоровье работников и окружающую среду. Пылеуловители демонстрируют высокую эффективность при очистке газовых потоков от пищевой пыли и других отходов, что помогает улучшить качество продукции и защитить окружающую среду. В условиях повышенных требований к экологической безопасности и здоровью работников на рабочем месте, применение современных систем очистки воздуха становится необходимостью для устойчивого развития предприятий агропромышленного сектора. Внедрение передовых технологий очистки воздуха способствует созданию безопасной среды труда, снижает риски для здоровья сотрудников и воздействие на окружающую среду. Таким образом, использование современных систем очистки воздуха в агропромышленной отрасли является важной задачей для соблюдения экологических стандартов и повышения качества производственных процессов.

**Состояние исследований и актуальность проблемы.** На данный момент агропромышленный комплекс интенсивно развивается в области сепарации и улавливания частиц. Наиболее популярными аппаратами, осуществляющие улавливание частиц, являются ситовые и циклонные сепараторы, а также различные фильтры. Принцип работы ситовых сепараторов заключается в следующем: газ с частицами проходит через ячейки, отверстия сита, где более крупные частицы задерживаются на поверхности, а малые и газ опускаются вниз и проходят дальше. Данные

<http://ej.kubagro.ru/2024/06/pdf/27.pdf>

устройства чаще всего применяются для очистки зерна от нежелательных компонентов, таких как камни, песок, сорные растения и пр. Фильтры могут быть различных типов: сухие, мокрые, инерционные, гравитационные и электрические. Чаще всего встречаются комбинированные сухие инерционные пылеуловители в зернохранилищах и элеваторах; в таких аппаратах очистка происходит на основе инерционного осаждения частиц пыли на поверхностях фильтра или в специальных камерах. В циклонных сепараторах газовый поток очищается от твердых частиц путем воздействия на них центробежных (инерционных) сил. В следствие того, что данные аппараты просты в эксплуатации и конструкционном исполнении, они приобрели широкую популярность. Однако, они обладают недостатками, такими как относительно малый показатель эффективности при низких скоростях, до 5 м/с; быстрый износ и большое значение гидравлического сопротивления, вследствие быстрого движения потока внутри устройства.

Для усовершенствования текущих конструкций сепарационных аппаратов или для создания новых модификаций проводится обширный объем исследовательских работ. Так в работе [2] проведено исследование в области технологии разделения средневолокнистого семени хлопчатника на шелуху через биттер-сепаратор и его переработки. Исследования показали, что семена хлопчатника подлежат хранению на складе сроком не более, чем 2 месяца при влажности 9% и меньше. В статье [1] предложена установка по улавливанию твердых частиц, состоящая из 3 фильтров для различных фракций: крупной, средней и мелкой, а также труб, используемых для спуска уловленных частиц в камеру хранения. Таким образом, разработка новых конструкций сепарационных устройств является актуальной задачей.

Для очистки газового потока от твердых мелкодисперсных частиц авторами работы предлагается внедрить сепарационное устройство с  $V$ -

образными улавливающими элементами (рис.1). Конструктивно данное устройство представляет собой 7 рядов V-образных элементов, расположенных в шахматном порядке и погруженных в сепарационную решетку, вся данная конструкция заключена в корпус. Сепарация частиц в данном устройства происходит следующим образом: газовый запыленный поток входит в устройство далее он набегае на V-образные улавливающие элементы и огибает их. Вследствие этого создаются центробежные силы, выбивающие частицы из данного потока к стенкам или сепарационным элементам, далее мелкодисперсные частицы под действием силы тяжести опускаются вниз в бункер, а очищенный воздух выходит.

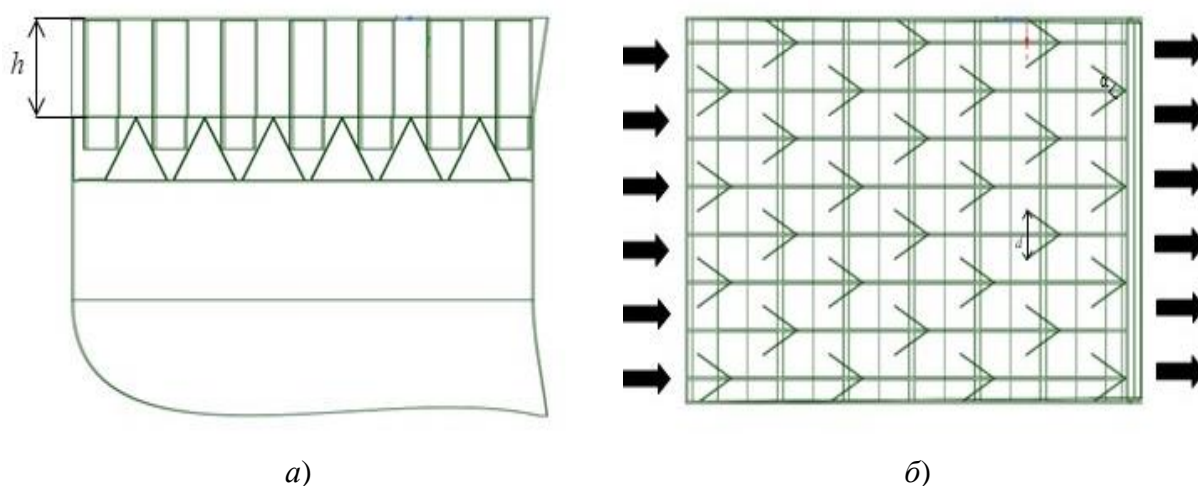


Рисунок 1 - Чертеж модели сепарационного устройства с V-образными улавливающими элементами: (а) вид сбоку; (б) вид сверху.

**Цель исследований.** Целью исследования является исследование влияния угла раскрытия сепарационных элементов  $\alpha$  на эффективность очистки загрязненного воздуха от твердых частиц и на гидравлическое сопротивление пылеуловителя.

**Материалы и методы исследований.** Работа проводилась с в Ansys Fluent, среде математического моделирования. Для проведения расчетов была использована трехмерная модель со следующими параметрами:

высота входного отверстия  $h$  – 81 мм, длина  $V$ -образных элементов  $l$  – 40 мм, высота устройства  $H$  – 351 мм. В ходе исследований изменялось значение угла раскрытия  $V$ -образного элемента  $\alpha$  на 45, 60, 90 и 120°. Стоит отметить, что при изменении величины  $\alpha$  изменялась и ширина  $V$ -образного элемента  $d$ , так как в ходе построения было решено принять ее значение согласно формуле (1):

$$d = 2l \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (1)$$

Также было принято решение приравнять расстояние между  $V$ -образными элементами к расстоянию  $d$ .

В сепарационное устройство на входе задавалась скорость  $W = 0,5 - 4$  м/с, дисперсность частиц, подаваемых в устройство, принималось равным от 10 до 315 мкм, а на выходе - давление в 1 атм. В процессе моделирования на дне пылеуловителя задавалось условие прилипания с целью имитации бункера.

Эффективность работы данного устройства вычисляем по формуле (2):

$$E = \frac{N - N_{out}}{N} \quad (2)$$

где  $N_{out}$ ,  $N$  – количество упущенных и всех запущенных частиц соответственно, шт.

**Результаты исследований.** Математическое моделирование показало, что эффективность очистки сепарационного устройства резко начинает снижаться при увеличении входной скорости до 2 м/с. Это связано с тем, что импульс частиц пыли увеличивается, и они выбиваются из волнообразного запылённого потока газа. В результате происходит их отскок от сепарационных элементов, после чего частицы возвращаются обратно в поток и уносятся из устройства.

При изменении угла  $\alpha$  на 45, 60, 90 эффективность практически не изменяется (рис 2). Снижение эффективности в данной конструкции, скорее всего, связано с возникновением малых по значению центробежных сил. При увеличении угла раскрытия увеличивается ширина V-образного элемента, которая равна радиусу поворота газа. А при увеличении радиуса поворота газа значение центробежной силы уменьшается, следовательно, снижается эффективность устройства.

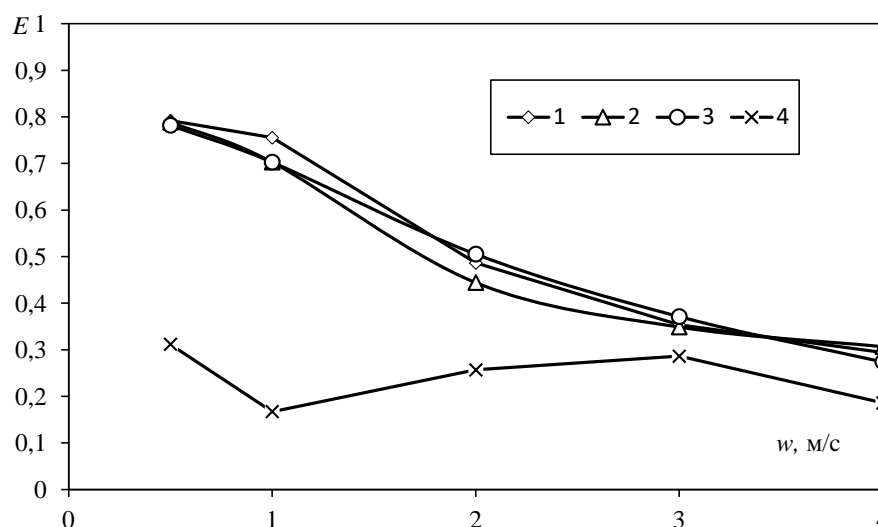


Рисунок 2 – Зависимость эффективности сепарационного устройства с V-образными улавливающими элементами от скорости газа на входе  $W$  при различном угле раскрытия  $\alpha$ , °: 1 – 45; 2 – 60; 3 – 90; 4 – 120.

Также было проведено исследование на определение зависимости коэффициента гидравлического сопротивление  $\zeta$  от режима течения газа (рис.3), определяющегося по числу Рейнольдса (3):

$$Re = \frac{w_{суж} \cdot D_{г}}{\nu}, \tag{1}$$

где  $w_{суж}$  – скорость сужения газа, то есть значение скорости в промежутке между улавливающими элементами в ряду, м/с;  $D_{г}$  - гидравлический диаметр, м;  $\nu$  – кинетическая вязкость воздуха при  $t = 20$  °С, м<sup>2</sup>/с.

Гидравлический диаметр  $D_r$  и скорость сужения газа  $v_{суж}$  находили согласно формулам (4) и (5), соответственно.

$$D_r = \frac{4 \cdot F_{суж}}{P_{суж}}, \quad (2)$$

где  $F_{суж}$  – площадь сужения,  $m^2$ ;  $P_{суж}$  – периметр сужения, м.

Площадь и периметр сужения принимаем согласно следующим выражениям:  $F_{суж} = d \cdot h$ ;  $P_{суж} = 2(d+h)$ .

$$w_{суж} = \frac{w \cdot F_{вх}}{F_{суж} \cdot n}, \quad (3)$$

где  $F_{вх}$  – площадь входного патрубка,  $m^2$ ;  $n$  – количество промежутков между улавливающими элементами в горизонтальном ряду, шт.

Площадь входного патрубка принимаем равной:  $F_{вх} = 8d \cdot h$ ;  $n = 4$ .

С увеличением числа Рейнольдса коэффициент гидравлического сопротивления не изменяется и в среднем равен 20,18; 20,96; 23,61; 27,78 при  $\alpha$  равном 45, 60, 90 и 120° соответственно (рис. 3).

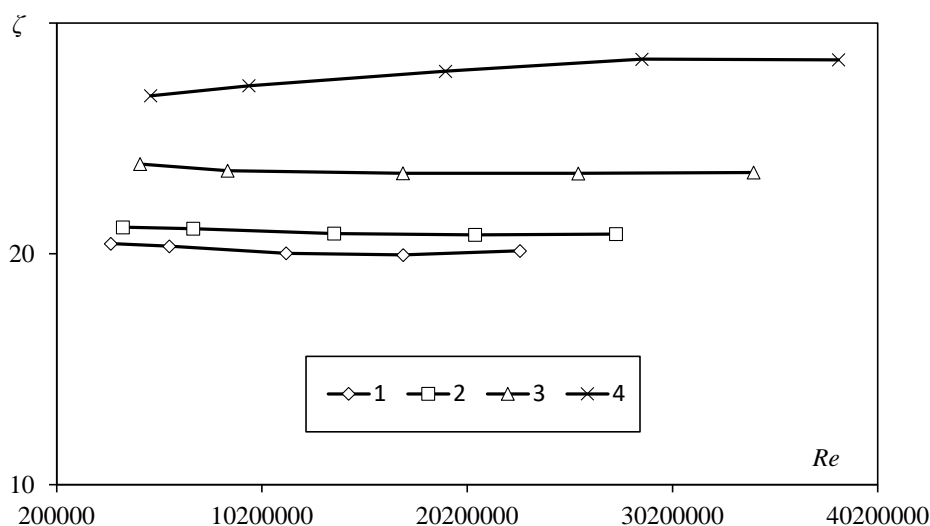


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления  $\zeta$  от течения газа при различном значении угла разворота  $\alpha$ , °: 1 – 45; 2 – 60; 3 – 90; 4 – 120.

**Выводы.** 1. В сепараторе эффективность улавливания частиц выше при низки скоростях до 2 м/с. При наименьшей входной скорости равной

0,5 м/с эффективность конструкции устройства составляла до 81,1 %.

2. Изменение угла раскрытия  $V$  – образных сепарационных элементов  $\alpha$  в диапазоне от 60 до 90° при входной скорости до 2 м/с оказывает незначительное влияние на эффективность устройства.

3. При увеличении угла  $\alpha$  коэффициент гидравлического сопротивления  $\zeta$  увеличивается.

4. Конструкция пылеуловителя, являющаяся наиболее эффективной, должна содержать сепарационные элементы с углом раскрытия 45°. Максимальная эффективность будет достигаться при скорости от 0,5 до 2 м/с. Коэффициент гидравлического сопротивления в среднем составляет 20,4.

#### Библиографический список

1. Болтыров, В.Б. Опасные и вредные свойства угольной пыли и устройство по ее разделению улавливанию / В. Б. Болтыров, Л. А. Стороженко, Д. С. Маслов, В. А. Стороженко // Управление техносферой. – 2022. – Т. 5, № 2. – С. 150-167.
2. Джураев, А. Д. Технология разделения средневолокнистого семени хлопчатника на шелуху через биттер-сепаратор и его переработка / А. Д. Джураев, Д. Д. у. Жураев, С. Ф. у. Турсунов // Вестник Иссык-Кульского университета. – 2023. – № 55. – С. 223-231.

#### 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. Dzhuraev, A. D. Tehnologija razdelenija srednevoloknistogo semeni hlopchatnika na sheluhu cherez bitter-separator i ego pererabotka / A. D. Dzhuraev, D. D. u. Zhuraev, S. F. u. Tursunov // Vestnik Issyk-Kul'skogo universiteta. – 2023. – № 55. – S. 223-231.