

УДК 621.928.6

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

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕПАРАТОРА С V-ОБРАЗНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

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*

Галиев Азат Альбиртович  
Аспирант

SPIN – код автора: 2980-2531

*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

В статье проведен подробный анализ сепарационной системы, направленной на повышение эффективности разделения частиц в газовых потоках агропромышленных предприятий. Основной задачей данного исследования является оценка работы по отделению мелкодисперсных частиц и оптимизация энергопотребления системы. Моделирование выполнялось с использованием вычислительной гидрогазодинамики (CFD) на базе программного комплекса ANSYS Fluent, что позволило проанализировать поведение газовых потоков и взаимодействие с частицами в трёхмерной геометрии сепаратора. Особое внимание уделялось влиянию конструкции сепаратора на ключевые параметры, такие как потери давления и эффективность улавливания частиц, что играет важную роль в снижении энергопотребления системы. Исследования проводились для различных скоростей входного потока газа, изменяющихся в диапазоне от 0,5 до 4 м/с, а также для углов раствора V-образных элементов, составляющих 45°, 60°, 90° и 120°. В качестве основного параметра эффективности анализировались коэффициенты захвата частиц, потери давления и гидравлическое сопротивление системы. Численное моделирование показало, что сепаратор с углом раствора 45° обладает максимальной эффективностью улавливания частиц, достигая 92% при низких скоростях газового потока. Также были зафиксированы

UDC 621.928.6

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

**DEVELOPMENT AND STUDY OF THE EFFICIENCY OF A SEPARATOR WITH V-SHAPED ELEMENTS FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX**

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*

Galiev Azat Albirtovich  
Postgraduate student

RSCI SPIN-code: 2980-2531

*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

The article presents a study of a separation device designed to improve the efficiency of particle separation in gas flows within agro-industrial enterprises. The main goal of the research is to evaluate the efficiency of fine particle separation and reduce the system's energy consumption. The modeling was performed using computational fluid dynamics (CFD) with the ANSYS Fluent software, which allowed for an analysis of the gas flow behavior and particle interaction in the separator's three-dimensional geometry. Special attention was given to the influence of the separator's design on key parameters, such as pressure losses and particle capture efficiency, which play a significant role in reducing the system's energy consumption. The research was conducted for different gas inlet velocities, ranging from 0.5 to 4 m/s, and for V-shaped element angles of 45°, 60°, 90°, and 120°. The main parameters analyzed for efficiency included particle capture coefficients, pressure losses, and the hydraulic resistance of the system. The numerical modeling results revealed that the separator with a 45° element angle demonstrated the highest particle capture efficiency, reaching 92% at low gas flow speeds, along with the lowest pressure losses and hydraulic resistance of 771 Pa. The implementation of such solutions can reduce operating costs and increase the productivity of processing lines

минимальные потери давления и гидравлическое сопротивление, составляющее 771 Па. Внедрение данной конструкции способствует снижению эксплуатационных затрат и повышению производительности перерабатывающих линий

Ключевые слова: СЕПАРАТОР, V-ОБРАЗНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ГИДРОГАЗОДИНАМИКА, ANSYS FLUENT, МЕЛКОДИСПЕРСНЫЕ ЧАСТИЦЫ, АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС, ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ, ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Keywords: SEPARATOR, V-SHAPED ELEMENTS, COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS, ANSYS FLUENT, FINE PARTICLES, AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX, PRESSURE LOSSES, HYDRAULIC RESISTANCE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-203-009>

**Введение.** В современном агропромышленном комплексе постоянно повышаются требования к эффективности обработки сельскохозяйственной продукции. В этом контексте процессы разделения материалов на фракции приобретают всё большее значение, так как они обеспечивают повышение качества конечного продукта и рациональное использование ресурсов.

Сепарационные технологии играют решающую роль в переработке зерна и других культур, обеспечивая высокую степень очистки от нежелательных примесей и более точное распределение продукта по размерным фракциям. Эффективное разделение способствует оптимизации последующих технологических процессов, таких как сушка, измельчение и упаковка, что в итоге повышает общую рентабельность производственной линии.

Одним из важных направлений в развитии техники для сельского хозяйства является разработка новых конструкций сепараторов, которые способны обеспечить как высокую производительность, так и устойчивость к износу и другим эксплуатационным нагрузкам. В последние годы особое внимание уделяется созданию конструкций, которые уменьшают энергозатраты и обеспечивают более бережное отношение к продукту, что особенно важно для сохранения его качества. Снижение механического воздействия на зерновой материал при

<http://ej.kubagro.ru/2024/09/pdf/09.pdf>

сепарации позволяет избежать его повреждений, что положительно сказывается на конечных характеристиках продукции.

Текущие изменения в агропромышленности, а также стремление к более эффективным методам переработки диктуют необходимость в разработке и внедрении инновационных решений для процессов сепарации. Именно в таких условиях новые модели сепараторов становятся важным элементом технологической цепочки.

### **Состояние исследований и актуальность проблемы.**

Сепарационные устройства, применяемые в агропромышленности, активно совершенствуются на протяжении последних десятилетий. Значительное внимание в исследованиях уделяется повышению эффективности разделения частиц различных фракций и уменьшению энергозатрат. Научные работы последних лет сосредоточены на поиске новых геометрических решений, которые позволят повысить точность разделения и уменьшить затраты на обслуживание оборудования.

В исследовательских работах рассматриваются различные конструкции сепараторов, среди которых можно выделить традиционные барабанные, вихревые и вибрационные модели. Сепарационные устройства с V-образными элементами демонстрируют высокую эффективность при работе с мелкими и средними фракциями [1]. Они обеспечивают равномерное распределение частиц по сепарирующей поверхности, что способствует увеличению качества разделения и снижению вероятности засоров.

Актуальность разработки новых моделей сепараторов обусловлена как увеличивающимися требованиями к качеству перерабатываемой продукции, так и экономическими факторами. Современные технологии требуют оборудования, способного работать в условиях высокой интенсивности, обеспечивая при этом минимальные эксплуатационные затраты. В этой связи исследователи продолжают работать над

уменьшением износа сепарирующих элементов и увеличением их срока службы. Проблема энергопотребления остаётся одной из ключевых, и в этом направлении ведутся активные исследования по разработке конструкций с более эффективными потоками разделения и минимизацией потерь энергии на трение и другие побочные процессы.

Инновационные подходы к проектированию сепараторов могут не только повысить качество разделения, но и сократить издержки, связанные с их эксплуатацией. В условиях растущего спроса на сельскохозяйственную продукцию эти разработки становятся важной частью общей стратегии повышения эффективности агропромышленных предприятий.

В сепарационных устройствах данные элементы (рис. 1) располагаются в шахматном порядке. Такое расположение позволяет создать ступенчато-волновую структуру потока. При течении которой возникают центробежные и инерционные силы, отделяющие частиц от газа.

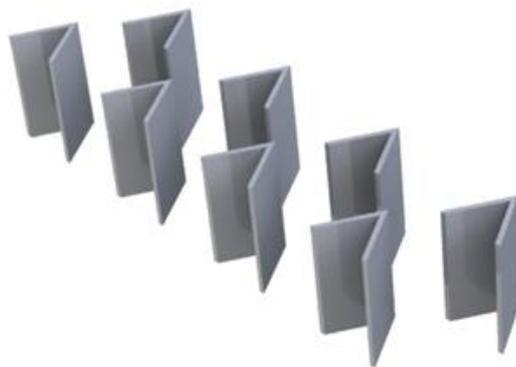


Рисунок 1 – Трехмерная модель V-образные сепарационных элементов

**Цель исследований.** Целью работы является численное моделирование отделения частиц от газа в устройстве с V-образными элементами.

**Материалы и методы исследований.** Для исследований применялась вычислительная гидродинамика (CFD), с использованием

программного обеспечения ANSYS Fluent, которое позволяет моделировать процессы разделения частиц в сложных многокомпонентных потоках газа. Данный метод предоставляет возможность детально исследовать поведение потоков и взаимодействие частиц с сепарирующими элементами, что особенно важно для оценки эффективности различных конструкций сепараторов.

Для моделирования применялась трёхмерная геометрическая модель сепарационного устройства с V-образными элементами. Анализ производился на основе решения уравнений Навье-Стокса, что позволяет учитывать как ламинарные, так и турбулентные режимы движения газовых потоков. Моделирование турбулентности выполнялось с использованием модели  $k-\epsilon$ , которая показала высокую точность для рассматриваемых задач.

При моделировании сепарационного устройства с V-образными элементами особое внимание было уделено построению сеточной модели, которая обеспечивала точность расчётов для сложной геометрии системы. Сетка была создана с использованием метода многокомпонентного разбиения области на элементы, что позволило детально описать взаимодействие газа с поверхностями сепарационных элементов. Для повышения точности в областях с высоким градиентом скоростей и давления, таких как зоны непосредственного контакта газовых потоков с V-образными элементами, использовались адаптивные уточнения сетки.

Особенность данной сеточной модели заключалась в том, что в зонах с высоким уровнем турбулентности, где происходят интенсивные взаимодействия частиц с элементами сепаратора, сетка имела более мелкий шаг. Это позволило обеспечить более точное моделирование вихревых структур и локальных завихрений, которые оказывают существенное влияние на эффективность процесса сепарации. Кроме того, сетка была оптимизирована для достижения баланса между точностью

расчётов и допустимым временем вычислений, что сделало возможным выполнение моделирования в разумные сроки без потери качества данных.

Система была исследована при различных скоростях входного потока газа (от 0,5 до 4 м/с), с варьированием углов раствора V-образных элементов (45°, 60°, 90° и 120°). Для расчётов использовалась методика дискретных частиц (DPM), что позволило учесть взаимодействие частиц с потоком газа и сепарационными элементами. Особое внимание уделялось оценке эффективности улавливания частиц в зависимости от их размера и угла наклона элементов.

С помощью ANSYS Fluent проводилось моделирование распределения скоростей, давления, а также траекторий движения частиц в сепарационной зоне. В результате моделирования было получено поле скоростей и давления для каждой конфигурации V-образных элементов, что позволило выявить наиболее эффективные конструктивные решения. Рассматривались такие параметры, как гидравлическое сопротивление системы, коэффициент улавливания частиц и потери давления.

**Результаты исследований.** Исследования с помощью математического моделирования эффективности улавливания частиц отличающихся конструктивно сепарационными устройствами при различном параметре – входной скорости, изменяющейся в диапазоне 0,5-4 м/с показали, что наибольшая эффективность достигается при низких скоростях, до 1 м/с вне зависимости от угла раствора V-образного элемента (рис. 2).

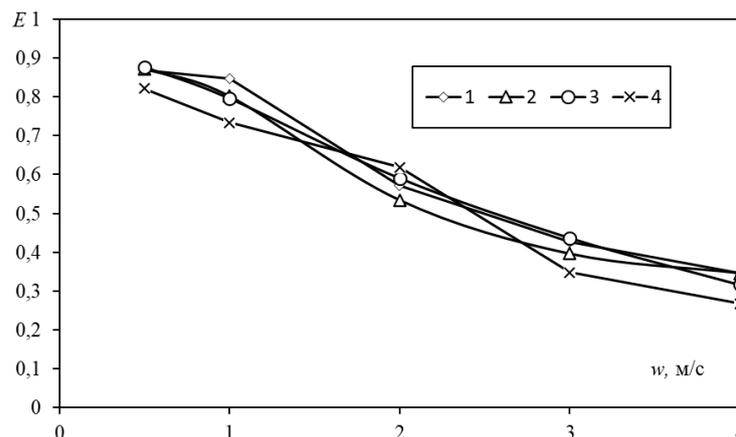


Рисунок 2 - Зависимость средней эффективности очистки газового потока частиц плотностью  $\rho=4000 \text{ кг/м}^3$  от скорости потока  $w$  при различном значении раствора V-образных элементов,  $\alpha$ , °: 1-45; 2-60; 3-90; 4-120.

Также следует отметить, что наибольшей эффективностью обладает конструкция с наименьшим углом раствора в  $45^\circ$ , скорее всего, это связано с тем, что при данном угле раствора частицы, попадающие в сепарационные элементы, будут биться чаще об них и тем самым гасить свой импульс и увеличивать свои шансы просто опуститься вниз в бункер под действием силы тяжести и остаться там, а не вылететь из устройства возвратным потоком.

Гидравлическое сопротивление экспоненциально зависит от скорости, то есть чем выше скорость, тем выше гидравлическое сопротивление (рис.3), стоит учитывать тот факт, что высокое гидравлическое сопротивление приводит к увеличению потерь давления в системе, что снижает её эффективность и производительность.

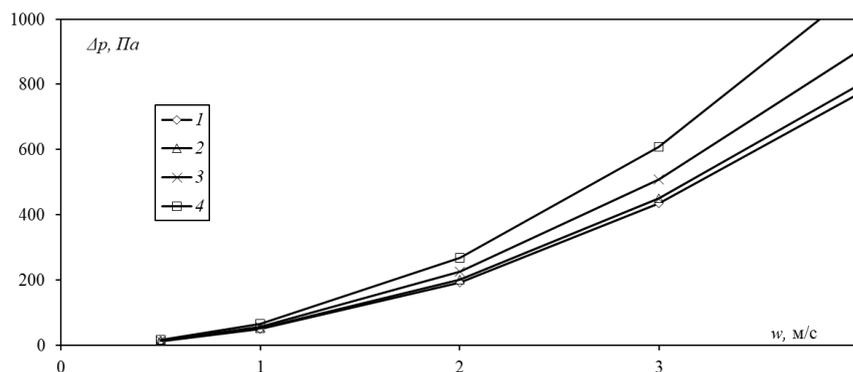


Рисунок 3 - Зависимость гидравлического сопротивления сепарационного устройства для очистки газового потока частиц плотностью  $\rho=4000 \text{ кг/м}^3$  от скорости потока  $w$  при различном значении раствора V-образных элементов,  $\alpha$ , °: 1-45; 2-60; 3-90; 4-120.

Наиболее эффективной моделей является устройство с углом раскрытия V-образных элементов равным  $45^\circ$ , так как максимальное гидравлическое сопротивление составляет 771 Па, что в 1,04; 1,17 и 1,42 раза меньше, чем у моделей с углом раствора 60, 90 и  $120^\circ$  соответственно.

**Выводы.** 1. Сепаратор с углом раствора V-образных элементов  $45^\circ$  продемонстрировал максимальную эффективность улавливания частиц – до 92%, что значительно превышает результаты моделей с углами раствора  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $120^\circ$ , при которых эффективность составила 88%, 83% и 78% соответственно. 2. Гидравлическое сопротивление сепаратора с углом  $45^\circ$  составило 771 Па, что на 4% ниже, чем у модели с углом раствора  $60^\circ$ , на 17% ниже по сравнению с углом  $90^\circ$  и на 42% ниже, чем у модели с углом  $120^\circ$ . Это указывает на оптимальные рабочие характеристики при сохранении высокой эффективности. 3. Экспоненциальный рост гидравлического сопротивления был зафиксирован при скорости потока свыше 2 м/с, что сопровождалось увеличением потерь давления до 30%. Это ограничивает использование сепаратора при высоких скоростях для сохранения его эффективности. 4. Применение вычислительной гидрогазодинамики (CFD) с использованием ANSYS Fluent показало

высокую точность в моделировании процессов разделения частиц в сепараторах с V-образными элементами.

### **Библиографический список**

1. Численное исследование влияния геометрии элементов сепаратора для очистки пыли пищевых производств на его эффективность / В. Э. Зинуров, А. А. Абдуллина, В. В. Харьков, И. Н. Мадышев // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2024. – Т. 27, № 3. – С. 437-446. – DOI 10.21443/1560-9278-2024-27-3-437-446.

### **References**

1. Chislennoe issledovanie vlijaniya geometrii jelementov separatora dlja ochistki pyli pishhevyh proizvodstv na ego jeffektivnost' / V. Je. Zinurov, A. A. Abdullina, V. V. Har'kov, I. N. Madyshev // Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2024. – Т. 27, № 3. – S. 437-446. – DOI 10.21443/1560-9278-2024-27-3-437-446.