© Возмилов А.Г., Урманов В.Г., Панишев С.А., Лисов А.А.

(cc) BY

УДК 62-784.2 **DOI:10.30724/1998-9903-2025-27-3-162-173**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОКРОГО ОДНОЗОННОГО ЭЛЕКТРОФИЛЬТРА

Возмилов [1]А.Г., Урманов [2]В.Г., Панишев [1] С.А., Лисов [1]А.А.

[1]Южно-уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск, Россия
[2]Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия
Panishef.serega@mail.ru

Резюме: *АКТУАЛЬНОСТЬ: в условиях растущих требований к чистоте воздуха на промышленных предприятиях электрофильтры приобретают особую значимость как эффективное средство удаления вредных частиц из воздушной среды. Вопросы их оптимизации остаются актуальными, поскольку от этого зависит уровень очистки и экономичность производственных процессов. ЦЕЛЬ: проведение экспериментального исследования мокрого однозонного электрофильтра и определение влияния конструктивных и режимных параметров на его эффективность. МЕТОДЫ: для исследования был использован экспериментальный стенд с мокрым однозонным электрофильтром, в котором изменялись ключевые параметры: напряжение питания, расстояние между электродами, радиус осадительных электродов и скорость воздушного потока. Эффективность работы фильтра оценивалась путем измерения концентрации частиц до и после очистки воздуха. РЕЗУЛЬТАТЫ: эксперименты показали, что эффективность очистки воздуха снижается при увеличении скорости воздушного потока и межэлектродного расстояния, в то время как повышение напряжения и диаметра электродов улучшает качество очистки. Получены графические зависимости эффективности от изменяемых параметров, что позволило выявить оптимальные параметры. ЗАКЛЮЧЕНИЕ: оптимизация параметров мокрого однозонного электрофильтра способствует повышению эффективности очистки воздуха, что позволяет снизить вредные выбросы на производственных площадках и улучшить экологичность и экономичность производственных процессов.*

Ключевые слова: *очистка воздушной среды; электрофильтрация воздуха; эксперимент; оптимизация параметров.*

Для цитирования: Возмилов А.Г., Урманов В.Г., Панишев С.А., Лисов А.А. Экспериментальные исследования мокрого однозонного электрофильтра // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2025. Т. 27. № 3. С. 162 -173. doi: 10.30724/1998-9903-2025-27-3-162-173.

EXPERIMENTAL STUDIES OF A WET SINGLE-ZONE ELECTROFILTER

Vozmilov[1] A.G., Urmanov[2] V.G., Panishev[1] S.A., Lisov[1] A.A.

[1]South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, Russia
[2]Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia
Panishef.serega@mail.ru

Abstract: *RELEVANCE: In the context of increasing requirements for air purity at industrial enterprises, electrostatic precipitators are of particular importance as an effective means of removing harmful particles from the air. The issues of their optimization remain relevant, since the level of purification and the cost-effectiveness of production processes depend on it. THE PURPOSE: To conduct an experimental study of a wet single-zone electrostatic precipitator and determine the influence of design and operating parameters on its efficiency.*

METHODS: The electrostatic precipitator under study differs from classic electrostatic precipitators in the design of the precipitating electrodes. The precipitating electrodes are made in the form of round, rotating disks, which are half immersed in liquid for continuous cleaning. For the study, an experimental stand with a wet single-zone electrostatic precipitator was used, in which the key parameters were changed: supply voltage, distance between electrodes, radius of the precipitating electrodes and air flow velocity. The efficiency of the filter was estimated by measuring the concentration of particles before and after air purification. Each experiment was carried out for 20 minutes and repeated 5 times. RESULTS: Based on the test results, graphs were constructed of the dependence of the air purification efficiency of the electrostatic precipitator on the design and operating parameters. The experiments showed that the air purification efficiency decreases with an increase in the air flow rate and interelectrode distance, while an increase in the voltage and diameter of the electrodes improves the cleaning quality. Graphic dependences of the efficiency on the variable parameters were obtained, which made it possible to identify the optimal parameters. CONCLUSION: Optimization of the parameters of the wet single-zone electrostatic precipitator helps to increase the air purification efficiency, which allows to reduce harmful emissions at production sites and improve the environmental friendliness and cost-effectiveness of production processes.

Keywords: *air purification; air electrofiltration, experiment, optimization of parameters.*

For citation: Vozmilov A.G., Urmanov V.G., Panishev S.A., Lisov A.A. Experimental studies of a wet single-zone electrofilter. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2025; 27 (3): 162-173. doi: 10.30724/1998-9903-2025-27-3-162-173.

Введение *(Introduction)*

В современном промышленном производстве вопросы обеспечения чистоты воздушной среды на производственных площадках и предотвращения загрязнения окружающей среды становятся все более актуальными и приобретают повышенное значение с точки зрения экологических и социально-экономических аспектов [1].

Уменьшение загрязнения воздушной среды производственных помещений позволяет снизить количество заболеваний работников, поскольку загрязненный воздух может содержать пыль, химические вещества, газы, микроорганизмы, негативно влияющие на здоровье работников, вызывая аллергические реакции, респираторные заболевания, интоксикации и даже хронические болезни. Кроме того, недостаточная вентиляция может привести к накоплению токсичных или взрывоопасных веществ, создавая риск аварий. Повышенная концентрация пыли может также привести к загрязнению оборудования, увеличению его износа и даже поломкам [2].

Комфортные условия труда способствуют концентрации работников, снижению утомляемости, увеличению производительности труда и как следствие улучшение качества продукции. Не стоит забывать и про нормы и правила по качеству воздушной среды производственных помещений, несоблюдение требований которых может привести к штрафам, закрытию производства и репутационным потерям.

Достижение необходимого качества воздушной среды производственных помещений возможно с помощью системы вентиляции. Важнейшим элементом системы вентиляции является фильтр, от выбора которого зависит надежность и эффективность работы и качество воздушной среды.

Литературный обзор *(Literature Review)*

В научно-технической литературе предлагается множество различных фильтров для очистки воздушной среды помещений. Так в [3] предлагается использование механических фильтров. Механический фильтр обычно выполнен из мелкой сетки или ткани. Его достоинством является дешевизна, однако к недостаткам относится частая замена и не возможность улавливать мелкие частицы.

В [4] для обеззараживания воздушной среды предлагается ультрафиолетовая лампа. Однако она не удаляет аэрозольные частицы. Также автор отмечает, что механические фильтры дешевле, но требуют замену.

Простым и надежным решением для систем очистки воздушной среды является циклонный фильтр [5] он имеет простую конструкцию и низкую стоимость. Однако циклонный фильтр способен эффективно улавливать только крупные частицы, эффективность улавливания мелкодисперсной пыли у него низкая, кроме того, он

обладает высоким аэродинамическим сопротивлением.

Автор [6] отмечает, что высокой эффективность очистки от мелкодисперсной пыли обладают рукавные фильтры. К недостаткам же таких фильтров относится их высокая цена, сложность конструкции, необходимость регулярного обслуживания и замены рукавов [7].

Высокоэффективными и универсальными фильтрами для очистки воздущной среды являются скрубберы, говорит автор [8]. Они удаляют пыль, газы и химические пары, такие фильтры чаще всего используются на предприятиях химической промышленности. Недостатками являются высокая стоимость, сложность эксплуатации и необходимость большого количества воды.

Самыми эффективными фильтрами являются HEPA-фильтры и ULPA-фильтры [9]. Эффективность их очистки составляется до 99,97%, они задерживают мельчайшие частицы, бактерии и вирусы. К недостаткам таких фильтров относится высокая стоимость, частая замена и высокое сопротивление воздушному потоку. Применяются такие фильтры в основном в больницах, лабораториях, производстве электроники [10].

Перспективным аппаратом для очистки воздушной среды помещений является электрофильтр, отмечается автор [11]. Такие аппараты являются многоразовыми, эффективны от мелкой пыли и дыма, имеют низкие эксплуатационные затраты и низкое сопротивление воздушному потоку.

Анализ литературы показал, что наиболее эффективным, энерго- и ресурсо-затратным аппаратом для очистки воздушной среды производственных помещений является электрофильтр. В данном контексте электрофильтры представляют собой важное технологическое решение для эффективной очистки воздуха от частиц пыли, дыма, газов и других вредных веществ [12].

Несмотря на широкое использование электрофильтров в промышленности, вопросы их оптимизации и совершенствования остаются актуальными. Экспериментальные исследования являются необходимым этапом в разработке и улучшении электрофильтров, поскольку позволяют оценить их эффективность, производительность и степень очистки воздуха [13,14].

Главным выходным параметром электрофильтра является его эффективность очистки [15]. Эффективность очистки зависит от множества конструктивных и технологических параметров электрофильтра, которые необходимо учитывать на стадии проектирования, для достижения наиболее эффективной работы электрофильтра [16].

Так, авторы из [17] особое внимание уделяют коронирующим электродам, исследуя зависимость эффективности очистки от формы, расстояния между электродами и от их количества. Анализ показал, что наиболее эффективными являются электроды игольчатой формы [18].

Также на работу электрофильтра сказывается и полярность подводимого напряжения. Анализ [19] показал, что при отрицательной короне, пробой происходит при большем напряжении и эффективность очистки выше. При проектировании мокрого однозонного электрофильтра была выбрана отрицательная полярность питающего напряжения.

В работе [20] было затронуто влияние источника напряжение на эффективность очистки, однако это влияние достаточно мало и в данной работе затронуто не будет.

Наиболее сильное влияние на эффективность очистки электрофильтром оказывают такие конструктивные параметры как: длина зоны осаждения, количество осадительных электродов, расстояние между осадительными электродами, и технологические параметры такие как: скорость воздушного потока и величина питающего напряжения [21]. В текущем исследовании внимание будет обращено на данные технологические и конструктивные параметры.

Цель исследования заключается в проведении экспериментального исследования мокрого однозонного электрофильтра с последующим определением влияния различных параметров на эффективность его работы.

Научная значимость исследования состоит в получении новых аналитических зависимостей эффективности очистки воздуха мокрым однозонным электрофильтром от его конструктивных и режимных параметров.

Практическая значимость исследования заключается в определении оптимальных параметров работы электрофильтра (напряжение, скорость воздушного потока, расстояние между электродами и др.), что обеспечит более высокую степень улавливания аэрозольных частиц.

Материалы и методы *(Materials and methods)*

Объектом исследования является мокрый однозонный электрофильтр. На рисунке 1 представлена конструкция мокрого однозонного электрофильтра (МЭФ), разработанного на основе обширной технической литературы [22, 23, 24, 25, 26].

Конструкция включает корпус из коррозионностойких материалов, входной и выходной патрубки для поступления загрязненного газа и выхода очищенного, электродную систему с коронирующими электродами для зарядки частиц и осадительными электродами для их осаждения, систему для смачивания осадительных электродов и сливную систему для удаления загрязненной жидкости, привод вращения вентилятора, привод вращения осадительных электродов, а также систему питания и управления для обеспечения работы устройства [27].

Отличительной особенностью данного фильтра является форма осадительных электродов. Осадительные электроды выполнены круглой формы, наполовину опущены в омывающую жидкость.

Принцип работы состоит в том, что загрязненный газ поступает внутрь, аэрозольные частицы заряжаются и оседают на электродах. Вращаясь, электроды проходят через жидкость, жидкость смывает осевшие частицы. Очищенный газ выходит наружу. Данное техническое решение позволяет непрерывно очищать электрофильтр, не давая ему загрязняться и сохранять высокую эффективность очистки на протяжении долгого времени. Мокрые электрофильтры эффективны для удаления мелкодисперсных частиц и аэрозолей и используются в различных промышленных отраслях [28].

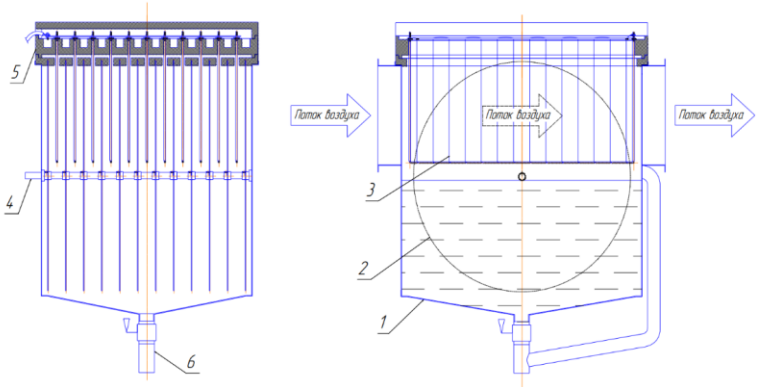

Рис. 1. Конструкция мокрого однозонного электрофильтра: 1 – корпус; 2 – осадительные электроды; 3 – коронирующие электроды; 4 – вал; 5 – изоляционная плита

Fig. 1. Construction of a wet single-zone electrostatic precipitator: 1 – housing; 2 – precipitation electrodes; 3 – corona electrodes; 4 – shaft; 5 – insulating plate

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Изготовленный опытный образец мокрого однозонного электрофильтра (рис.2) состоит из корпуса, выполненного из нержавеющей стали. Внутри корпуса расположены 14 круглых осадительных электродов диаметром 400 мм, толщина электрода – 3 мм, расстояние между осадительными электродами – 25 мм, между осадительными электродами расположены коронирующие электроды, выполненные в виде игольчатых стержней (рис.3), глубина вхождения осадительного электрода в изоляционную плиту – 5 мм.

Рис. 2. Опытный образец МЭФ

Fig. 2. Prototype of a wet electrostatic precipitator

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Экспериментальные исследования в лабораторных условиях производились в лабораториях кафедры «Применение электрической энергии в сельском хозяйстве» Южно-Уральского государственного аграрного университета (г. Челябинск).

Для проведения испытаний в лабораторных условиях использовался экспериментальный стенд (рис. 3), в основу которого был положен опытный образец мокрого однозонного электрофильтра

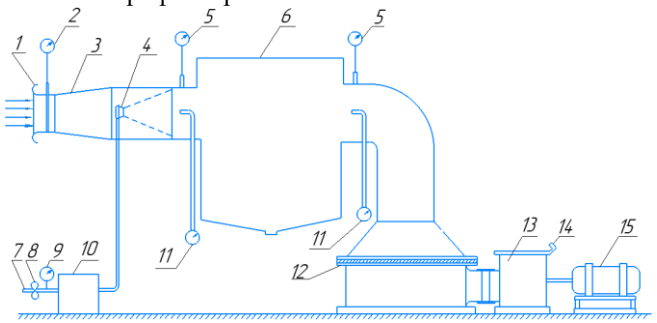

Рис. 3. Схема экспериментального стенда: 1 – Входной коллектор, 2 – Расходомер, 3 – Диффузор, 4 – Распылитель-диагломератор, 5 – Микроманометр, 6 – Испытываемый мокрый однозонный электрофильтр, 7 – Трубопровод сжатого воздуха, 8 – Вентиль, 9 – Манометр, 10 – Пыледозатор, 11 – Счетчик аэрозольных частиц, 12 – Абсолютный фильтр, 13 – Вентилятор, 14 – Шибер, 15 – Электродвигатель

Fig. 3. Diagram of the experimental stand: 1 – Inlet manifold, 2 – Flowmeter, 3 – Diffuser, 4 – Spray-diaglomerator, 5 – Micromanometer, 6 – Wet single-zone electrostatic precipitator under test, 7 – Compressed air pipeline, 8 – Valve, 9 – Pressure gauge, 10 – Dust dispenser, 11 – Aerosol counter particles, 12 – Absolute filter, 13 – Fan, 14 – Gate, 15 – Electric motor

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Воздух втягивается в испытательный стенд из помещения при помощи вентилятора 13. Вентилятор с электродвигателем 15 монтируются на двух самостоятельных основаниях. Для исключения передачи вибрации от вентилятора к стенду в соединяющем их трубопроводе устанавливается эластичная вставка. Лопаточные колеса вентиляторов приводятся во вращение асинхронным электродвигателем и обеспечивают расход воздуха до 1000 м3/ч.

Заготовленная пыль подается через распылитель-диагломератор 4 на электрофильтр от пыледозатора 10 при помощи давления сжатого воздуха [29].

Для предотвращения попадания пыли из установки в помещение для проведения эксперимента, на выходе стенда установлен абсолютный фильтр 12.

В абсолютном фильтре ткань уложена на плоскую раму. В качестве фильтрующего материала в абсолютном фильтре используется материал ФПП-15.

Регулирование расхода воздуха в стендах осуществляется с помощью шибера 14, установленного на выхлопе вентилятора [30].

Расход воздуха в стенде измеряется с помощью расходомера Метран-350-MFA на базе осредняющей напорной трубки ОНТ Annubar 485. Принцип действия расходомеров основан на измерении расхода среды методом переменного перепада давления.

Измерение концентрации пыли до и после фильтра измеряется при помощи счетчика 11 аэрозольных частиц Fluke 983.

В помещении стенда контролируются параметры воздушной среды: температура, давление, влажность и запыленность. Температура воздуха измеряется ртутным термометром, барометрическое давление - ртутным барометром, относительная влажность - аспирационным психрометром. Запыленность воздуха устанавливается анализатором пыли Атмас.

Проведение испытаний и оформление результатов

Испытание фильтров проводят путем очистки воздуха, искусственно запыленного экспериментальной пылью. Воздух перед его запылением забирается из помещения.

Эффективность определяют на основе измерения количества пылевых частиц до и после испытываемого электрофильтра [31].

Для выявления влияния параметров электрофильтра на эффективность очистки, в ходе эксперимента изменялись такие параметры как напряжение питания, расстояние между осадительными электродами, радиус осадительных электродов, скорость воздушного потока [32].

Каждый эксперимент проводился в течение 20 минут, и повторялся 5 раз. Результаты экспериментов сводились в таблицу и обрабатывались с помощью

статистических методов, для определения среднего значения, ошибки и определения эффективности очистки. Результаты эксперимента представляются в виде графиков зависимости эффективности очистки воздуха от изменяемого параметра электрофильтра.

На основе полученных данных формулируются выводы о ключевых параметрах, влияющих на эффективность работы электрофильтра, и даются рекомендации по улучшению конструкции и режима работы. Эти испытания помогают оптимизировать существующие модели и разрабатывать новые, более эффективные устройства для очистки газов в различных промышленных условиях.

Также были получены вольтамперные характеристики мокрого электрофильтра для определения максимального напряжения. Вольтамперные характеристики были сняты для сухого режима, когда в электрофильтр не была залита жидкость и для мокрого режима, когда элекрофильтры был наполнен жидкостью. Осадительные электроды при этом были приведены во вращение. Вольтамперные характеристики были сняты для фильтра, с параметрами, описанными выше.

При снятии вольтамперных характеристик были использованы киловольтметр ТЕТРОН-КВ20 и миллиамперметр СА3010/2-000.

Изменение напряжения было ступенчатое, с шагом 2 кВ, для каждого значения напряжения измерялся ток, протекающий через фильтр. Увеличение напряжения происходило до пробоя. По результатам измерений были построены графики зависимости тока коронного разряда от напряжения питания.

Результаты *(Results)*

Снятие вольтамперной характеристики

Результаты по снятию вольтамперной характеристики мокрого однозонного электрофильтра представлены на рисунке 4.

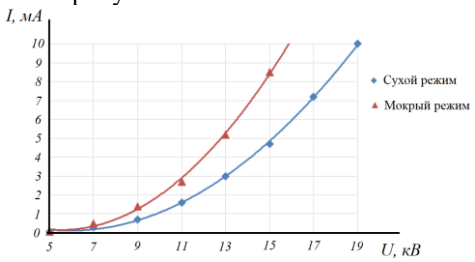

Рис. 4. Вольтамперная характеристика мокрого однозонного электрофильтра

Fig. 4. Voltage characteristic of a wet single-zone electrostatic precipitator

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Анализ результатов сравнения показал, что вольтамперная характеристики электрофильтра, заполненного жидкостью круче. При равном напряжении, ток коронного разряда в мокром режиме больше. Это объясняется наличием мелкодисперсного жидкостного аэрозоля в межэлектродном промежутке, вследствие чего увеличивается влажность воздушного потока, что и приводит к повышению тока коронного разряда.

Пробой воздушного промежутка в мокром режиме наступает раньше, что также объясняется больше влажностью воздушного потока, по сравнению с сухим режимом. Пробой в сухом режиме для описанных параметров электрофильтра происходит при напряжении больше 19кВ, в сухом режиме, при напряжении больше 16кВ, это соответствует напряженности электрического поля 7,6 кВ/см и 6,4 кВ/см соответственно.

Таким образом для дальнейших испытаний мокрого однозонного электрофильтра принято значение напряженности электрического поля в межэлектродном пространстве, не более 6,4 кВ/см.

Исследование эффективности электрофильтра

Первая группа экспериментов направлена на определение зависимости эффективности работы электрофильтра от скорости воздушного потока для различных значений размеров аэрозольных частиц.

В таблице 1 представлена обработка результатов эксперимента для скорости воздушного потока 220 м3/ч и размера частицы 1 мкм. Аналогичным образом обработаны значения для скоростей воздушного потока 350, 420, 500, 600 и 700 м3/ч (таблица 2). По результатам построена зависимость эффективности электрофильтра от скорости воздушного потока для размеров аэрозольных частиц 1 мкм, 0,5 мкм и 0,3 мкм (рисунок 5).

Таблиц 1
Table 1

Результаты эксперимента
Experimental results

Номер опыта	Количество частиц перед фильтром, шт	Количество частиц после фильтра, шт	Эффективность фильтра
1	123648	241	0,998
2	113546	169	0,999
3	145862	208	0,999
4	135479	458	0,997
5	129746	542	0,996
		Среднее значение	0,998
		Погрешность	0,1%

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Таблиц 2
Tables 2

Результаты эксперимента
Experimental results

Скорость воздушного потока, м3/ч	Эффективность фильтра	Погрешность, %
220	0,998	0,1
350	0,990	0,17
420	0,979	0,13
500	0,970	0,2
600	0,937	0,6
700	0,870	0,9

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

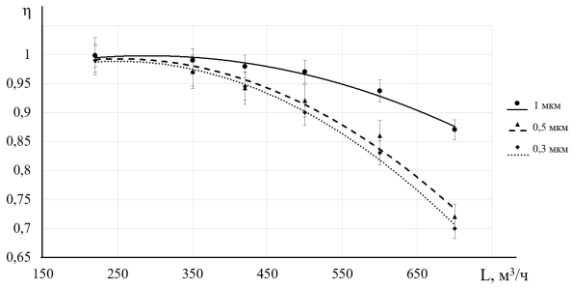

Рис. 5. Экспериментальные зависимости эффективности электрофильтра от скорости воздушного потока для аэрозольных частиц размеров 1 мкм, 0,5 мкм и 0,3 мкм

Fig. 5. Experimental dependences of the efficiency of the electrostatic precipitator on the air flow velocity for aerosol particles of sizes 1 microns, 0.5 microns and 0.3 microns

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author*.

Второй группой экспериментов была направлена на определение зависимости эффективности электрофильтра от напряжения питания. Результат эксперимента представлена на рисунке 6.

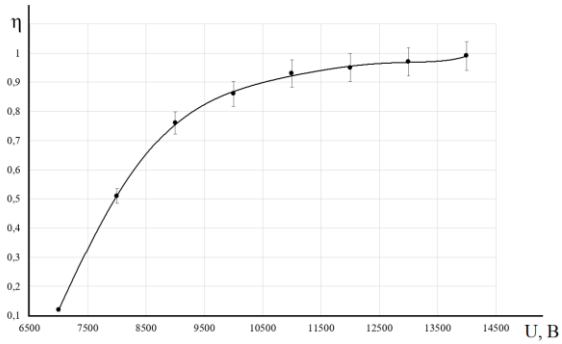

Рис. 6. Экспериментальная зависимость эффективности электрофильтра от напряжения питания

Fig. 6. Experimental dependence of the efficiency of the electrostatic precipitator on the supply voltage

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author*.

Третья группа экспериментов была направлена на определение влияния расстояния между осадительными электродами на эффективность электрофильтра.

Сняты экспериментальные зависимости эффективности электрофильтра от скорости воздушного потока для межэлектродных расстояний 0,025 м, 0,03 м, 0,035 м и 0,04 м. Результаты представлены на рисунке 7.

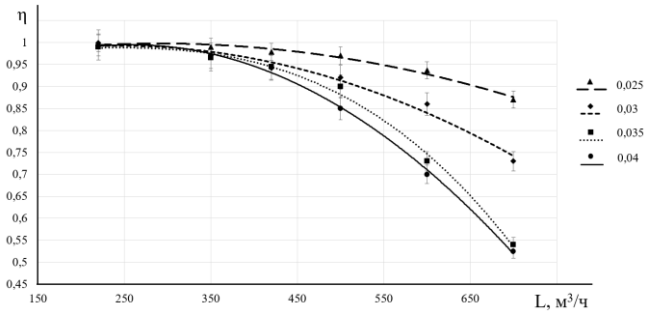

Рис. 7. Экспериментальная зависимость эффективности электрофильтра от скорости воздушного потока для межэлектродных расстояний 0,025 м, 0,03 м, 0,035 м и 0,04 м

Fig. 7. Experimental dependence of the efficiency of the electrostatic precipitator on the air flow velocity for interelectrode distances of 0.025 m, 0.03 m, 0.035 m and 0.04 m

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author*.

Четвертая группа экспериментов была направлена на выявление влияния радиуса осадительных электродов на эффективность электрофильтра. Были изготовлены осадительные электроды радиусом 0,2 м, 0,3 м, 0,4 м и 0,5 м. Для каждой группы осадительных электродов были сняты зависимости эффективности электрофильтра от скорости воздушного потока. Результаты эксперимента представлены на рисунке 8.

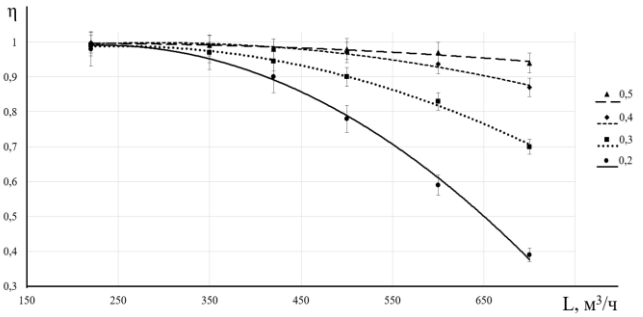

Рис. 8. Экспериментальная зависимость эффективности электрофильтра от скорости воздушного потока при осадительных электродах радиусом 0,2 м, 0,3 м, 0,4 м и 0,5 м

Fig. 8. Experimental dependence of the efficiency of the electrostatic precipitator on the air flow velocity at precipitation electrodes with a radius of 0.2 m, 0.3 m, 0.4 m and 0.5 m

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author*.

***Обсуждение** (Discussions)*

Анализ экспериментальных зависимостей показал, что:

- при увеличении скорости воздушного потока, эффективность улавливания аэрозольных частиц мокрым однозонным электрофильтром уменьшается, что объясняется вторичным уносом частиц аэрозоля потоком воздуха;

- эффективность очистки для разных размеров аэрозольных частиц отличается. Чем меньше размер частиц, тем эффективность меньше, что свидетельствует об уменьшении действия силы Кулона на осадительную частицу меньшего диаметра из-за меньшего ее заряда;

- эффективность очистки мокрым электрофильтром тем ниже, чем ниже напряжение питания, что объясняется уменьшением мощности коронного разряда и, соответственно, уменьшению заряда частиц аэрозоля;

- эффективность очистки мокрым электрофильтром зависит от расстояния между осадительными электродами. Чем больше расстояние между осадительными электродами, тем меньше эффективность электрофильтра, что объясняется снижением напряженности электрического поля в межэлектродном промежутке;

- эффективность очистки мокрым электрофильтром зависит от диаметра осадительных электродов. Чем меньше диаметр осадительных электродов, тем меньше эффективность электрофильтра, что объясняется уменьшением площади осаждения электрофильтра.

***Заключение** (Conclusions)*

Экспериментальные исследования позволяют получить зависимости эффективности мокрого однозонного электрофильтра от конструктивных и технологических параметров.

Проведенные экспериментальные исследования позволили определить степень влияния параметров мокрого однозонного электрофильтра на эффективность его работы. Результаты показали, что увеличение скорости воздушного потока и расстояния между электродами снижает эффективность очистки, в то время как увеличение напряжения и диаметра осадительных электродов способствует более эффективному улавливанию частиц.

Полученные зависимости позволяют получить оптимальные параметры электрофильтра для его наиболее эффективной работы, что обеспечит повышение экологичности и экономичности промышленного производства.

Литература

1. Чикляев Е.Г., Танеева А.В., Коротаев О.Р. Проблемы экологической безопасности воздушной среды промышленных предприятий // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2010. №. 3-4. С. 122-130.

2. Преображенский Ю.П. О проблемах качества воздушной среды и загрязнении атмосферы // Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений. 2020. С. 219-222.

3. Бородина М. А., Кича М. А., Михайленко В. С. Очистка воздушной среды от жидких и твердых аэрозолей с использованием фильтра УОВ-ФА // Вестник МАНЭБ. 2023. Т. 28. №. 1. С. 28.

4. Даньшова А. С. Обеззараживание воздуха в вентиляционных системах // Научный аспект. 2024. №6. С. 7149-7155.

5. Мальчик А.Г., Тищук А.А., Романюк Р.А. Запыленность воздушной среды деревообрабатывающих цехов. Способы снижения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны // Инновационные технологии в машиностроении: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции, 25–27 мая 2023 г., Юрга. Томский политехнический университет, С. 177-180.

6. Mata T.M., Martins A.A., Calheiros C.S., et al. Indoor air quality: a review of cleaning technologies // Environments. 2022. Т. 9. №. 9. С. 118.

7. Swamy G. Development of an indoor air purification system to improve ventilation and air quality // Heliyon. 2021. Т. 7. №. 10.

8. Базыкин В.И. Способы снижения выбросов климатически активных газов на свинофермах //АгроЭкоИнженерия. 2023. №. 4 (117). С. 113-129.

9. Гулай Е. С., Зарипов Р. И. Роль высокоэффективных фильтров в жизнеобеспечении //Актуальные научные исследования от теории к практике: сборник материалов международной научно-практической конференции, 19 января 2024 г., Москва. Т2. С. 75.

10. Dubey S., Rohra H., Taneja A. Assessing effectiveness of air purifiers (HEPA) for controlling indoor particulate pollution // Heliyon. 2021. Т. 7. №. 9.

11. Viner A. S. et al. Air cleaners for indoor air pollution control //Indoor Air Pollution. – CRC Press, 2021. – С. 115-131.

12. Возмилов А.Г., Илимбетов Р.Ю., Панишев С.А., и др. Анализ электрофильтров для очистки воздушной среды производственных помещений // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2024. Т. 26. №. 2. С. 78-96.

13. Chen L., Gonze E., Ondarts M., et al. Electrostatic precipitator for fine and ultrafine particle removal from indoor air environments // Separation and Purification Technology. 2020. Т. 247. С. 116964.

14. Pal A., Dixit A., Srivastava A.K. Design and optimization of the shape of electrostatic precipitator system // Materials Today: Proceedings. 2021. Т. 47. С. 3871-3876.

15. Lee G.H., Hwang S.Y., Cheon T.W., et al. Optimization of pipe-and-spike discharge electrode shape for improving electrostatic precipitator collection efficiency // Powder Technology. 2021. Т. 379. С. 241-250.

16. Wang P. Liu J., Wang C., et al. A holistic performance assessment of duct-type electrostatic precipitators // Journal of Cleaner Production. 2022. Т. 357. С. 131997.

17. Andrade R.G., Guerra V.G. Discharge electrode influence on electrostatic precipitation of nanoparticles // Powder Technology. 2021. Т. 379. С. 417-427.

18. Wang X. Effects of corona wire distribution on characteristics of electrostatic precipitator // Powder Technology. 2020. Т. 366. P. 36-42.

19. Шавкунов М. Л., Корепанов А. С., Лекомцев П. Л. Исследование влияния полярности

коронного разряда на работу электрофильтра // Научные разработки и инновации в решении стратегических задач агропромышленного комплекса. 2022. С. 304-308.

20. Пархомчук Г. Е. Исследование влияния выходных параметров источников высокого напряжения на параметры электрофильтров // Актуальные вопросы современной науки и образования. 2024. С. 20.

21. Селезнева Д. М. Проведение испытаний многозонного электрофильтра для обеспыливания воздуха сельскохозяйственных помещений // Агротехника и энергообеспечение. 2021. №. 2 (31). С. 12-17.

22. Катин В. Д., Журавлев А. А. Разработка новой конструкции высокоэффективного циклона-электрофильтра для угольных котельных // Развитие современной науки и технологий в условиях трансформационных процессов. 2022. С. 60-64.

23. Слободскова А.А., Белименко С.О., Суслов И.А., и др. К вопросу эффективности мокрого электрофильтра при очистке воздуха // Эффективность применения инновационных технологий и техники в сельском и водном хозяйстве. 2020. С. 411-413.

24. Badami M. M. et al. Design, optimization, and evaluation of a wet electrostatic precipitator (ESP) for aerosol collection // Atmospheric Environment. – 2023. – Т. 308. – С. 119858.

25. Lee H., Tohidi R., Aldekheel M., et al. Development of electrostatic-precipitator-type air conditioner for reduction of fine particulate matter in subway // IEEE Transactions on Industry Applications. 2022. Т. 58. №. 3. С. 3992-3998.

26. Knight R.M., Hocter J.S., Milliken S.R., et al. Development and optimisation of full-scale prototype electrostatic precipitators in a laboratory for particulate matter mitigation in poultryfacilities // Biosystems Engineering. 2023. Т. 230. С. 71-82.

27. Юркин В.В., Илимбетов Р.Ю., Дмитриев А.А., и др. К вопросу расчета конструкционных параметров мокрого электрофильтра // АгроЭкоИнфо. 2023. № 5 (59).

28. Возмилов А.Г., Андреев Л.Н., Панишев С.А., и др. Использование двухступенчатого мокрого электрофильтра в системах очистки рециркуляционного воздуха в производственных помещениях сельского хозяйства с целью снижения заболеваемости рабочих // Вестник НГИЭИ. 2022. №. 5 (132). С. 45-54.

29. Красилова В.А., Коссович Е.Л., Гаврилова Д.И., и др. Лабораторная установка для улавливания и концентрирования взвешенной угольной пыли // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. №. 6. С. 121-130.

30. Zhu Y., Chen C., Shi J., et al. Experimental investigation of the effect of collection length in a two-stage electrostatic precipitator for removal of PM2. 5 // Chemical Engineering Journal. 2021. Т. 421. С. 127797.

31. Chen L., Gonze E., Ondarts M., et al. Electrostatic precipitator for fine and ultrafine particle removal from indoor air environments // Separation and Purification Technology. 2020. Т. 247. С. 116964.

32. Zhou W., Jiang R., Sun Y., et al. Study on multi-physical field characteristics of electrostatic precipitator with different collecting electrodes // Powder Technology. 2021. Т. 381. С. 412-420.

Авторы публикации

Возмилов Александр Григорьевич – д-р техн. наук, профессор кафедры «Электропривод, мехатроника и электромеханика» Южно-уральского государственного университета (НИУ). *ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1292-3975. vozmiag@rambler.ru.*

Урманов Виль Губаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Прикладная механика и компьютерный инжиниринг» Башкирского государственного аграрного университета. *ORCID: http://orcid.org/0009-0007-8328-0392. uvg55@mail.ru.*

Панишев Сергей Алексеевич – аспирант кафедры «Электропривод, мехатроника и электромеханика» Южно-уральского государственного университета (НИУ). *ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2753-2341. panishef.serega@mail.ru.*

Лисов Андрей Анатольевич – аспирант кафедры «Электропривод, мехатроника и электромеханика» Южно-уральского государственного университета (НИУ). *ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7282-8470. lisov.andrey2013@yandex.ru.*

References

1. Chiklyaev E.G., Taneeva A.V., Korotaev O.R. Problems of environmental safety of the air environment of industrial enterprises // News of higher educational institutions. Energy problems. 2010. No. 3-4. pp. 122-130.

2. Preobrazhensky Yu.P. On the problems of air quality and atmospheric pollution // Innovative methods of designing building structures of buildings and structures. 2020. pp. 219-222.

3. Borodina M. A., Kicha M. A., Mikhailenko V. S. Purification of the air environment from liquid and solid aerosols using a UV-FA filter // Bulletin of MANEB. 2023. Vol. 28. No. 1. p. 28.

4. Danshova A. S. Disinfection of air in ventilation systems // Scientific aspect. 2024. No. 6. pp. 7149-7155.

5. Boy A.G., Tishchuk A.A., Romanyuk R.A. Dustiness of the air environment of woodworking shops. Ways to reduce the concentration of dust in the air of the working area // Innovative technologies in mechanical engineering: proceedings of the XIV Scientific and Practical International Conference, May 25-27, 2023, Jurga. Tomsk Polytechnic University, pp. 177-180.

6. Mata T.M., Martins A.A., Calheiros K.S. and others. Indoor air quality: an overview of cleaning technologies // Environment. 2022. Vol. 9. No. 9. p. 118.

7. Swami G. Development of an indoor air purification system to improve ventilation and air quality. 2021. Vol. 7. No. 10.

8. Bazykin V.I. Ways to reduce emissions of climatically active gases on pig farms //Agroecoengineering. 2023. No. 4 (117). pp. 113-129.

9. Gulai E. S., Zaripov R. I. The role of high-efficiency filters in life support //Current scientific research from theory to practice: proceedings of the International Scientific and practical Conference, January 19, 2024, Moscow. T2. P. 75.

10. Dubey S., Rora H., Taneya A. Evaluation of the effectiveness of air purifiers (HEPA) for the control of indoor pollution by solid particles // Heliyon. 2021. Vol. 7. No. 9.

11. Viner A. S. and others. Air purifiers to combat indoor air pollution //Indoor air pollution. – CRC Press, 2021. – pp. 115-131.

12. Vozdilov A.G., Ilimbetov R.Yu., Panishev S.A., and others. Analysis of electrostatic precipitators for air purification of industrial premises // News of higher educational institutions. Energy problems. 2024. Vol. 26. No. 2. pp. 78-96.

13. Chen L., Gonze E., Ondarts M. et al. An electrofilter for removing fine and ultrafine particles from indoor air // Separation and purification technology. 2020. Vol. 247. pp. 116964.

14. Pal A., Dixit A., Srivastava A.K. Design and optimization of the shape of the electrostatic precipitator system // Materials today: Proceedings. 2021. Vol. 47. pp. 3871-3876.

15. Lee G.H., Hwang S.Y., Cheon T.V. and others. Optimization of the shape of the tubular discharge electrode to increase the efficiency of collecting the electrostatic precipitator // Powder technologies. 2021. Vol. 379. pp. 241-250.

16. Wang P., Liu J., Wang S. et al. Comprehensive assessment of the effectiveness of channel electrostatic precipitators // Journal of environmentally friendly production. 2022. Vol. 357. pp. 131997.

17. Andrade R.G., Guerra V.G. The effect of a discharge electrode on the electrostatic deposition of nanoparticles // Powder technology. 2021. Vol. 379. pp. 417-427.

18. Wang H. The effect of corona discharge propagation on the characteristics of an electrofilter // Powder technology. 2020. Vol. 366. pp. 36-42.

19. Shavkunov M. L., Korepanov A. S., Lekomtsev P. L. Investigation of the effect of corona discharge polarity on the operation of an electrofilter // Scientific developments and innovations in solving strategic tasks of the agro-industrial complex. 2022. pp. 304-308.

20. Parkhomchuk G. E. Investigation of the influence of output parameters of high voltage sources on the parameters of electrostatic precipitators // Actual issues of modern science and education. 2024. p. 20.

21. Selezneva D. M. Conducting tests of a multi-zone electrostatic precipitator for dedusting the air of agricultural premises // Agrotechnics and energy supply. 2021. No. 2 (31). pp. 12-17.

22. Katin V. D., Zhuravlev A. A. Development of a new design of a highly efficient cyclone-electric filter for coal-fired boilers // Development of modern science and technology in conditions of transformation processes. 2022. pp. 60-64.

23. Slobodskova A.A., Belimenko S.O., Suslov I.A., and others. On the issue of the effectiveness of a wet electrostatic precipitator in air purification // The effectiveness of the use of innovative technologies and equipment in agriculture and water management. 2020. pp. 411-413.

24. Badami M. M. et al. Design, optimization and evaluation of a wet electrostatic precipitator (ESP) for aerosol collection // Atmospheric environment. – 2023. – Vol. 308. – p. 119858.

25. Lee H., Tohidi R., Aldehil M. et al. Development of an air conditioner with an electrostatic precipitator to reduce the content of fine solid particles in the subway // IEEE Transactions on Industry Applications. 2022. Vol. 58. No. 3. pp. 3992-3998.

26. Knight R.M., Hoche J.S., Milliken S.R. et al. Development and optimization of full-scale prototypes of electrostatic precipitators in the laboratory to reduce the content of solid particles in poultry farms // Biosystem Engineering. 2023. Vol. 230. pp. 71-82.

27. Yurkin V.V., Ilimbetov R.Yu., Dmitriev A.A., and others. On the issue of calculating the structural parameters of a wet electrofilter // AgroEcoInfo. 2023. № 5 (59).

28. Vozdilov A.G., Andreev L.N., Panishev S.A., and others. The use of a two-stage wet electrostatic precipitator in recirculating air purification systems in agricultural production facilities in order to reduce the incidence of workers // Bulletin of the NGIEI. 2022. №. 5 (132). Pp. 45-54.

29. Krasilova V.A., Kossovich E.L., Gavrilova D.I., and others. Laboratory installation for the capture and concentration of suspended coal dust // Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). 2022. No. 6. pp. 121-130.

30. Zhu Yu., Chen K., Shi J. and others. An experimental study of the effect of the collection length in a two-stage electrostatic precipitator on the removal of PM2. 5 // Journal of Chemical Engineering. 2021. Vol. 421. p. 127797.

31. Chen L., Gonze E., Ondarts M. et al. An electrofilter for removing fine and ultrafine particles from indoor air // Separation and purification technology. 2020. Vol. 247. pp. 116964.

32. Zhou W., Jiang R., Sun Yu. and others. Investigation of the characteristics of the multiphysical field of an electrofilter with various collecting electrodes // Powder technology. 2021. Vol. 381. pp. 412-420.

Authors of the publication

Alexander G. Vozmilov **–** Mechatronics and Electromechanics, South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, Russia. *ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1292-3975. vozmiag@rambler.ru.*

Vil G. Urmanov **–** Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia. *ORCID: http://orcid.org/0009-0007-8328-0392. uvg55@mail.ru.*

Sergey A. Panishev **–** South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, Russia. *ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2753-2341. panishef.serega@mail.ru.*

Andrey A. Lisov **–** South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, Russia. *ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7282-8470. lisov.andrey2013@yandex.ru*

Шифр научной специальности: 2.4.5. Энергетические системы и комплексы

Получено	***11.11.2024 г.***
Отредактировано	***21.02.2025 г.***
Принято	***18.03.2025 г.***