

УДК 66.074.2

UDC 66.074.2

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)

### **СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ СЕПАРАЦИИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**

### **MODERN DESIGN SOLUTIONS FOR EFFECTIVE SEPARATION IN THE AGRICULTURAL INDUSTRY**

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*

Попкова Оксана Сергеевна  
Канд. техн. Наук, доцент  
SPIN – код автора: 4884-0466  
*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Popkova Oksana Sergeevna  
Cand.Tech.Sci., associate Professor  
RSCI SPIN-code: 4884-0466  
*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

В статье рассмотрены перспективы применения современных очистительных устройств в сфере агропромышленного комплекса, где важно обеспечивать высокое качество продукции при минимальных затратах ресурсов. Актуальность темы обусловлена стремительным развитием технологических процессов, повышающимися требованиями к экологической безопасности производства и необходимостью повышения энергоэффективности оборудования. Новые методы сепарации позволяют оптимизировать процессы удаления примесей из газовых потоков и разделять твёрдые частицы различной крупности, что непосредственно влияет на снижение потерь сырья и повышение конкурентоспособности готовой продукции на рынке. В ходе исследования проанализировано влияние гидравлических и аэродинамических параметров на фракционную эффективность сепарации, а также определена зависимость гидравлического сопротивления от скорости входного потока. Полученные результаты указывают на то, что рациональный выбор рабочей скорости является одним из ключевых факторов достижения максимальной эффективности улавливания твёрдых частиц при сохранении низких потерь давления. Применение оптимальных режимов функционирования, а также совершенствование конструктивных элементов сепараторов, позволяют значительно улучшить качество очистки и сократить эксплуатационные расходы. Предложенные конструктивные и технологические решения могут быть адаптированы под различные направления агропромышленного производства, от

The article explores the prospects for applying modern purification devices in the agricultural industry, where ensuring high product quality with minimal resource consumption is crucial. The relevance of this topic is driven by the rapid advancement of technological processes, increasing environmental safety requirements in production, and the need to improve the energy efficiency of equipment. New separation methods allow for the optimization of impurity removal from gas flows and the classification of solid particles by size, which directly affects raw material loss reduction and enhances the competitiveness of the final product on the market. The study analyzes the influence of hydraulic and aerodynamic parameters on the fractional efficiency of separation, as well as the dependence of hydraulic resistance on the inlet flow velocity. The results indicate that selecting an optimal operating velocity is one of the key factors in achieving maximum efficiency in capturing solid particles while maintaining minimal pressure losses. The application of optimized operational modes and the refinement of separator design elements significantly improve purification quality and reduce operating costs. The proposed design and technological solutions can be adapted to various agricultural production sectors, ranging from grain processing to livestock complexes, where maintaining air cleanliness and complying with sanitary and hygienic standards is essential

зернопереработки до животноводческих комплексов, где важно поддерживать чистоту воздуха и соблюдать санитарно-гигиенические нормы

Ключевые слова: АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС, СЕПАРАЦИЯ, ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛАВЛИВАНИЯ, ГАЗОВЫЙ ПОТОК, КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Keywords: AGRICULTURAL INDUSTRY, SEPARATION, HYDRAULIC RESISTANCE, PARTICLE CAPTURE EFFICIENCY, GAS FLOW, DESIGN SOLUTIONS, ENERGY EFFICIENCY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-207-050>

**Введение.** Современный агропромышленный комплекс (АПК) предъявляет высокие требования к технологиям очистки, сортировки и переработки сырья. От качественного удаления примесей, микрочастиц и пылевых загрязнений напрямую зависит как конечное качество продукции, так и безопасность производственных процессов. Помимо традиционных методов обработки зерна или других сельскохозяйственных культур, всё более востребованными становятся инновационные подходы к разделению сырья на различные фракции с целью увеличения выхода целевого продукта и сокращения потерь.

В условиях растущих объёмов производства и ужесточающихся экологических норм использование высокоэффективных сепарационных устройств приобретает особую актуальность. Они позволяют не только тщательно очистить воздух или газовые смеси, но и сохранять при этом энергоэффективность, что крайне важно с точки зрения экономического обоснования внедрения новых технологий.

Особое внимание уделяется конструкциям, способным работать в широком диапазоне скоростей потока, поскольку в реальных условиях АПК нередко встречаются колебания параметров воздушных или газовых струй. Поэтому надёжные, многофункциональные и энергоэффективные сепараторы становятся предметом повышенного интереса со стороны учёных и инженеров-практиков. Различные геометрические исполнения сепарационных элементов (например, пластины, циклоны, лопастные

<http://ej.kubagro.ru/2025/03/pdf/50.pdf>

насадки) обеспечивают выбор оптимального режима отделения частиц, позволяя эффективно собирать мелкодисперсные включения и при этом снижать гидравлические потери.

Рост конкурентоспособности агропромышленных предприятий сегодня неразрывно связан со снижением энергозатрат и обеспечением экологической безопасности. Именно поэтому появление новых решений в сфере сепарации даёт возможность улучшать показатели производительности, добиваться более высокой чистоты исходного продукта и экономить ресурсы. Поиск конструктивных и технологических путей повышения эффективности очистки продолжает оставаться важнейшим направлением в научно-практической деятельности, формируя основу для дальнейшего развития отраслевых инноваций.

**Состояние исследований и актуальность проблемы.** Мировая практика показывает, что в секторе агропромышленного производства активно применяются разнообразные конструкции сепарационных систем, начиная от классических гравитационных аппаратов и заканчивая современными многоступенчатыми циклонами с дополнительными насадками. При этом каждая модификация преследует цель повысить эффективность улавливания целевой фракции и одновременно сократить энергоёмкость процесса. Однако далеко не всегда существующие решения позволяют достичь оптимального сочетания низкого гидравлического сопротивления и высокой эффективности отделения частиц мелкой и средней дисперсности. Особенно остро эта проблема встаёт при увеличении производительности технологических линий, когда скорость воздушного потока возрастает и частицы не успевают выпадать в осадок под действием гравитационных или центробежных сил.

В отечественной и зарубежной научной литературе неоднократно подчёркивается, что будущее сепарационных технологий лежит в области разработки новых геометрических форм и рационального расположения

элементов в корпусе. Важное направление исследований связано с оптимизацией распределения потоков внутри очистительной камеры. Например, ряд авторов рассматривает внедрение перегородок, решёток или пластин, расположенных под разными углами, чтобы увеличить контакт загрязнённого воздуха с сепарирующими поверхностями и тем самым повысить вероятность захвата твёрдых примесей.

Параллельно растёт интерес к моделированию процессов сепарации с использованием вычислительных гидродинамических методов (CFD). Это позволяет прогнозировать потери напора, определять критические зоны рециркуляции и корректировать конструктивные параметры ещё на этапе проектирования. Такие подходы дают возможность снизить риск неэффективной работы прототипных установок и ускоряют процесс внедрения новых технологий на реальные производства.

Несмотря на достигнутые успехи, актуальной задачей остаётся поиск универсальных, простых в изготовлении и обслуживании сепарационных устройств, способных функционировать в меняющихся условиях АПК. Разработка инновационных решений в этом направлении обеспечивает не только повышение качества переработки сырья, но и существенную экономию энергетических и материальных ресурсов.

**Цель исследований.** Установить оптимальные режимы работы с наибольшей фракционной эффективностью и наименьшими гидравлическими потерями в новом очистительном устройстве с прямоугольными пластинами.

**Материалы и методы исследований.** Для проведения исследований было построено очистительное устройство с прямоугольными пластинами, принцип очистки которого совмещает в себе работу центробежных или инерционных сил, а также сил тяжести [1]. В конструкцию данного устройства входят несколько рядов прямоугольных пластин 3, расположенных под углом в  $90^0$  по отношению к друг другу, погруженных

на определенную глубину в сепарационную решетку 2 и облаченную в корпус 5 с входным и выходным патрубками 1 и 6, соответственно, для прохождения газа через него, а также имеет бункер 4 для сбора пойманных частиц (рис.1).

Очистительное устройство функционирует следующим образом: загрязненный газовый поток поступает во входной патрубок 1 и направляется в рабочую камеру, где происходит его разделение на очищенный газ и взвешенные частицы. Прямоугольные пластины 3, размещенные под углом  $90^\circ$  относительно друг друга, создают турбулентные зоны, способствующие осаждению частиц под воздействием инерционных и центробежных сил. Эти силы позволяют более эффективно выделять загрязняющие элементы, направляя их в зону сепарационной решетки 2, после чего частицы попадают в бункер 4, а очищенный газ покидает устройство через выходной патрубок 6.

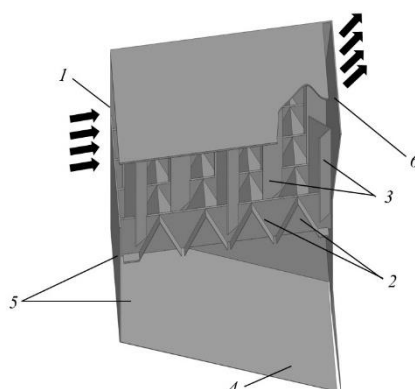


Рисунок 1 – Трехмерное изображение нового очистительного устройства с прямоугольными пластинами: 1 – входной патрубок; 2 – сепарационная решетка; 3 – прямоугольные пластины; 4 – бункер для сбора частиц; 5 – корпус устройства; 6 – выходной патрубок.

Для оценки эффективности улавливания использовались аэрозольные смеси с частицами плотностью  $4000 \text{ кг/м}^3$ , имитирующими загрязнения, характерные для агропромышленного комплекса. Скорость потока варьировалась в диапазоне  $0,5\text{--}4 \text{ м/с}$ , а концентрация частиц в газе

контролировалась с помощью специализированных приборов. Измерения производились до и после прохождения газа через очистительное устройство, что позволило определить степень очистки и выявить оптимальные режимы работы.

Для количественного анализа эффективности устройства использовался метод гравиметрического контроля, основанный на взвешивании улавливаемых частиц до и после прохождения потока через систему. Проводимые численные расчеты позволили оценить распределение скоростей и траекторий частиц внутри устройства, выявить зоны наибольшего осаждения и оптимизировать конструктивные параметры. Результаты моделирования сравнивались с экспериментальными данными, что позволило подтвердить достоверность предложенной методики исследования.

**Результаты исследований.** В ходе моделирования были получены зависимости эффективности улавливания частиц очистительным устройством с прямоугольными пластинами  $E$  от их фракции  $a$  с плотностью  $\rho=4000 \text{ кг/м}^3$  при различной входной скорости потока  $w$ , м/с: 1-0,5; 2-1; 3-2; 4-3; 5-4 (рис.2).

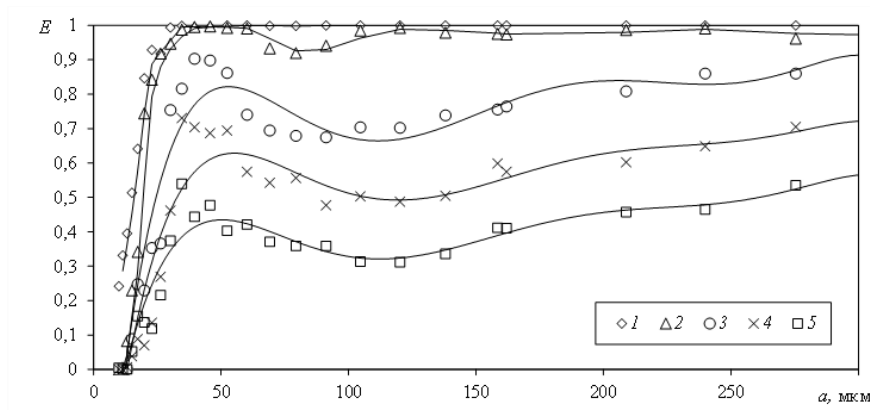


Рисунок 2 – Зависимости эффективности улавливания частиц очистительным устройством с прямоугольными пластинами  $E$  от их фракции  $a$  с плотностью  $\rho=4000 \text{ кг/м}^3$  при различной входной скорости потока  $w$ , м/с: 1-0,5; 2-1; 3-2; 4-3; 5-4.

Согласно полученным результатам, наиболее эффективно использовать данное устройство при низких скоростях 0,5-2 м/с, так как при них наблюдается максимальная эффективность порядка 80-95%, что достаточно велико по сравнению со скоростями в 3 и 4 м/с, так как при них наблюдается в среднем эффективность порядка 35-60%. Возможно, это связано с тем, что при большей скорости частицы не успевают вылететь из общего потока под действием центробежных сил и уносятся вместе с газом или, наоборот, действие данных сил настолько велико, что частица сама по инерции возвращается в поток, что достаточно хорошо видно по динамике улавливания частиц размером более 100 мкм.

Также в таблице 1 приведено значение гидравлического сопротивления в зависимости от скорости входного потока. Согласно данной зависимости, приведенной в таблице разработанное устройство оптимальной использовать при относительно малых скоростях в 0,5-1 м/с, так как гидравлическое сопротивление при них в 16 и 4 раза меньше, чем при скорости в 2 м/с; в 36 и 9 раз меньше, чем при скорости в 3 м/с и в 65 и 16 раз меньше, чем при скорости 4 м/с.

Таблица 1 – Значение гидравлического сопротивления в зависимости от скорости входного потока

Скорость входного потока $w$ , м/с	Гидравлическое сопротивление $\Delta p$ , Па
0,5	14,34
1	56,65
2	225,53
3	507,31
4	903,41

Таким образом, разработанное очистительное устройство обладает высокой эффективностью при сравнительно низких энергозатратах, что делает его перспективным решением для агропромышленного комплекса. Применение данной технологии позволит повысить экологическую

безопасность производств, снизить выбросы пылевых частиц в окружающую среду и улучшить условия труда в перерабатывающих и сельскохозяйственных предприятиях. Перспективами дальнейших исследований является оптимизация конструкции устройства с учетом изменения геометрии пластин и анализ влияния турбулентности потока на эффективность очистки.

**Выводы.** 1. Разработанное очистительным устройством с прямоугольными пластинами устройство демонстрирует высокую эффективность улавливания частиц порядка 80-95% при скоростях 0,5-2 м/с. 2. При скоростях 0,5, 1 достигается наименьшее гидравлическое сопротивление в 14,34; 56,65 Па. 3. Высокое значение эффективности и невысокий показатель гидравлического сопротивления говорит о высокой энергоэффективности и эффективности работы устройства.

#### Библиографический список

1. Очистка воздуха от пищевой пыли сепарационным устройством с дугообразными элементами / В. Э. Зинуров, А. В. Конышева, И. Р. Нафиков [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 195. – С. 66-73.

#### References

1. Ochistka vozduha ot pishhevoj pyli separacionnym ustrojstvom s dugoobraznymi jelementami / V. Je. Zinurov, A. V. Konysheva, I. R. Nafikov [i dr.] // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – № 195. – S. 66-73.