

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПОСРЕДСТВОМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

IMPROVING THE EFFICIENCY OF AIR PURIFICATION IN THE WORK AREA THROUGH AUTOMATIC CONTROL

**Addas Safouh
L. Schwarzburg**

Summary. The article is devoted to the study of approaches to assessing and improving the efficiency of air purification, considering both theoretical and empirical relationships underlying the methodological apparatus. The object of the article's research is the most common industrial air purification unit — a three-way cyclone. The main point of the article to be discussed is the prospects of using a cyclone with an automatically adjustable inlet pipe diameter in comparison with existing manual control methods. The indicators of system performance, cleaning efficiency and energy consumption are considered as a function to be optimized, which, in the future, can become the basis for designing a new type of automated cyclones. To build a model for the study, an apparatus for numerical integration of differential equations and analysis of macroscopic indicators — the degree of purification and the electrical power consumed during operation — was used. As a result of the study, conclusions were drawn about the possibility of developing and using automatically regulated cyclones both in individual work areas of enterprises and as part of closed-circuit automatic ventilation and air conditioning systems. The results obtained allow us to judge the possibility of using automatically regulated cyclones not only for air purification, but also for recycling by reusing the suspended production waste collected from the air, such as metal shavings and dust.

Keywords: air purification, cyclone, diaphragm, actuator, regulation, disposal.

Введение

Качество воздуха в рабочей зоне промышленных предприятий всех областей народного хозяйства — от тяжелой и перерабатывающей, до легкой и пищевой промышленности. В условиях современного производства возникает необходимость создания замкнутых систем вентиляции, очистки и кондиционирования воздуха, содержащих аппараты циклонного типа для улавливания и дальнейшей утилизации твердых взвешенных примесей. Один из подходов к автоматизации подобных систем лежит в основе настоящего исследования.

Материалы и методы

При проведении исследования использованы материалы современных публикаций, релевантных теме ис-

Аддас Сафух

Аспирант, МГТУ «СТАНКИН»

addassafouh@gmail.com

Шварцбург Леонид Эфраимович

д.т.н, проф., ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

lesh@stankin.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию подходов к оценке и повышению эффективности воздухоочистки, рассматривая как теоретические, так и эмпирические соотношения, лежащие в основе методологического аппарата. Объектом исследования статьи является наиболее распространенный в промышленности воздухоочистительный агрегат — трехходовый циклон. Основным положением статьи, выносимым на обсуждение, являются перспективы применения циклона с автоматически регулируемым диаметром входной трубы в сравнении с существующими методами ручного управления. Рассматриваются показатели быстродействия системы, эффективности очистки и энергопотребления, как подлежащей оптимизации функции, которая, в перспективе, может стать основой для проектирования нового типа автоматизированных циклонов. Для построения модели для исследования применен аппарат численного интегрирования дифференциальных уравнений и анализа макроscopicких показателей — степени очистки и потребляемой в процессе функционирования электрической мощности. В результате исследования получены выводы о возможности разработки и применения автоматически регулируемых циклонов как в отдельных рабочих зонах предприятий, так и в составе замкнутых автоматических систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Полученные результаты позволяют судить о возможности применения автоматически регулируемых циклонов не только для воздухоочистки, но и утилизации путем повторного использования собранной из воздуха взвеси отходов производства, таких как металлическая стружка и пыль.

Ключевые слова: воздухоочистка, циклон, диафрагма, исполнительный механизм, регулирование, утилизация.

следования. К методам исследования относится анализ научных источников, математическое и имитационное моделирование.

Литературный обзор

Анализу проблемных направлений очистки окружающего воздуха в рабочих зонах промышленных производств посвящается значительное количество публикаций в области эргономики, как науки о комфорте человека в частности, и экологии, как науки о сохранности окружающей среды в целом. Исследования не прекращаются и в последние годы. Рассмотрим основополагающие источники, релевантные теме исследования настоящей статьи. Так, исследование [1], посвященное анализу концентраций твердых примесей и летучих

органических соединений, показывает, что, несмотря на нормальные средние концентрации примесей в рабочих зонах предприятий химической промышленности, при ремонтных и обслуживающих работах количество наиболее опасных твердых взвешенных частиц возрастает в 3,1–5,8 раз, что актуализует задачу очистки воздуха. Исследование [2] приводит аналогичные результаты для производств, использующих сварочные процессы, дополняя при этом предыдущие выводы распределением частот встречаемости растворимых и нерастворимых в сварочном аэрозоле твердых примесей. Показанные частоты актуализируют необходимость интенсивной фильтрации и очистки окружающего воздуха. Аналогичные результаты для производства железобетонных изделий приводятся и в статье [3], предлагая, в отличие от предыдущих исследователей математическую модель связи распределения концентраций твердых примесей с текущими параметрами производственного процесса, что задает предпосылки для улучшения эргономики и экологической безопасности производства активным методом — оптимизацией производственного цикла. В совокупности, рассмотренные выше исследования приводят к ключевому выводу — применение систем активной воздухоочистки на настоящем этапе развития науки является неизбежностью и требует проведения ряда исследований в области анализа и улучшения.

В условиях производственных процессов, сопровождающихся выбросом твердых органических примесей, одним из немногих способов очистки является применение циклонов — аппаратов для сепарации проходящего воздуха от твердых примесей. Ряд исследований последнего времени уделяет значительное внимание математическому моделированию данного типа устройств. Так, исследование [4] применяет методы компьютерного моделирования для определения конструктивных параметров двухступенчатых циклонов и содержит эмпирические выводы о связи средней эффективности сепарации с градиентом давлений на входе и выходе аппарата и плотностью среды. Выводы, содержащиеся в статье [5], позволяют сформировать математическую модель прямооточного циклона и каскадного соединения однотипных аппаратов, позволяя сформулировать наличие оптимального количества циклонов в каскаде, имеющего максимальную эффективность сепарации. Исследование [6] показывает, что с ростом входного потока воздуха в циклон возрастает и эффективность сепарации. На данном этапе обзора существующих исследований может быть сделан вывод о возможности управления эффективностью сепарации воздуха аппаратами циклонного типа путем изменения скорости воздушного потока и разности давлений на входе и выходе циклона, что приводит к предположению о возможности оптимизации процесса очистки путем автоматизации.

Управление параметрами воздушного потока в горной промышленности, рассматриваемое в статье [7],

приводят к выводу о многосвязности параметров — скорости, давления и температуры, что необходимо учитывать при проектировании исполнительных механизмов — сужающих устройств. Статья [8] предполагает использование для управления воздушным потоком пневматических устройств, использующих изменение параметров воздушного потока при взаимодействии с управляющими ламинарными и турбулентными течениями управляющих потоков. При этом, исследователь отмечает, что данный метод затруднен к применению в случае необходимости электрического управления и предлагает подход к управлению скоростью воздушного потока путем изменения условного прохода трубопровода с использованием устройств, подобных камерным диафрагмам.

Результаты

Для управления воздушным потоком на входе прямооточного циклона была предложена регулируемая заслонка, построенная на основе диафрагмы с переменным условным проходом, и управляемая электродвигателем с постоянными магнитами (рис. 1).

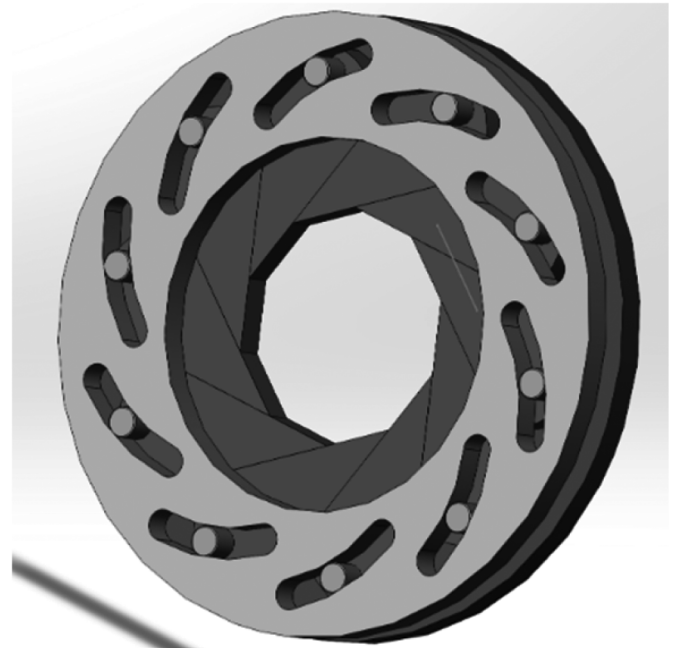


Рис. 1. Внешний вид конструкции регулирующего устройства

Предлагаемая конструкция обеспечивает сохранение в установившемся режиме ламинарного воздушного потока, что, согласно приведенным в исследовании [9] положениям, позволяет описать взаимосвязь параметров циклона с использованием соотношений (1)–(2).

$$\eta \sim \frac{D_1}{D} \cdot V \cdot e^{-\left(\frac{d}{D}\right)^2}, \quad (1)$$

$$V \sim D_1^{\frac{3}{2}}, \quad (2)$$

где D_1 — диаметр входа циклона, м (величина, управляемая с помощью диафрагмы рис. 1);

D — диаметр циклона, м;

d — диаметр сепарируемых частиц, м.

В результате проведенного моделирования прямого циклона, получены зависимости эффективности и скорости воздушного потока от диаметра входного патрубка, показанные на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

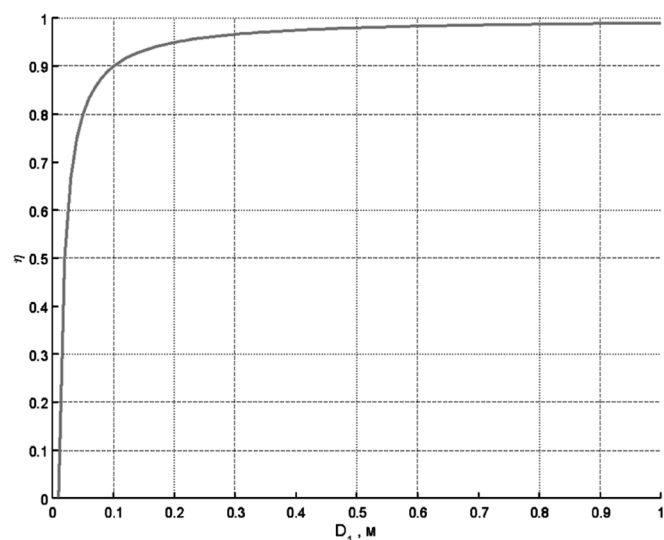


Рис. 2. Эффективность сепарации в функции диаметра входа циклона

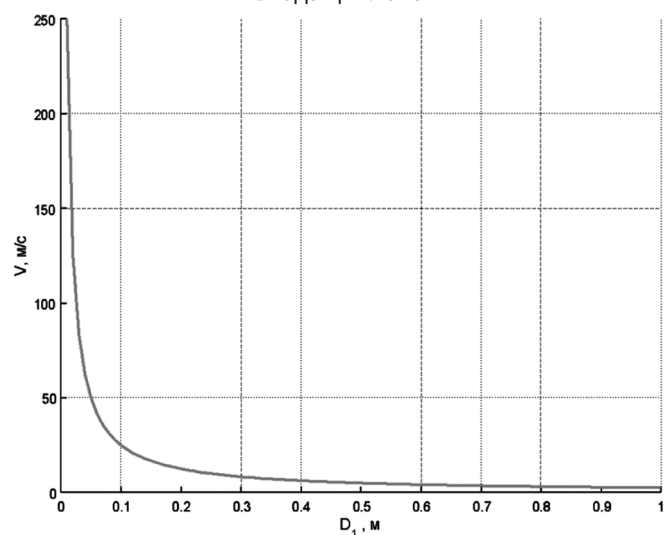


Рис. 3. Скорость воздушного потока в функции диаметра входа циклона

Исходя из рисунка 2, необходимо отметить экспоненциальный рост эффективности фильтрации в связи с ростом фильтруемого в единицу времени циклона.

Поскольку скорость воздушного потока снижается с ростом диаметра входа и, как следствие, снижается производительность циклона.

Обсуждение

Полученные в результате исследования характеристики, ввиду противоположного характера монотонности зависимостей $\eta(D_1)$ и $V(D_1)$ приводят к выводу наличия оптимального соотношения эффективности сепарации и производительности циклона, связанной, как показано в [10], с потребляемой мощностью и энергоэффективности циклона. Необходимо учитывать, что влияние диаметра сепарируемых частиц на эффективность сепарации, ввиду влияния на аэродинамическое сопротивление воздушного потока, требует применение более сложных (например каскадных или многоходовых) циклонов, в связи с чем возникает необходимость рассмотрения статических и динамических характеристик циклонов и формирования математической модели аппарата, как объекта управления. Выходными параметрами такой модели могут быть, помимо описываемых в настоящей статье, также масса собираемых твердых взвесей и производительность циклона.

Заключение

Рассмотренная в ходе настоящей статьи модель циклона с регулируемым диаметром входа может быть использована в составе замкнутой системы вентиляции, сбора твердых взвесей и их утилизации путем, например, повторной или дальнейшей переработки. Перспективным направлением дальнейших исследований видится исследование динамических характеристик предложенного исполнительного механизма и системы очистки в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ гигиенической ситуации на производстве и контроль уровней загрязнения воздушной среды предприятий химического комплекса / Н.А. Бейгул, Л.К. Каримова, Н.А. Мулдашева [и др.] // Тенденции развития науки и образования. — 2024. — № 107-6. — С. 85–89.
2. Гигиеническая характеристика загрязнения воздуха рабочей зоны сварочного производства в судостроении (на примере верфей Санкт-Петербурга) / М.В. Чашин, А.И. Атабеков, Е.А. Кайк [и др.] // Журнал медико-биологических исследований. — 2023. — Т. 11, № 4. — С. 451–461.
3. Оценка запыленности воздуха при производстве железобетонных изделий / В.А. Дмитриенко, В.И. Голик, С.А. Масленников, В.В. Пушкина // Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 69–74.

4. Пшенов, Е.А. Обоснование конструктивных параметров вихревой воронки двухступенчатого циклона с применением компьютерного моделирования / Е.А. Пшенов, С.С. Блескин // *Инновации и продовольственная безопасность*. — 2024. — № 1(43). — С. 175–184.
5. Васильев, П.С. Модернизация систем улавливания и аспирации производства пылящего технического углерода / П.С. Васильев, Е.Г. Баклаушева // *Химическая безопасность*. — 2020. — Т. 4, № 2. — С. 212–225.
6. Зинуров, В.Э. Повышение эффективности аспирационных систем при обработке крахмалистого сырья / В.Э. Зинуров, А.В. Дмитриев, Р.Р. Мубаракшина // *Ползуновский вестник*. — 2020. — № 2. — С. 18–22.
7. Экспериментальные исследования проветривания тупиковой выработки нагнетательным способом при различном отставании вентиляционного трубопровода от груди забоя / А.А. Каменских, Г.З. Файнбург, М.А. Семин, А.В. Таций // *Горные науки и технологии*. — 2024. — Т. 9, № 1. — С. 41–52.
8. Мурзинов, В.Л. Методы пневмоники в управлении струйными потоками в системах транспортирования на воздушной подушке / В.Л. Мурзинов // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. — 2011. — № 74. — С. 25–34.
9. Белостоцкий, А.М. Обзорно-аналитическое исследование публикаций в области численных методов и алгоритмов решения задач аэродинамики / А.М. Белостоцкий, П.А. Акимов, И.Н. Афанасьева // *Вопросы прикладной математики и вычислительной механики: Сборник трудов № 20*. — Москва: Издательство АСВ, 2017. — С. 196–205.
10. Замалиева, А.Т. Исследование нового высокоэффективного циклона-фильтра для очистки от мелкодисперсной пыли класса PM_{2,5} и PM₁₀ / А.Т. Замалиева // *Фундаментальные и прикладные разработки естественных и гуманитарных наук: современные концепции, последние тенденции развития : Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции: в 4-х частях, Ростов-на-Дону, 24 сентября 2018 года. Том Часть 1*. — Ростов-на-Дону: Южный университет (ИУБиП), 2018. — С. 131–134.

© Аддас Сафух (addassafouh@gmail.com); Шварцбург Леонид Эфраимович (lesh@stankin.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»