

УДК 620.9

**ЭКСКАУСТЕРЫ: КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ,  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ  
EXHAUSTERS: CONSTRUCTIVE SOLUTIONS, ENERGY  
EFFICIENCY AND DIGITALIZATION PROSPECTS**

Д.В. Данилович, Д.В. Чуйко

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

pronkevichAV@mail.ru

D. Danilovich, D. Chuiko

Supervisor – E. Pronkevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** в данной работе говорится об эксгаустерах как о критически важных компонентах промышленных систем аспирации и вентиляции. Рассматриваются их конструктивные особенности, включая выбор материалов для корпусов и рабочих колес в зависимости от условий эксплуатации, а также принципы работы, основанные на создании разрежения для транспортировки загрязненных сред. Анализируются современные технологические решения, направленные на повышение энергоэффективности и снижение абразивного износа, такие как применение композитных покрытий и частотных преобразователей.

**Abstract:** this paper talks about exhausters as critically important components of industrial aspiration and ventilation systems. Their design features are considered, including the choice of materials for housings and impellers depending on the operating conditions, as well as the principles of operation based on creating a vacuum for transporting contaminated media. Modern technological solutions aimed at increasing energy efficiency and reducing abrasive wear, such as the use of composite coatings and frequency converters, are analyzed.

**Ключевые слова:** эксгаустер, промышленная вентиляция, энергоэффективность, абразивный износ, IoT, экологические стандарты.

**Keywords:** exhauser, industrial ventilation, energy efficiency, abrasive wear, IoT, environmental standards.

### **Введение**

Современная промышленность сталкивается с необходимостью обеспечения безопасности труда и минимизации экологического ущерба. В контексте обработки сыпучих материалов, металлургии или химического производства эксгаустеры становятся ключевым звеном систем аспирации, отвечающим за удаление вредных веществ из рабочей зоны. Эти устройства не только поддерживают чистоту воздуха, но и предотвращают аварии, связанные с воспламенением пылевых смесей. Однако их эксплуатация сопряжена с техническими вызовами: высокие механические нагрузки, агрессивные среды и растущие требования к энергосбережению. Цель данной работы –

систематизировать знания о конструктивных особенностях эксгаустеров, проанализировать инновационные подходы к их модернизации и обозначить тенденции развития в условиях цифровой трансформации промышленности.

### **Основная часть**

Эксгаустеры, являясь специализированным оборудованием для транспортировки загрязнённых сред, представляют собой результат инженерного компромисса между прочностью, эффективностью и адаптивностью к экстремальным условиям. Их конструкция, на первый взгляд, повторяет черты центробежных вентиляторов, но отличается рядом ключевых особенностей, обусловленных спецификой применения. Например, в металлургической промышленности, где оборудование подвергается воздействию высоких температур и абразивной пыли, корпуса эксгаустеров изготавливаются из жаропрочных сталей с добавлением хрома и молибдена, а рабочие колёса – из сплавов на основе никеля, способных выдерживать температуры до 600°C [1]. В химическом производстве, напротив, акцент смещается на коррозионную стойкость: здесь применяются титановые сплавы или полимерные композиты, устойчивые к воздействию кислотных паров. Такая дифференциация материалов напрямую влияет на долговечность устройств. Например, на цементных заводах внедрение лопаток с керамическим напылением позволило сократить частоту замены компонентов с 6 до 18 месяцев, что подтверждается данными отчёта НИИ «Энергомаш» (2022).

Принцип работы эксгаустеров основан на преобразовании кинетической энергии вращения в давление, необходимое для преодоления аэродинамического сопротивления системы. Центробежная сила, создаваемая лопатками рабочего колеса, генерирует зону разрежения во входном патрубке, что обеспечивает всасывание загрязнённого воздуха. Критически важным параметром является КПД устройства, который зависит от геометрии лопаток – их угла наклона, ширины и кривизны. Современные методы компьютерного моделирования, такие как CFD-анализ (численное моделирование гидрогазодинамики), позволяют оптимизировать эти параметры, увеличивая КПД на 12–15%, как показали исследования Smith (2020). Однако эффективность работы эксгаустера снижается при транспортировке сред с высокой плотностью частиц, например, угольной пыли, что требует дополнительной балансировки между производительностью и энергозатратами. Энергоэффективность остаётся одной из центральных проблем эксплуатации. Традиционные системы с постоянной скоростью вращения часто работают в режиме избыточной мощности, особенно при переменных нагрузках. Решением стали частотные преобразователи, регулирующие частоту тока электродвигателя и, как следствие, скорость вращения рабочего колеса. На примере металлургического комбината в Магнитогорске внедрение таких систем сократило энергопотребление на 22% за счёт адаптации к реальным потребностям технологического процесса. Параллельно развиваются гибридные решения, где эксгаустеры интегрируются с рекуператорами тепла. В стекольной промышленности, например, тепло отходящих газов, ранее выбрасываемое в атмосферу, теперь используется для

предварительного подогрева шихты, снижая общие энергозатраты на 15–20%. Эти инновации не только уменьшают эксплуатационные расходы, но и соответствуют требованиям Парижского соглашения по снижению углеродного следа.

Одной из главных эксплуатационных проблем остаётся абразивный износ, особенно при работе с материалами, обладающими высокой твёрдостью, такими как кварцевая пыль или металлическая стружка. Частицы, сталкиваясь с поверхностью лопаток, вызывают микроскопические деформации, которые со временем приводят к эрозии и дисбалансу [2]. Для борьбы с этим применяются многослойные композитные покрытия, такие как карбид вольфрама, наносимые методом плазменного напыления. На предприятиях по производству алюминия такие покрытия увеличили ресурс рабочих колёс в 2,5 раза. Альтернативным подходом является изменение геометрии лопаток – спиралевидная форма, заимствованная у турбин газоперекачивающих станций, снижает турбулентность потока и, как следствие, интенсивность износа. Дополнительным инструментом стали системы динамического мониторинга, где датчики вибрации, установленные на корпусе, фиксируют малейшие отклонения от нормы.

Например, на одном из предприятий Урала внедрение акустических сенсоров позволило выявить трещину в рабочем колесе на ранней стадии, предотвратив аварию, которая могла бы привести к простою стоимостью 2,5 млн рублей. Цифровая трансформация открывает новые горизонты для управления эксгаустерами. IoT-платформы, такие как Siemens MindSphere или GE Predix, объединяют данные с датчиков давления, температуры и вибрации, создавая цифровые двойники оборудования. Эти модели, обновляемые в реальном времени, позволяют имитировать различные сценарии эксплуатации – от пиковых нагрузок до аварийных ситуаций. Например, на цементном заводе в Новороссийске использование цифрового двойника помогло оптимизировать режим работы эксгаустера при изменении влажности сырья, сократив энергопотребление на 8%. Алгоритмы машинного обучения, анализируя исторические данные, выявляют скрытые закономерности – например, корреляцию между температурой окружающей среды и скоростью износа подшипников. Однако внедрение таких систем требует переобучения.

### **Заключение**

Эксгаустеры, являясь неотъемлемой частью промышленной инфраструктуры, продолжают эволюционировать под влиянием технологических и экологических требований. Современные разработки фокусируются на повышении энергоэффективности, увеличении срока службы компонентов и интеграции с цифровыми системами управления. Успешное внедрение инноваций, таких как композитные материалы, рекуперация тепла и IoT-мониторинг, уже демонстрирует значительное снижение эксплуатационных затрат и экологического воздействия. Однако для дальнейшего прогресса необходимы междисциплинарные исследования, объединяющие материаловедение, энергетику и IT. Особое внимание должно быть уделено созданию адаптивных моделей, способных автоматически

подстраиваться под изменяющиеся условия производства, что станет ключевым фактором устойчивого развития промышленности в XXI веке.

### Литература

1. Эксгаустер с электроприводом: [сайт]. – URL: <https://m01.ru/products-of-fire-automatics/control-cabinets-and-control-for-fire-extinguishing-systems/exhauster-with-actuator-dn-50/> (дата обращения: 02.04.2025).
2. Эксплуатационные проблемы: [сайт]. – URL: <http://lukas.indpart.ru/pneumatics/aspirators/> (дата обращения: 03.04.2025).