

УДК 621.928.6

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

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА ВЫХОДНОГО ПАТРУБКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕПАРАТОРА ПРИ ОЧИСТКЕ ВОЗДУХА ОТ ПИЩЕВОЙ ПЫЛИ

Зинуров Вадим Эдуардович

Канд. техн. наук

SPIN – код автора: 1564-3438

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Абдуллина Азалия Айратовна
студент

SPIN – код автора: - 8779-4251

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Галиев Азат Альбиртович

Аспирант

SPIN – код автора: 2980-2531

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Кузнецов Максим Геннадьевич

Канд. техн. наук

SPIN – код автора: 1592-7630

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

В статье рассмотрена проблема очистки воздуха от разнообразных загрязнений, включая пищевую пыль, остатки оболочек зерен и др. на агропромышленных предприятиях. Представлены аппараты для решений данной проблемы: циклонные сепараторы, электрофильтры и инерционные пылеуловители. Показано, что актуальной задачей является разработка новых пылеуловителей. В работе представлен сепаратор с дугообразными элементами в качестве альтернативы циклону. Целью работы является определение наиболее эффективного угла наклона выходного патрубка сепаратора. Численное исследование проведено в Ansys Fluent. В ходе исследований варьировались входная скорость запыленного воздуха от 0,5 до 2 м/с, угол наклона выходного патрубка от 5 до 20° и размер частиц. Получено, что эффективность сепаратора возрастает при снижении входной скорости. Угол наклона выходного патрубка практически не влияет на изменение эффективности. При увеличении угла наклона

UDC 621.928.6

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

THE EFFECT OF THE ANGLE OF INCLINATION OF THE OUTLET PIPE ON THE EFFICIENCY OF THE SEPARATOR WHEN CLEANING THE AIR FROM FOOD DUST

Zinurov Vadim Eduardovich

Cand.Tech.Sci.

RSCI SPIN-code: 1564-3438

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Abdullina Azaliya Airatovna
student

RSCI SPIN-code: 8779-4251

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Galiev Azat Albirtovich

Postgraduate student

RSCI SPIN-code: 2980-2531

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Kuznetsov Maxim Gennadievich

Cand.Tech.Sci.

RSCI SPIN-code: 1592-7630

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

The article considers the problem of air purification from various pollutants, including food dust, remnants of grain shells, etc. at agro-industrial enterprises. Devices for solving this problem are presented: cyclone separators, electrofilters and inertial dust collectors. It is shown that the development of new dust collectors is an urgent task. The study presents a separator with arc-shaped elements as an alternative to a cyclone. The purpose of the work is to determine the most effective angle of inclination of the separator outlet pipe. The numerical study was conducted in Ansys Fluent. During the research, the inlet velocity of dusty air varied from 0.5 to 2 m/s, the angle of inclination of the outlet pipe from 5 to 20° and the particle size. It is found that the efficiency of the separator increases with a decrease in the input speed. The angle of inclination of the outlet pipe practically does not affect the change in efficiency. As the angle of inclination of the outlet pipe increases, the pressure loss in the separator increases. The most effective parameters are: $W = 0.5$ m/s, $\alpha = 20^\circ$. With these parameters, $E = 78.2\%$ and $\Delta p = 6.7$ Pa are achieved

выходного патрубка потери давления в сепараторе повышаются. Наиболее эффективные параметры: $W = 0,5$ м/с, $\alpha = 20^\circ$. При этих параметрах достигаются $E = 78,2$ % и $\Delta p = 6,7$ Па

Ключевые слова: ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ, ПИЩЕВАЯ ПЫЛЬ, АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС, СЕПАРАТОР, ЦИКЛОН, ЭЛЕКТРОФИЛЬТР, ТВЕРДЫЕ ЧАСТИЦЫ

Keywords: DUST COLLECTOR, FOOD DUST, AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX, SEPARATOR, CYCLONE, ELECTROFILTER, SOLID PARTICLES

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-197-005>

Введение. В агропромышленном комплексе играют важную роль пылеуловители, которые не только обеспечивают безопасность и эффективность производственных процессов, но и способствуют сохранению окружающей среды и здоровья работников. Они применяются для очистки воздуха от разнообразных загрязнений, включая пищевую пыль, остатки оболочек зерен и пр., которые могут оказывать негативное воздействие как на продукцию, так и на окружающую среду. Большинство технологических линий на агропромышленных предприятиях включают узлы очистки, представляющие собой пылеуловители, особенно в условиях, когда высокая степень чистоты воздуха необходима для обеспечения качества и безопасности производимой продукции. Данные устройства помогают предотвратить загрязнение окружающей среды выбросами различных частиц, обеспечивая соответствие экологическим стандартам и нормам безопасности. Таким образом, внедрение и использование пылеуловителей в агропромышленном комплексе является необходимым шагом для обеспечения эффективности производства, сохранения качества продукции и поддержания здоровья работников.

Состояние исследований и актуальность проблемы. На текущий момент времени в агропромышленном комплексе широко применяются различные типы пылеуловителей. Среди них можно выделить циклонные сепараторы, электрофильтры, инерционные сепараторы и др. В циклонных сепараторах очистка воздуха от твердых частиц происходит с помощью центробежной силы. Электрофильтры работают на основе принципа

<http://ej.kubagro.ru/2024/03/pdf/05.pdf>

электростатической фильтрации для улавливания частиц. К инерционным пылеуловителям относят устройства, в которых используются инерционные силы для отделения твердых частиц от газового потока. Наиболее распространенными пылеуловителями являются циклонные сепараторы, т. к. характеризуются простотой конструкции, несложностью в эксплуатации, высокой эффективностью при очистке воздуха от частиц размером более 10 – 20 мкм. Ключевые недостатки данных аппаратов: высокое гидравлическое сопротивление, недолговечность поверхностей, низкая эффективность при улавливании частиц до 10 мкм.

На данный момент проводится большое количество исследований с целью улучшения существующих классических конструкций пылеуловителей или разработки новых. В статье [2] представлены результаты экспериментального исследования улавливания частиц из газа в прямоточном циклоне. Авторами получены регрессионные зависимости, которые позволяют предсказывать работу циклона при промышленной эксплуатации. Показано, что при угле расположения лопаток под углом $28 - 32^\circ$ в прямоточном циклоне достигается максимальная эффективность пылеулавливания. В работе [1] предложен новый циклонный фильтрующий аппарат. В ходе проведенного исследования выявлены способы увеличения эффективности и надежности сепарации частиц из газа, достигающиеся конструктивным дополнением циклона – установкой тканевого фильтра по спирали внутри циклона. Таким образом, увеличение эффективности работы пылеуловителей является актуальной задачей.

Авторами работы совместно с Дмитриевым А. В. и Салаховой Э. И. был предложен сепаратор с дугообразными элементами в качестве альтернативы циклонному сепаратору [3]. Ключевым достоинством предлагаемого сепаратора является достижение высокой эффективности сепарации частиц из газов при низком гидравлическом сопротивлении. В основе устройства лежат дугообразные элементы, которые заключаются в

корпус. Они располагаются в шахматном порядке. Таким образом, при движении запыленного газа внутри сепаратора создается волнообразная структура потока. В результате относительно маленького радиуса поворота запыленного газа при огибании дугообразных элементов создаются центробежные силы больших значений, чем в циклонных сепараторах, действующих на твердые частицы, что приводит к их эффективной сепарации из него. Твердые частицы сыпаются в бункер. Очищенный газ покидает сепаратор через выходной патрубок (рис. 1).

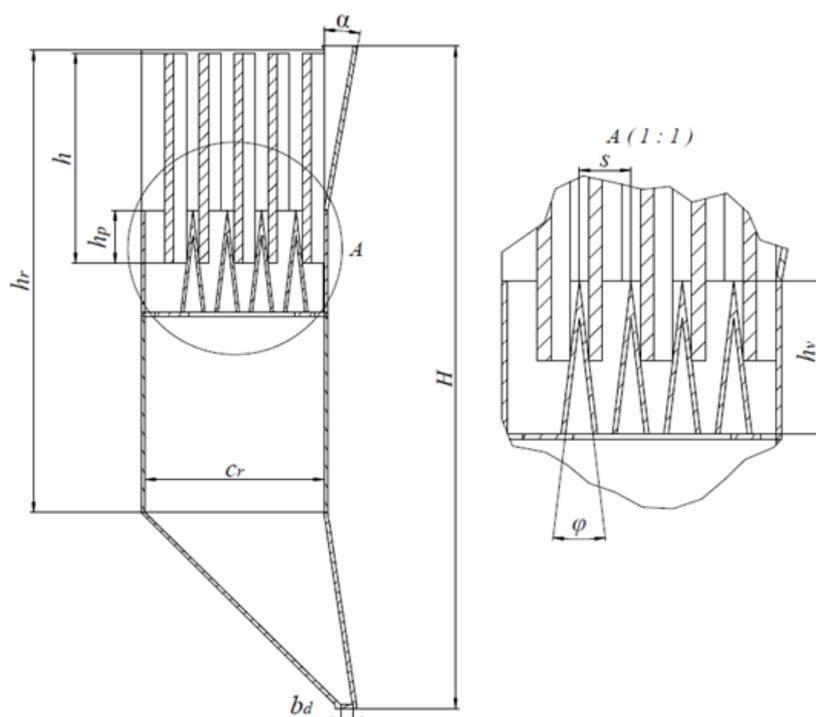


Рисунок 1 – Эскиз сепаратора с дугообразными элементами

Под дугообразными элементами располагается сепарационная решетка, обеспечивающая жесткость конструкции и минимизирующая проскок газа с частицами снизу вверх, т. е. она предотвращает возврат частиц обратно в запыленный поток. Актуальной задачей для повышения эффективности работы сепаратора является оптимизация конструктивных параметров устройства.

Цель исследований. Определить наиболее эффективный угол наклона выходного патрубка сепаратора с дугообразными элементами.

Материалы и методы исследований. Исследование выполнялось с помощью проведения численных расчетов. Для этого использовалась программа Ansys Fluent. Для численных расчетов использовалась твердотельная модель со следующими размерами: $H - 334$ мм, $h - 105$ мм, $h_p - 30$ мм, радиус элементов $r - 10$ мм, $C_r - 90$ мм и угол между V -образными пластинами $\varphi - 13^\circ$ (рис. 1). В ходе исследований варьировался угол наклона выходного патрубка сепаратора α от 5 до 20° . На входе в устройство задавалась скорость от $0,5$ до 2 м/с. На выходе из устройства задавалось атмосферное давление. Размер частиц составлял от 10 до 210 мкм. Для оценки эффективности сепаратора на поверхности бункера задавалось условие прилипания частиц. На остальных поверхностях было задано условие отражения частиц.

Определение эффективности сепаратора E с дугообразными элементами осуществлялось по формуле $E = G_{in}/G_{out}$, где G_{in} , G_{out} – расход частиц на входном и выходном патрубке сепаратора соответственно, кг/с.

Результаты исследований. Проведенные исследования позволили установить, что с увеличением входной скорости от $0,5$ до 2 м/с снижается эффективность сепаратора с дугообразными элементами (рис. 2). При входной скорости $0,5$, 1 , $1,5$ и 2 м/с эффективность сепаратора составляет не менее $77,7$, $70,5$, $66,2$ и $56,3$ % соответственно. При этом изменение угла наклона выходного патрубка от 5 до 20° практически не сказывается на эффективности устройства (рис. 3). Значимое влияние входной скорости на эффективность сепаратора обусловлено тем, что ее повышение приводит к увеличению импульса частиц при их выбивании из запыленного потока, далее они отскакивают от дугообразных элементов обратно в поток, который их уносит. Таким образом, эффективность снижается. В случае отскока частиц в пристеночную область дугообразных элементов,

характеризующуюся около нулевыми скоростями газа, они постепенно падают в бункер сепаратора.

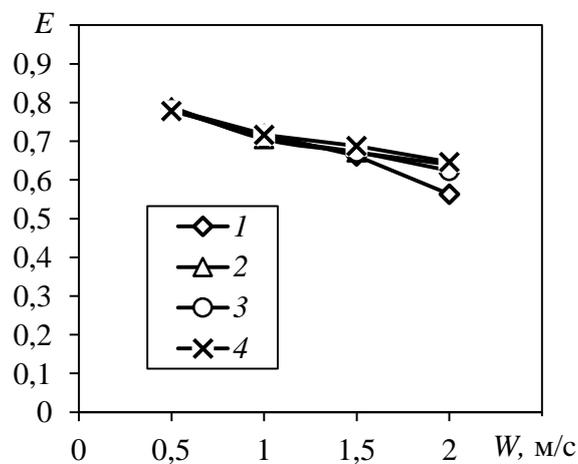


Рисунок 2 – Зависимость эффективности сепаратора с дугообразными элементами от входной скорости при различных значениях угла наклона выходного патрубка α , °: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20

Стоит отметить, что на увеличение потери давления в сепараторе влияет рост входной скорости и уменьшение угла наклона выходного патрубка (рис. 4). В данном исследовании изменение потери давления происходит от 6,7 до 726,4 Па. Очевидно, что применение сепаратора с дугообразными элементами целесообразнее осуществлять при меньшей входной скорости газа, что позволяет достичь высокой эффективности и низкого гидравлического сопротивления. С точки зрения влияния угла наклона выходного патрубка на потери давления установлено, что чем меньше сечение выходного патрубка, тем газу сложнее покидать сепаратор, соответственно, сопротивление конструкции выше.

Эффективность сепаратора при изменении входной скорости запылённого газа 0,5 до 2 м/с в среднем составляет 68,1, 70,1, 69,6 и 70,7 % при угле наклона выходного патрубка 5, 10, 15 и 20° соответственно (рис. 2).

Эффективность сепаратора при изменении угла наклона выходного патрубка от 5 до 20° в среднем составляет 78,2, 71,2, 67,3 и 61,8 % при входной скорости запыленного газа 0,5, 1, 1,5 и 2 м/с соответственно (рис. 3).

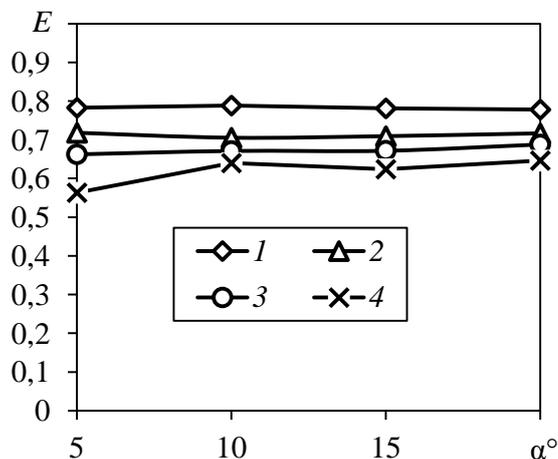


Рисунок 3 – Зависимость эффективности сепаратора с дугообразными элементами от угла наклона выходного патрубка при различных значениях входной скорости W , м/с:

1 – 0,5; 2 – 1; 3 – 1,5; 4 – 2

Потери давления в сепараторе составляют 44,5 – 726 ($\alpha = 5^\circ$), 14,3 – 233 ($\alpha = 10^\circ$), 8,6 – 144 ($\alpha = 15^\circ$) и 6,7 – 114 ($\alpha = 20^\circ$) Па при входной скорости запыленного газа равной 0,5, 1, 1,5 и 2 м/с соответственно (рис. 4).

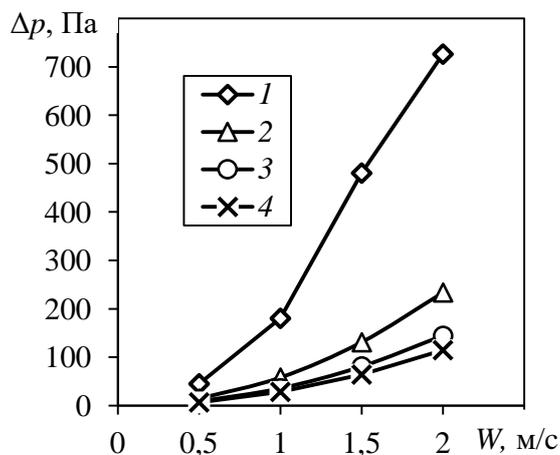


Рисунок 4 – Зависимость потери давления в сепараторе с дугообразными элементами от входной скорости при различных значениях угла наклона выходного патрубка $\alpha,^\circ$: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20

Выводы. 1. Уменьшение скорости на входе в сепаратор с дугообразными элементами позволяет повысить эффективность сепарации. При входной скорости 0,5 м/с эффективность сепаратора составляет не менее 77,7 %. 2. Угол наклона выходного патрубка ($\alpha = 5 - 20^\circ$) практически не влияет на эффективность сепаратора. 3. При увеличении угла наклона выходного патрубка потери давления в сепараторе повышаются. 4. Наиболее эффективные параметры: $W = 0,5$ м/с, $\alpha = 20^\circ$. При этих параметрах достигаются $E = 78,2$ % и $\Delta p = 6,7$ Па.

Библиографический список

1. Замалиева, А. Т. Исследование изменений аэродинамических свойств и энергоэффективности в циклонных аппаратах для очистки газа / А. Т. Замалиева, Г. И. Беляева, М. Г. Зиганшин // Территория Нефтегаз. – 2018. – № 6. – С. 114-119.
2. Кулакова, И. М. Экспериментальное и визуальное исследование процесса сепарации в прозрачной модели прямогоочного циклона с промежуточным отбором пыли / И. М. Кулакова, А. Ю. Кулаков, В. С. Асламова // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2012. – Т. 1, № 1. – С. 77-86.
3. 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. – DOI 10.18412/1816-0387-2022-2-57-64.

References

1. Zamalieva, A. T. Issledovanie izmenenij ajerodinamicheskikh svojstv i jenergojeffektivnosti v ciklonnyh apparatah dlja ochistki gaza / A. T. Zamalieva, G. I. Beljaeva, M. G. Ziganshin // Territorija Neftegaz. – 2018. – № 6. – S. 114-119.
2. Kulakova, I. M. Jeksperimental'noe i vizual'noe issledovanie processa separacii v prozrachnoj modeli prjamotochnogo ciklona s promezhutochnym otborom pyli / I. M. Kulakova, A. Ju. Kulakov, V. S. Aslamova // Sbornik nauchnyh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2012. – T. 1, № 1. – S. 77-86.
3. 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. – DOI 10.18412/1816-0387-2022-2-57-64.