

УДК 631.3

UDC 631.3

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)

**ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ
ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ В
АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ:
КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ И
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ**

**REVIEW OF DUST COLLECTION
TECHNOLOGIES IN THE AGRO-INDUSTRIAL
SECTOR: DESIGN SOLUTIONS AND
APPLICATION PROSPECTS**

Гатина Гузель Хайдаровна
Ассистент
*Казанский государственный энергетический
университет, Казань, Россия*

Gatina Guzel Haidarovna
Assistant
*Kazan State Power Engineering University, Kazan,
Russia*

Гумерова Гузель Хайдаровна
Канд. техн. Наук, доцент
SPIN – код автора: 5237-5977
*Казанский государственный энергетический
университет, Казань, Россия*

Gumerova Guzel Khaydarovna
Cand.Tech.Sci., Associate Professor
RSCI SPIN-code: 5237-5977
*Kazan State Power Engineering University, Kazan,
Russia*

Шамсутдинова Камилла Эдуардовна
Студент
*Казанский государственный энергетический
университет, Казань, Россия*

Shamsutdinova Kamilla Eduardovna
Student
*Kazan State Power Engineering University, Kazan,
Russia*

Интенсивное пылеобразование является характерной особенностью большинства технологических процессов в агропромышленном комплексе, особенно на этапах переработки и хранения сельскохозяйственной продукции. Актуальность проблемы пылеулавливания возрастает в связи с усилением экологических требований, необходимостью соблюдения санитарно-гигиенических норм, а также повышением надежности и энергоэффективности производственного оборудования. В настоящей обзорной работе проведен анализ существующих типов пылеочистительных аппаратов, применяемых в аграрной отрасли. Рассмотрены конструктивные особенности и принципы работы циклонных, мультивихревых, инерционных, фильтрационных и электростатических систем. Представлены сравнительные характеристики по ключевым критериям: степень очистки, энергоемкость, пропускная способность, эксплуатационные особенности и стоимость. Отдельное внимание уделено перспективам внедрения комбинированных схем пылеулавливания и автоматизированных систем мониторинга. Обоснована необходимость выбора оборудования с учетом фракционного состава пыли и условий технологического процесса. Проведенный анализ позволяет выработать

Intensive dust generation is a characteristic feature of most technological processes in the agro-industrial sector, particularly during the processing and storage of agricultural products. The relevance of dust collection is increasing due to the tightening of environmental regulations, the need to comply with sanitary standards, and the demand for enhanced reliability and energy efficiency of industrial equipment. This review analyzes existing types of dust collection devices used in the agricultural industry. The structural features and operating principles of cyclone, multivortex, inertial, filtration, and electrostatic systems are examined. Comparative characteristics are presented based on key criteria: purification efficiency, energy consumption, throughput capacity, operational features, and cost. Particular attention is given to the prospects of implementing combined dust removal schemes and automated monitoring systems. The necessity of selecting equipment based on the particle size distribution and technological process conditions is substantiated. The conducted analysis allows the formulation of recommendations for the modernization of existing lines and the design of new units in accordance with the principles of sustainable agro-industrial development. The results may be useful for engineers, process specialists, and industrial ecologists when selecting and adapting dust collection systems

рекомендации по модернизации существующих линий и проектированию новых установок с учетом требований устойчивого развития агропромышленного производства. Полученные результаты могут быть полезны инженерам, технологам и специалистам по промышленной экологии при выборе и адаптации систем пылеочистки для конкретных условий эксплуатации

for specific operating conditions

Ключевые слова: АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС, ПЫЛЕОЧИСТИТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, ЦИКЛОН, МУЛЬТИВИХРЕВОЙ СЕПАРАТОР, ФИЛЬТРАЦИЯ, ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЕ; ВОЗДУШНАЯ ОЧИСТКА, ДИСПЕРСНАЯ ПЫЛЬ

Keywords: AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX, DUST COLLECTION SYSTEMS, CYCLONE, MULTIVORTEX SEPARATOR, FILTRATION, DUST CAPTURE, AIR PURIFICATION, DISPERSED DUST

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-208-055>

Введение. В агропромышленном комплексе (АПК) значительная доля технологических процессов сопровождается интенсивным пылеобразованием. На этапах приёмки, очистки, сортировки, транспортировки и хранения зерна, а также при измельчении кормов и переработке растительных материалов, в воздух поступают значительные количества пылевых частиц различного происхождения и фракционного состава. Эти частицы представляют не только санитарно-гигиеническую угрозу, но и могут быть причиной повышения риска воспламенения и взрывоопасности, особенно в условиях замкнутых производственных помещений.

Повышенное содержание пыли в воздухе рабочей зоны негативно сказывается на здоровье персонала, провоцируя заболевания дыхательной системы и аллергические реакции. Это обуславливает необходимость внедрения эффективных систем пылеулавливания, способных обеспечивать не только соответствие санитарным нормам, но и отвечать требованиям производственной безопасности. Пылеочистительные аппараты в аграрной отрасли отличаются широким разнообразием конструкций и принципов действия, что связано с вариативностью

<http://ej.kubagro.ru/2025/04/pdf/55.pdf>

исходного сырья, различиями в производственной нагрузке, а также требованиями к степени очистки и экономичности систем.

Современные пылеулавливающие устройства включают в себя как проверенные временем конструкции (например, циклоны), так и более сложные аппараты – мультивихревые сепараторы, электрофильтры и системы с многоступенчатой фильтрацией [1]. Однако выбор того или иного оборудования в значительной степени зависит от условий эксплуатации, состава пыли, а также целей применения – будь то защита оборудования, улучшение микроклимата или соблюдение экологических требований.

В данной статье предпринята попытка систематизации существующих подходов к пылеочистке в АПК, с акцентом на конструктивные особенности аппаратов, их эксплуатационные характеристики и возможные направления модернизации. Проведён сравнительный анализ эффективности наиболее распространённых систем пылеулавливания, что позволяет обозначить перспективные технологии и решения, применимые в условиях сельскохозяйственного производства. Актуальность такого обзора обусловлена необходимостью повышения экологической и экономической эффективности аграрных предприятий в условиях растущих требований к устойчивому развитию и соблюдению норм охраны труда.

Состояние исследований и актуальность проблемы. Проблема пылеобразования в агропромышленности находит отражение в ряде исследований, посвящённых оценке состава, размеров и динамики пылевых частиц, возникающих в процессе переработки сельхозпродукции. Согласно работам отечественных и зарубежных исследователей, пыль, возникающая на предприятиях АПК, состоит преимущественно из органических частиц с преобладанием фракций менее 100 мкм, которые легко проникают в дыхательные пути человека и вызывают хронические

респираторные заболевания. Кроме того, накопление пыли в производственных помещениях приводит к возникновению пожаро- и взрывоопасных ситуаций, особенно при высоком содержании углеводов в аэрозоле.

Традиционно в качестве основного средства пылеулавливания применяются циклонные аппараты, отличающиеся простотой конструкции, низкой стоимостью и относительной надёжностью. Однако их эффективность существенно снижается при работе с мелкодисперсной фракцией, что требует внедрения дополнительных ступеней очистки или использования комбинированных систем. В этом контексте интерес представляют инерционные и мультивихревые сепараторы, которые обеспечивают более высокую степень улавливания мелких частиц за счёт сложной организации потока внутри аппарата. Активно развиваются направления, связанные с применением фильтрационных материалов, в том числе синтетических тканей с антистатическими и водоотталкивающими свойствами.

Исследования показывают, что уровень очистки воздуха можно довести до 95-99% при правильной комбинации технологических решений, однако это требует комплексного подхода к проектированию пылеочистительной системы. Сложность состоит в том, что аграрное производство характеризуется неравномерной загрузкой оборудования, колебаниями влажности, температур и изменчивостью состава пыли в зависимости от вида обрабатываемого сырья.

Актуальность системного подхода к проблеме пылеочистки подтверждается внедрением нормативов по охране труда и экологии, ужесточением требований со стороны контролирующих органов, а также необходимостью повышения энергоэффективности процессов. В научной литературе подчёркивается значительный потенциал автоматизации и интеллектуального управления пылеулавливающими системами, однако

широкое распространение таких решений сдерживается высокой стоимостью и сложностью интеграции в действующие линии.

Таким образом, обобщение современных конструктивных решений и оценка их эффективности в условиях АПК представляет собой насущную задачу, особенно с точки зрения проектирования новых линий и модернизации существующих мощностей.

Цель исследований. Целью данной работы является анализ и систематизация пылеочистительных аппаратов, применяемых в агропромышленном комплексе, с выделением их конструктивных особенностей, эксплуатационных характеристик и перспективных направлений модернизации.

Материалы и методы исследований. Сравнительный анализ проводился по следующим критериям: степень очистки воздуха (%); эффективность улавливания частиц различных размеров; удельное энергопотребление, пропускная способность ($\text{м}^3/\text{ч}$), габаритно-весовые параметры, эксплуатационные ограничения (влажность, температура, взрывоопасность пыли), требования к обслуживанию и очистке, стоимость оборудования и обслуживания.

Для оценки и ранжирования технологий применялся экспертный метод с элементами шкалирования по пятибалльной системе по каждому из критериев. Приоритет отдавался тем аппаратам, которые обеспечивают высокую степень очистки при сохранении энергоэффективности и адаптируемости к аграрным условиям.

Обоснование достоверности результатов осуществлялось за счёт перекрёстной верификации информации из различных источников, а также анализа реальных кейсов внедрения пылеочистительных систем на перерабатывающих предприятиях. Выводы делались с опорой на инженерные принципы работы аппаратов, логические обоснования и практическую применимость решений в аграрной среде.

Таким образом, методика включает в себя комплексный библиографический и инженерный анализ, направленный на выявление оптимальных решений для пылеулавливания в условиях агропромышленного производства.

Результаты исследований. Проведённый обзор позволил классифицировать пылеочистительные аппараты, применяемые в агропромышленном секторе, по принципу действия на пять основных групп: циклонные, мультивихревые, инерционные, фильтрационные и электростатические. Каждая из них обладает рядом конструктивных и эксплуатационных особенностей, влияющих на область применения и эффективность.

1. Циклонные аппараты. Наиболее распространены в АПК благодаря простоте конструкции и низкой себестоимости. Обеспечивают степень очистки до 85-90% при улавливании частиц >20 мкм. Эффективность снижается при высоком содержании мелкодисперсной пыли. Пропускная способность варьирует от 100 до 8000 м³/ч. Среднее энергопотребление – 0,05–0,1 кВт/ч.

2. Мультивихревые сепараторы. За счёт многократного завихрения потока внутри системы достигается более высокая эффективность – до 95% при улавливании частиц до 5 мкм. Устройства требуют точной настройки потоков и сложнее в обслуживании, но показывают высокую стабильность при переменных нагрузках.

3. Инерционные пылеуловители. Основаны на изменении траектории частиц с использованием перегородок или отклоняющих поверхностей. Обеспечивают очистку до 75-85% и эффективны при работе с влажной или липкой пылью. Используются преимущественно в сочетании с другими типами аппаратов.

4. Фильтрационные установки. Наиболее эффективны по степени очистки – свыше 99%, включая улавливание частиц менее 1 мкм. Однако

требуют регулярной замены фильтрующих элементов и характеризуются высоким сопротивлением потоку. Среднее энергопотребление – 0,2–0,5 кВт/ч.

5. Электростатические фильтры. Мало распространены в АПК из-за сложности конструкции и требований к стабильности электропитания, однако перспективны при необходимости очистки от особо мелких фракций.

Сравнительный анализ показал, что для большинства аграрных задач оптимальными являются гибридные схемы, сочетающие циклонную очистку с последующей фильтрацией.

Также установлено, что мультивихревые аппараты демонстрируют наилучшее соотношение эффективности и энергозатрат при использовании в условиях пылеобразования с преобладанием фракций 5-40 мкм. Внедрение систем автоматического контроля состояния фильтров и параметров потока позволяет дополнительно повысить производительность и снизить эксплуатационные риски.

Выводы. 1. В агропромышленном комплексе наиболее эффективными являются комбинированные схемы пылеулавливания, основанные на последовательном применении циклонных и фильтрационных методов. 2. Выбор пылеочистительного оборудования должен базироваться на анализе фракционного состава пыли, производительности технологической линии и экономических показателях. 3. Мультивихревые сепараторы представляют собой перспективное направление развития благодаря высокой степени очистки и адаптивности к различным условиям эксплуатации.

Библиографический список

1. Алексеев В. В., Поникаров И. И., Алексеев П. В. Анализ гидравлического сопротивления и расчет противочувствительных циклонов и вихревых камер //Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – №. 2. – С. 132-134.

References

1. Alekseev V. V., Ponikarov I. I., Alekseev P. V. Analiz gidravlicheskogo soprotivlenija i raschet protivotochnyh ciklonov i vihrevyh kamer //Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. – 2014. – T. 17. – №. 2. – S. 132-134.