

УДК 621.928.6

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

### **УЛАВЛИВАНИЕ ЧАСТИЦ ПИЩЕВОЙ ПЫЛИ ИЗ ЗАПЫЛЕННОГО ПОТОКА СЕПАРАТОРОМ С УГЛОВЫМИ ВОГНУТЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

Абдуллина Азалия Айратовна  
студент

SPIN – код автора: 8779-4251

*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Шинкевич Татьяна Олеговна  
Канд. техн. Наук, доцент

SPIN – код автора: 9724-1390

*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Тахавиев Тимур Маратович  
аспирант

*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 условиях интенсификации сельскохозяйственного производства и усиления требований к экологической безопасности, улавливание мелкодисперсных частиц приобретает особую значимость. В статье рассматривается вопрос повышения эффективности улавливания мелкодисперсных частиц. Для решения проблемы были предложена конструкция устройства, в которой улавливание частиц происходит вследствие действия инерционных и центробежных сил. Достоинством предлагаемого устройства является простота конструкции. Основными конструктивными элементами которой являются сепарационный вогнутые элементы. Исследование осуществлялось посредством численного моделирования. При проведении исследования изменялась скорость движения газа на входе в устройство и параметры частицы. Результаты моделирования показали, что наиболее высокая эффективность устройства наблюдается при низких скоростях газового потока, не превышающих 2 м/с. При минимальной входной скорости, равной 0,5 м/с, наиболее эффективная

UDC 621.928.6

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

### **CAPTURE OF FOOD DUST PARTICLES FROM A DUST-LADEN FLOW USING A SEPARATOR WITH ANGULAR CONCAVE ELEMENTS**

Abdullina Azaliya Airatovna  
student

RSCI SPIN-code: 8779-4251

*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Shinkevich Tatyana Olegovna  
Cand.Tech.Sci., associate professor

RSCI SPIN-code: 9724-1390

*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Tahaviev Timur Maratovich  
Postgraduate student

*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*

As agricultural production intensifies and environmental safety becomes increasingly prioritized, the need for effective fine particle capture has grown considerably. This study focuses on enhancing the efficiency of fine particle collection. To address the problem, a device design was proposed in which particle capture occurs due to the action of inertial and centrifugal forces. The advantage of the proposed device is its simplicity of construction, with the primary components being the concave separation elements. The study was conducted through numerical modeling. During the study, the gas flow velocity at the device's inlet and the particle parameters were varied. The simulation results indicated that the device performs with the highest efficiency at lower gas flow rates, specifically below 2 m/s. At an inlet velocity as low as 0.5 m/s, the optimal model of the device achieved an efficiency of around 79%. However, as the gas flow rate increases, the device's efficiency diminishes due to particles being reflected off the elements and re-entering the gas stream. Increasing the flow rate increases the critical particle size. The use of this separation device allows for a high degree of air

модель устройства демонстрировала уровень эффективности около 79 %. Эффективность устройства снижается по мере увеличения скорости потока газа из-за отражения от элементов обратно в движущийся поток газа. Увеличение скорости потока увеличивает критический размер частиц. Использование данного сепарационного устройства позволяет обеспечить высокую степень очистки воздуха от мелких частиц и снизить негативное воздействие на окружающую среду

Ключевые слова: ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ, ПИЩЕВАЯ ПЫЛЬ, АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ СЕКТОР, МЕЛКОДИСПЕРСНЫЕ ЧАСТИЦЫ, УГЛОВЫЕ ВОГНУТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, СЕПАРАТОР, УЛАВЛИВАНИЕ ЧАСТИЦ

purification from fine particles and reduces the negative impact on the environment

Keywords: DUST COLLECTOR, FOOD DUST, AGRICULTURAL SECTOR, FINE PARTICLES, ANGULAR CONCAVE ELEMENTS, SEPARATOR, PARTICLE CAPTURE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-201-002>

**Введение.** Улавливание мелких частиц представляет собой одну из ключевых задач во всех областях производства. В современных условиях интенсификации сельского хозяйства, повышение эффективности улавливания частиц становится неотъемлемой частью стратегии по обеспечению экологической безопасности и улучшению качества сельскохозяйственной продукции. Атмосферное загрязнение, вызванное выбросами частиц, возникающих в процессе обработки почвы, посева, уборки урожая и прочих технологических операций, оказывает негативное влияние как на окружающую среду, так и на здоровье людей. Загрязнение воздушной среды мелкими частицами может негативно сказываться на состоянии растений, животных и конечного продукта, что в свою очередь влияет на экономические показатели отрасли.

Внедрение технологий улавливания мелкодисперсных частиц позволяет не только снизить негативное воздействие на окружающую среду, но и улучшить производственные показатели за счет повышения качества продукции и снижения потерь ресурсов. Разработка систем фильтрации также играет важную роль в соблюдении международных стандартов по охране окружающей среды и здоровья работников. Введение таких систем на производстве позволяет не только снизить

<http://ej.kubagro.ru/2024/07/pdf/02.pdf>

выбросы вредных частиц в атмосферу, но и улучшить условия труда на производственных площадках. Эффективные устройства, которые могут контролировать качество воздуха и предотвращать распространение вредных частиц, становятся важной частью устойчивого развития и соответствия требованиям экологического законодательства.

Эффективные системы улавливания становятся важным элементом для достижения устойчивости и конкурентоспособности агропромышленных предприятий в условиях современного рынка.

Таким образом, развитие и внедрение новых методов улавливания частиц становится актуальной задачей.

**Состояние исследований и актуальность проблемы.** Улавливание частиц – это процесс сбора и удаления из воздуха или других сред различных частиц различного размера и состава. В агропромышленном секторе этот процесс может быть использован для решения ряда важных задач: снижение выбросов различных загрязняющих веществ, например, пыли в атмосферу; предотвращение потерь воды и удобрения при действии на них ветра; защита оборудования и инфраструктуры от износа и повреждения в результате воздействия различного рода частиц. Наиболее распространенными аппаратами агропромышленного комплекса для данных целей являются различные сепарационные устройства или фильтры. Среди наиболее распространенных видов данного устройства выделяют электростатические и магнитные фильтры. Первые из них показали высокую эффективность в улавливании мелких частиц благодаря использованию электростатического поля, которое притягивает и удерживает частицы на поверхности фильтрующего материала. Вторые привлекают внимание возможностью улавливания частиц, содержащих ферромагнитные компоненты. Это делает их незаменимыми в ряде агропромышленных процессов, где происходит выделение частиц с магнитными свойствами. Однако несмотря на преимущества данные

устройства обладают недостатками: электрофильтры требуют постоянного электропитания. Их эффективность ограничена при работе с некоторыми видами частиц. Магнитные фильтры неэффективны против некоторых видов материалов и требуют регулярной очистки или замены фильтрующих элементов.

В последние годы также ведутся исследования по созданию комбинированных систем фильтрации, которые объединяют в себе несколько видов, например, механические фильтры и циклоны.

В данной работе исследовалось устройство [1], в котором частицы улавливаются за счет инерционных и центробежных сил. Действие данных двух сил увеличивает эффективность улавливания мелкодисперсных частиц, а также за счет своей конструктивной особенности имеет возможность интеграции практически в любую технологическую линию. Таким образом, состояние исследований и актуальность проблемы улавливания мелких частиц свидетельствуют о необходимости продолжения научных исследований и внедрения инновационных технологий для обеспечения экологической безопасности и повышения эффективности производства.

Данное устройство позволит значительно уменьшить количество частиц, выбрасываемых в атмосферу, что будет способствовать снижению загрязнения воздуха и улучшению экологической ситуации в районах с интенсивным сельскохозяйственным производством.

**Цель исследований.** Выявить влияние скорости воздушного потока на характеристики устройства с вогнутыми сепарационными элементами.

**Материалы и методы исследований.** Исследование осуществлялось посредством численного моделирования. В работе использовалась полиэдрическая сеточная модель.

При создании цифровой модели задавались следующие параметры: количество элементов в ряду  $m - 4$ , количество рядов  $n - 7$ , угол раствора

каждого улавливающего элемента  $\alpha - 45^\circ$ . В процессе работы изменялись значения входной скорости  $w = 0,5 - 4$  м/с, размеры, исследуемых частиц в диапазоне 10-315 мкм, а также задавалось давление на выходе равное  $10^5$  Па.

В ходе моделирования установлено условие отражения на всех поверхностях, за исключением нижней стенки. В свою очередь, на нижней стенке было задано условие прилипания, чтобы воспроизвести оседание частиц в бункере.

Гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  исчисляется выражением (1):

$$\Delta p = p_{inp} - p_{out} \quad (1)$$

где  $p_{inp}$ ,  $p_{out}$  – значение давления на входе и на выходе из устройства.

Эффективность улавливания частиц  $E$  данным устройством вычисляется по следующей формуле (2):

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

где  $N_{inp}$  и  $N$  – количество пойманных устройством и общее число запущенных частиц в ходе работы компьютера соответственно.

**Результаты исследований.** Численное моделирование продемонстрировало, что эффективность очистки запыленного потока сепарационным устройством значительно падает при увеличении входной скорости до 2 м/с (рис. 1). Когда скорость газового потока на входе возрастает, наблюдается ухудшение его работы. Так средняя эффективность в диапазоне рассматриваемых скоростей меняется от 79 до 29%. Это объясняется тем, что импульс пылевых частиц усиливается, что приводит к их выбиванию из образуемой в процессе работы устройства волновой структуры запыленного газа. В результате, частицы сталкиваются с улавливающими элементами сепаратора или боковыми стенками устройства и, отскочив, попадают не в бункер, а возвращаются вновь в поток, который после уносит их из устройства.

Также был найден критический размер частицы  $a_{кр}$  – предельный размер частицы, после которого фракционная эффективность несильно изменяется и колеблется около определенных значений. На основании графика видно, что значение этого параметра варьируется в зависимости от скорости потока: при скорости 0,5 м/с критический размер частиц составляет 46 мкм. При скоростях 1, 2, 3 и 4 м/с он увеличивается до 69, 120, 120 и 120 мкм соответственно (рис. 1).

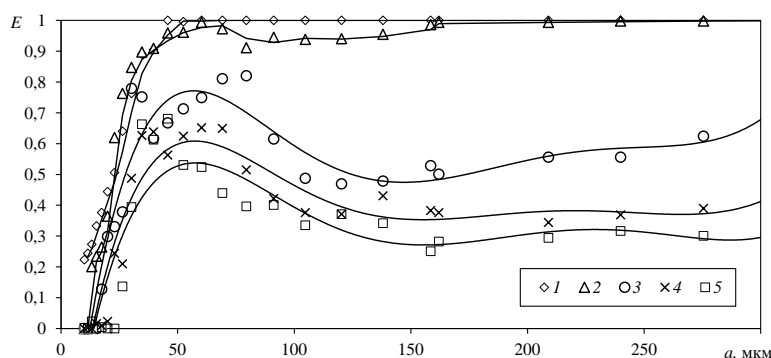


Рисунок 1 – Фракционная эффективность от размера частиц при различных входных скоростях  $w$ , м/с: 1 – 0,5; 2 – 1; 3 – 2; 4 – 3; 5 – 4.

Применение рассматриваемого устройства является наиболее оправданным при низких значениях входной скорости. В этой ситуации достигается высокая степень эффективности работы оборудования, а также минимальные показатели гидравлического сопротивления (рис. 3).

Необходимо отметить, что эффективность улавливания частиц имеет прямую связь с качеством применяемых технологий и их адаптацией к условиям конкретного производства. Именно поэтому разработка современных сепарационных устройств, которые способны обеспечивать надежное улавливание мелкодисперсных частиц, приобретает особую актуальность. Важным аспектом является также снижение энергозатрат при эксплуатации таких систем, что дополнительно стимулирует внедрение инновационных решений в данной области.

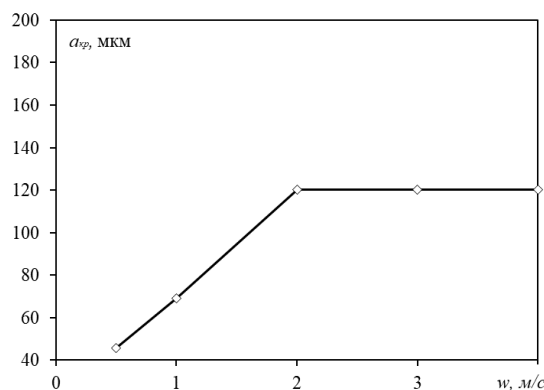


Рисунок 2 – Зависимость критического размера улавливаемых частиц  $a_{кр}$  сепарационным устройством с угловыми вогнутыми улавливающими элементами от входной скорости газа.

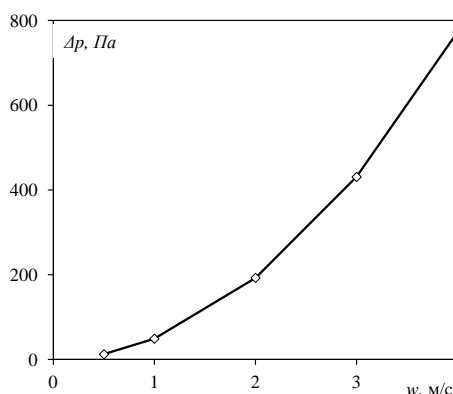


Рисунок 3 – Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta p$  сепарационного устройства с угловыми вогнутыми улавливающими элементами от входной скорости  $w$ .

Значительное внимание уделяется долговечности и простоте обслуживания таких устройств. Надежные конструкции, способные работать длительное время без снижения эффективности, являются приоритетными для использования в агропромышленном секторе. Это не только способствует повышению общей производительности, но и снижает эксплуатационные расходы, что особенно важно в условиях растущих требований к экологической безопасности и экономической эффективности производственных процессов.



Полученные результаты исследования подчеркивают необходимость дальнейшего совершенствования конструкций сепарационных устройств для оптимизации их работы в различных условиях эксплуатации. Введение дополнительных регулируемых параметров, таких как динамическая настройка угла расположения улавливающих элементов или автоматизация регулировки скорости потока, может существенно повысить общую производительность системы.

**Выводы.** 1. Сепарационное устройство с угловыми вогнутыми улавливающими элементами демонстрирует комбинированное действие инерционных и циклонных сил, что обеспечивает высокую эффективность сепарации частиц из газа 2. При увеличении скорости критический размер частиц, которые устройство способно эффективно улавливать, увеличивается. 3. При скорости 0,5 м/с устройство показывает не только высокую эффективность, но и низкое гидравлическое сопротивление, которое составляет 12 Па. 4. При увеличении скорости газового потока свыше 2 м/с эффективность устройства снижается, что указывает на необходимость оптимизации его работы при более высоких скоростях потока.

#### Библиографический список

1. Абдуллина, А. А. Влияние угла раскрытия V-образных сепарационных элементов на эффективность пылеуловителя при очистке воздуха от пищевой пыли / А. А. Абдуллина, В. Э. Зинуров, Л. Т. Воронина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 200. – С. 302-309. – DOI 10.21515/1990-4665-200-027. – EDN CSFEKK.

#### References

1. Abdullina, A. A. Vlijanie ugla raskrytija V-obraznyh separacionnyh jelementov na jeffektivnost' pyloulovitelja pri ochistke vozduha ot pishhevoj pyli / A. A. Abdullina, V. Je. Zinurov, L. T. Voronina // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – № 200. – S. 302-309. – DOI 10.21515/1990-4665-200-027. – EDN CSFEKK.