ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И ПРОИЗВОДСТВО

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Статья поступила в редакцию: 29.09.2026
Статья принята к публикации: 12.10.2026
Статья опубликована: 28.10.2026

УДК 66.074.51:621.928

DOI: 10.32743/UniTech.2026.151.10.23538

Экспериментальное исследование распределения скорости газа в рабочих зонах роторно-фильтрующего аппарата

Исомидинов Азизжон Саломидинович
д-р философии (PhD) по техническим наукам, доц.
кафедра технологических машин и оборудования, Ферганский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Фергана
E-mail: azizjon.isomidinov@fstu.uz

Experimental study of gas velocity distribution in the operating zones of a rotary filter apparatus

Isomidinov Azizjon Salomidinovich
doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Associate Professor
Department of Technological Machines and Equipment Fergana State Technical University
Republic of Uzbekistan, Fergana

Аннотация

В работе экспериментально исследовано распределение скорости газового потока в характерных рабочих зонах роторно-фильтрующего аппарата, предназначенного для мокрой очистки мелкодисперсных запыленных газов химических производств. Цель исследования заключалась в установлении влияния активной площади фильтрующей поверхности на изменение локальной скорости газа и аэродинамический режим аппарата. Скорость измеряли во входной части, в диффузоре, в щелевом зазоре между ротором и корпусом, на участке между входным и выходным патрубками, в конфузоре и выходной зоне с использованием электронного анемометра BA06-TROTEC. Эксперимент выполнен при трёх значениях

Библиографическое описание: Исомидинов А.С. Экспериментальное исследование распределения скорости газа в рабочих зонах роторно-фильтрующего аппарата // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 10(151). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23538

активной площади фильтрующей поверхности: 0,202; 0,229 и 0,268 м², а также при пяти уровнях входной скорости газа. Для обработки результатов определяли коэффициент сохранения скорости, относительное снижение скорости и параметры линейных регрессионных зависимостей между входной и локальной скоростью газа. Установлено, что увеличение активной площади сопровождается последовательным снижением скорости на рабочих поверхностях и в выходной зоне. Наиболее выраженное торможение потока выявлено на поверхности В, в конфузоре и на выходе из аппарата. При активной площади 0,268 м² среднее снижение скорости в выходной зоне достигло 82,3 %. Полученные зависимости могут быть использованы при выборе активной площади фильтра и обосновании рационального соотношения между продолжительностью контакта газового потока с увлажненной поверхностью, гидравлическим сопротивлением и предполагаемой эффективностью очистки.

Abstract

This study experimentally investigates gas-velocity distribution in the characteristic operating zones of a rotary filter apparatus designed for wet cleaning of fine dust-laden gases generated in chemical processes. The aim was to determine how the active area of the filtering surface affects local gas velocity and the aerodynamic regime of the apparatus. Gas velocity was measured at the inlet, in the diffuser, in the slit gap between the rotor and housing, in the section between the inlet and outlet nozzles, in the converging section, and at the outlet using a BA06-TROTEC electronic anemometer. The experiments were performed at three active filtering-surface areas of 0.202, 0.229, and 0.268 m² and at five inlet gas-velocity levels. The data were processed by calculating the velocity-retention coefficient, relative velocity reduction, and parameters of linear regression relationships between inlet and local gas velocities. Increasing the active filtering area resulted in a progressive decrease in gas velocity at the working surfaces and in the outlet zone. The strongest deceleration was observed at working surface B, in the converging section, and at the apparatus outlet. At an active area of 0.268 m², the mean velocity reduction in the outlet zone reached 82.3 %. The obtained relationships can be used to select a rational active filter area and to substantiate the balance between gas-contact time with the wetted surface, hydraulic resistance, and the expected cleaning performance.

Ключевые слова: роторно-фильтрующий аппарат, запыленный газ, мокрая газоочистка, распределение скорости газа, активная фильтрующая поверхность, гидравлическое сопротивление, аэродинамический режим.

Keywords: rotary filter apparatus, dust-laden gas, wet gas cleaning, gas velocity distribution, active filtering surface, hydraulic resistance, aerodynamic regime.

Введение

Эффективная очистка запыленных газов промышленных предприятий является одной из важнейших задач охраны атмосферного воздуха, снижения технологических выбросов и обеспечения безопасных условий труда на производственных площадках. Особенно актуальна эта проблема для предприятий по производству минеральных удобрений. На линиях производства суперфосфата и аммофоса из барабанных сушильно-грануляционных

аппаратов, реакторов-смесителей, элеваторов, дробилок и грохотов выделяются газопылевые смеси, содержащие мелкодисперсные частицы, а в отдельных случаях — кислые газовые газовые компоненты. Очистка таких потоков в обычных инерционных аппаратах или одноступенчатых скрубберах не всегда обеспечивает устойчиво высокую эффективность [7, 10, 13].

В исследованиях роторно-фильтрующий аппарат рассматривался как средство очистки пыли минеральных удобрений и вторичных газов, выбрасываемых в атмосферу цехом АС-72М АО «Farg‘onaazot» и цехом производства аммофоса АО «AMMAFOS-MAXAM». Основная задача аппарата состоит в обеспечении высокой эффективности очистки при относительно небольшом гидравлическом сопротивлении, интенсификации контакта «газ-жидкость-фильтр» и снижении энергозатрат [4].

Преимущество роторно-фильтрующего аппарата заключается в том, что запыленный газовый поток одновременно контактирует с каплями жидкости, увлажненной фильтрующей поверхностью и подвижными рабочими органами. В результате частицы отделяются за счёт совокупного действия инерционных и центробежных сил, смачивания, коагуляции и улавливания на фильтрующей поверхности. Однако устойчивость процесса непосредственно зависит от распределения скорости газа внутри аппарата, характера перенаправления потока в диффузоре и конфузоре, а также от активной площади фильтрующей поверхности [5, 7, 10, 11].

В связи с этим основное внимание в настоящем исследовании уделено экспериментальному определению распределения скорости газа в рабочих зонах роторно-фильтрующего аппарата. Цель работы заключалась в установлении закономерностей перераспределения газового потока при увеличении $S_{акт}$, оценке снижения скорости в щелевом зазоре между ротором и корпусом, на участке между входным и выходным патрубками, в конфузоре и выходной части, а также в разработке аэродинамического обоснования выбора активной площади фильтра.

В рабочей зоне аппарата активную площадь фильтрующей поверхности в ходе эксперимента изменяли при $S_{акт}$ = 0,202; 0,229 и 0,268 м². Увеличение активной площади изменяет траекторию и скорость газового потока в контактной зоне. В настоящем исследовании влияние данного параметра оценивали по распределению локальной скорости газа. Эффективность очистки и гидравлическое сопротивление рассматриваются как параметры, требующие отдельного экспериментального определения.

Материалы и методы

Объект исследования и конструктивное описание аппарата

Объектом исследования служила лабораторная модель роторно-фильтрующего аппарата, предназначенного для мокрой очистки запыленных газов. В состав установки входят вентилятор подачи запыленного газового потока, газонаправляющие каналы, рабочая камера, диффузор, роторный рабочий орган с фильтрующей поверхностью, щелевой зазор между ротором и корпусом, участок между входным и выходным патрубками, каналы подачи продувочного газа, конфузор, насос подачи жидкости, ротаметр, жидкостные трубопроводы и блок управления. После поступления в рабочую камеру газовый поток расширяется

в диффузоре, проходит через фильтрующую поверхность и увлажненную контактную среду, после чего направляется через конфузор к выходу из аппарата. На рис. 1 представлена лабораторная модель роторно-фильтрующего аппарата.



Рисунок 1. Общий вид лабораторной установки роторно-фильтрующего аппарата

В экспериментальных исследованиях скорость газового потока измеряли в шести характерных зонах аппарата: во входной части, в диффузоре, в щелевом зазоре между ротором и корпусом, на участке между входным и выходным патрубками, в конфузоре и на выходе из аппарата. Такое расположение точек измерения позволило оценить последовательное перераспределение потока от входа до выхода.

Скорость газа изменяли путем регулирования степени открытия шибера вентилятора. В зависимости от положения шибера входную скорость принимали равной $\upsilon_{вх}$ = 34,4; 28,0; 23,8; 18,79 и 7,67 м/с. Эти значения охватывают высокий, средний и низкий режимы работы. Для каждого режима при трёх значениях $S_{акт}$ регистрировали скорости в диффузоре, на рабочих поверхностях, в конфузоре и выходной части.

Скорость газового потока определяли электронным анемометром BA06-TROTEC. Контроль давления и температуры осуществляли с учетом подходов, рекомендуемых для аэродинамических испытаний: ГОСТ 17.2.4.06 – 90 — для определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения; ГОСТ 17.2.4.07-90 — для определения давления и температуры газовых потоков; ГОСТ 12.3.018-79 — для организации аэродинамических испытаний вентиляционных систем [1, 2, 3].

Эксперимент проводили в следующей последовательности. Сначала установку запускали и выводили на устойчивый режим. Затем положением шибера задавали входную скорость газа. После этого анемометром BA06-TROTEC фиксировали значения скорости в каждой зоне; эксперимент повторяли при трёх значениях $S_{акт}$. Полученные данные заносили в таблицу, после чего рассчитывали коэффициент сохранения скорости, относительное снижение скорости и регрессионные зависимости. Полученные данные заносили в таблицу. Среднюю скорость газа, коэффициент сохранения скорости и относительное снижение скорости рассчитывали по формулам (1)–(3), а параметры линейной регрессии — по формуле (5).

Расчётные зависимости

При обработке экспериментальных данных определяли среднюю скорость газа, коэффициент сохранения скорости по зонам и относительное снижение скорости по следующим выражениям:

$$\bar{\upsilon}_{\text{ср}} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\upsilon_i \quad (1)$$

$$K_{\text{з}} = \frac{\upsilon_{\text{з}}}{\upsilon_{\text{вх}}} \quad (2)$$

$$\delta_{\text{з}} = \frac{\upsilon_{\text{вх}} - \upsilon_{\text{з}}}{\upsilon_{\text{вх}}} \cdot 100\% \quad (3)$$

$$\Delta P = \zeta\frac{\rho_{\text{г}}\upsilon^2}{2} \quad (4)$$

$$\upsilon_{\text{з}} = a\upsilon_{\text{вх}} + b \quad (5)$$

где $\upsilon_{\text{з}}$ - скорость газа в рассматриваемой зоне, м/с; $\upsilon_{\text{вх}}$ - скорость газа на входе в аппарат, м/с; $K_{\text{з}}$ - коэффициент сохранения скорости по зоне; $\delta_{\text{з}}$ - относительное снижение скорости, %; ΔP - гидравлическое сопротивление, Па; ζ - коэффициент местного или общего сопротивления; $\rho_{\text{г}}$ - плотность газа, кг/м³; a и b – коэффициенты регрессии, определяемые по экспериментальным данным.

Результаты и обсуждение

Экспериментальные результаты показали, что с увеличением Sакт скорость газового потока в щелевом зазоре между ротором и корпусом, на участке между входным и выходным патрубками и в выходной зоне снижается более интенсивно. Так, при высоком режиме $\upsilon_{\text{вх}}$ = 34,4 м/с и $S_{\text{акт}}$ = 0,202 м² скорость газа в щелевом зазоре между ротором и корпусом составляла 25,4 м/с, на участке между входным и выходным патрубками — 18,5 м/с, а на выходе — 17,4 м/с. При увеличении $S_{\text{акт}}$ до 0,268 м² в том же режиме скорость в щелевом зазоре между ротором и корпусом уменьшалась до 20,0 м/с, на участке между входным и выходным патрубками — до 9,1 м/с, а на выходе — до 8,5 м/с. На рис. 2 показано изменение скорости газа в рабочих зонах роторно-фильтрующего аппарата в зависимости от активной площади фильтрующей поверхности.

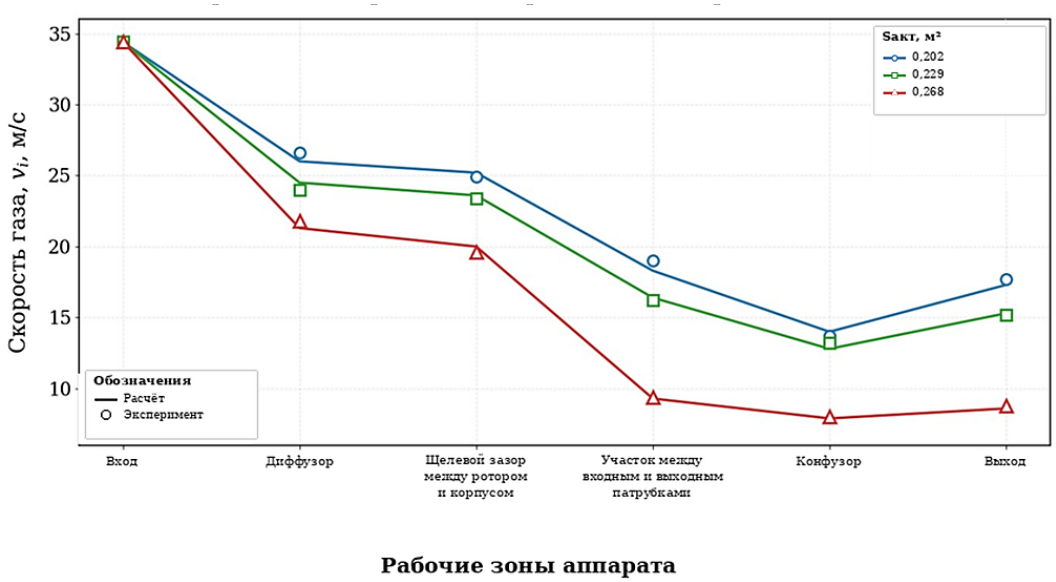


Рисунок 2. Распределение скорости газа по рабочим зонам в режиме высокой входной скорости

Как видно из рис. 2, по мере увеличения площади фильтрующей поверхности скорость потока после входной части последовательно уменьшается. Наиболее интенсивное снижение скорости наблюдается на рабочей поверхности В и в зоне конфузора. Это указывает на более выраженное торможение потока в данных участках аппарата.

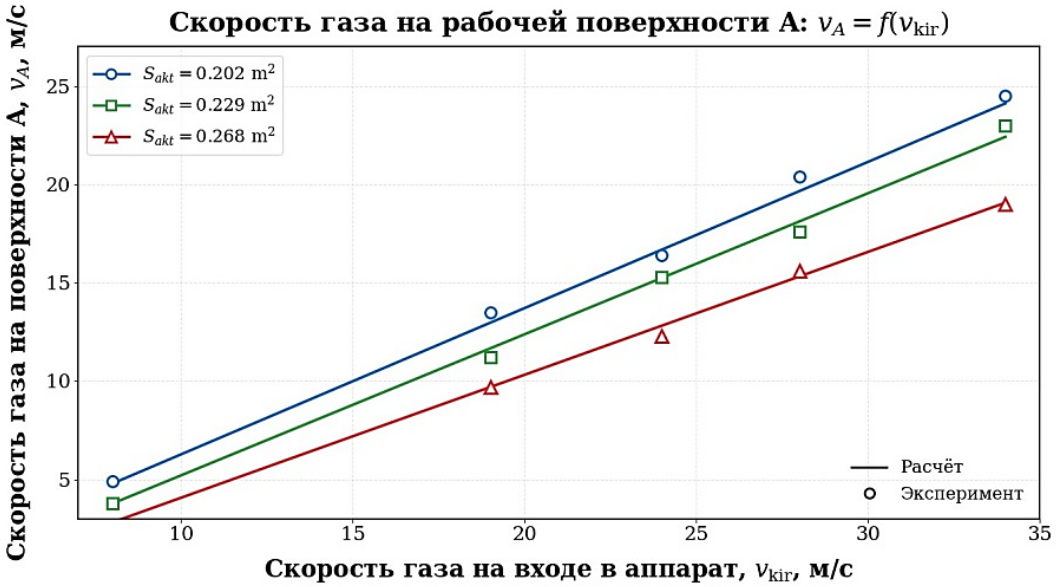


Рисунок 3. Зависимость скорости газа на рабочей поверхности А от входной скорости

Как показано на рис. 3, скорость газа на рабочей поверхности А изменяется почти линейно относительно входной скорости. В щелевом зазоре между ротором и корпусом скорость газа изменяется почти линейно относительно входной скорости. При $S_{акт}$ = 0,202 м² скорость газа в этом зазоре в среднем составляет около 0,79 от $\upsilon_{вх}$, тогда как при $S_{акт}$ = 0,268 м² этот коэффициент уменьшается примерно до 0,59. Следовательно, увеличение активной площади фильтрующей поверхности способствует замедлению газового потока в этой зоне (2).

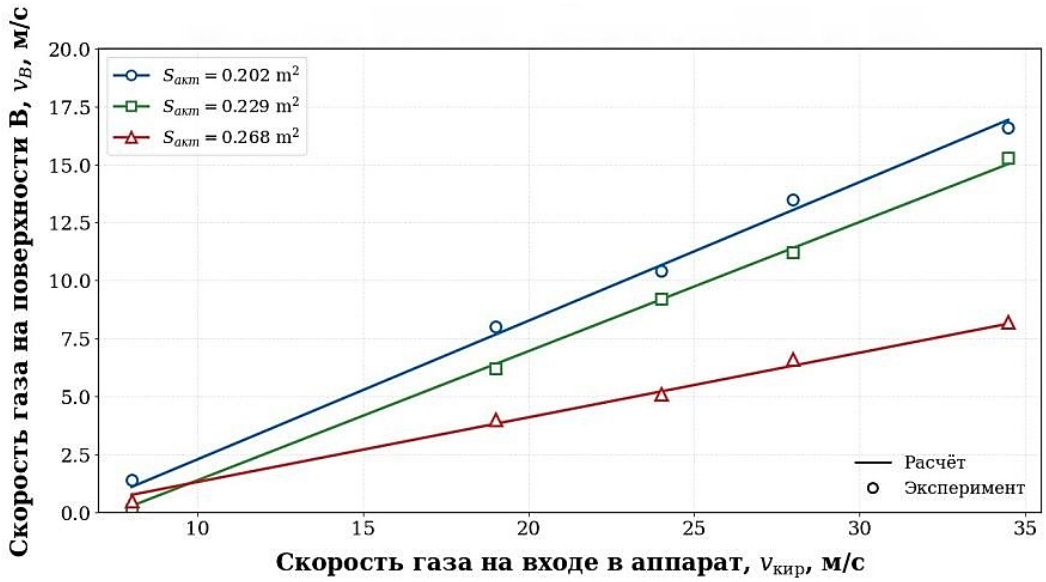


Рисунок 4. Зависимость скорости газа на участке между входным и выходным патрубками от входной скорости

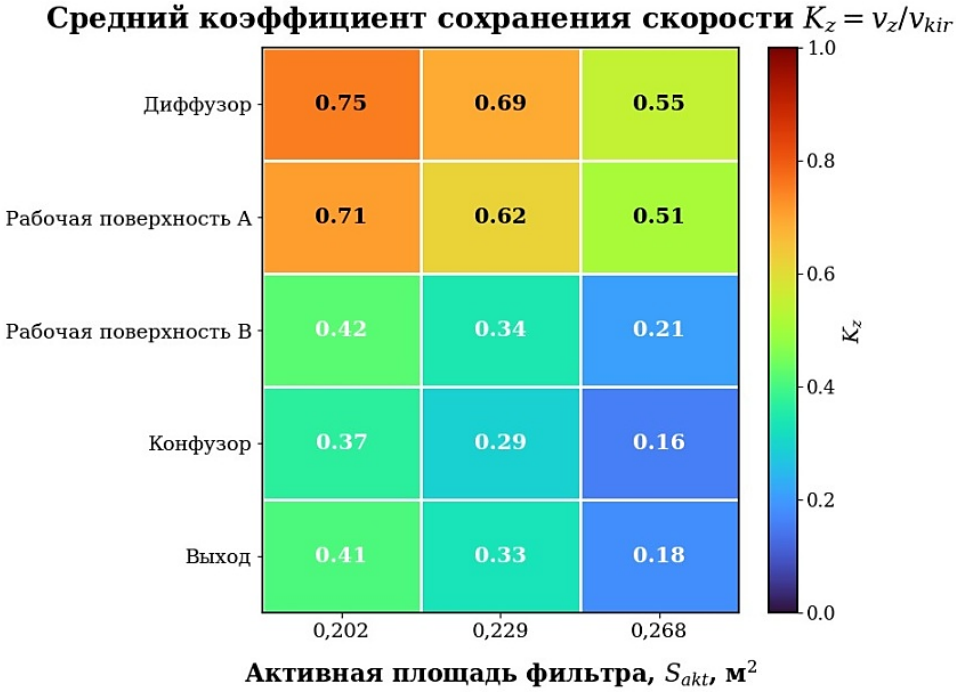


Рисунок 5. Тепловая карта среднего коэффициента сохранения скорости при различных значениях $S_{акт}$

На рис. 4 показано, что при Sакт = 0,268 м² и высокой входной скорости скорость газа на участке между входным и выходным патрубками снизилась до 9,1 м/с, что ниже, чем в щелевом зазоре между ротором и корпусом. Средний коэффициент сохранения скорости при различных значениях активной площади представлен на тепловой карте (рис. 5).

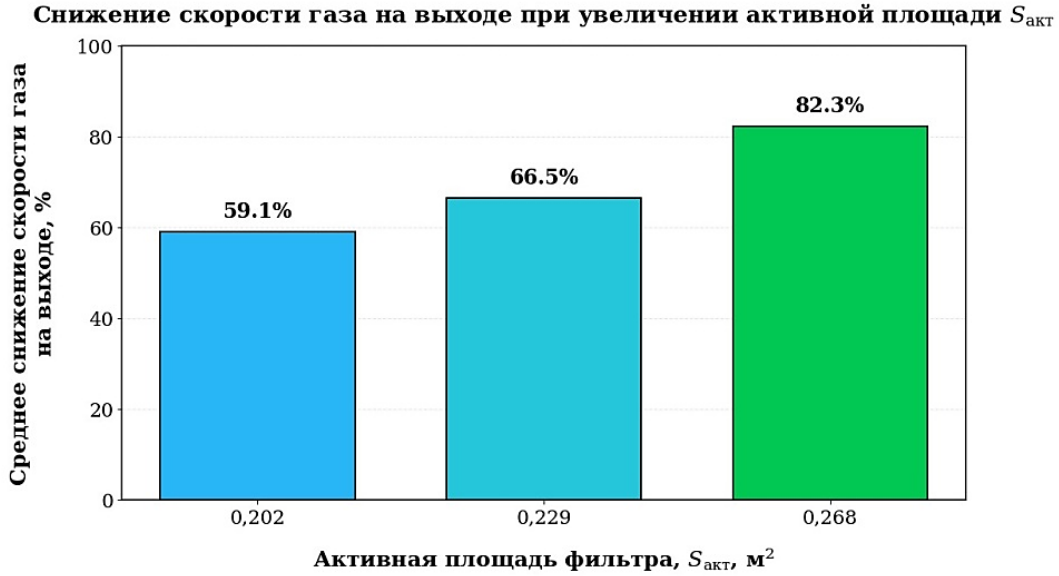


Рисунок 6. Снижение скорости газа в выходной зоне при увеличении активной площади фильтра

На рис. 6 показано, что среднее относительное снижение скорости газа в выходной зоне, рассчитанное по формуле (3), составило 59,1 % при $S_{акт} = 0,202$ м^2, 66,5 % при $S_{акт} = 0,229$ м^2 и 82,3 % при $S_{акт} = 0,268$ м^2. Увеличение активной площади сопровождается более интенсивным снижением скорости потока в рабочих зонах аппарата. Это может способствовать увеличению расчётного времени контакта газовой фазы с увлажнённой поверхностью.

Для количественной оценки влияния входной скорости на локальную скорость газа выполнен линейный регрессионный анализ. Использована зависимость $v_з = a\,v_{вх} + b$. Полученные уравнения, коэффициенты детерминации R^2 и коэффициенты линейной корреляции r представлены в табл. 1. Для положительных коэффициентов наклона принималось $r = +\sqrt{R^2}$.

Таблица 1. Результаты линейного регрессионного анализа скорости газа

$S_{акт}$, м^2	Зона	Уравнение регрессии	R^2	r
0,202	Рабочая поверхность А	$v_з = 0,742\,v_{вх} - 0,753$	0,9775	0,9887
0,202	Рабочая поверхность В	$v_з = 0,577\,v_{вх} - 2,998$	0,9159	0,9570
0,202	Выход	$v_з = 0,547\,v_{вх} - 2,730$	0,9201	0,9592
0,229	Рабочая поверхность А	$v_з = 0,699\,v_{вх} - 1,588$	0,9416	0,9704
0,229	Рабочая поверхность В	$v_з = 0,548\,v_{вх} - 3,974$	0,8996	0,9485
0,229	Выход	$v_з = 0,535\,v_{вх} - 3,797$	0,9007	0,9491
0,268	Рабочая поверхность А	$v_з = 0,625\,v_{вх} - 2,197$	0,9447	0,9720
0,268	Рабочая поверхность В	$v_з = 0,287\,v_{вх} - 1,537$	0,9415	0,9703
0,268	Выход	$v_з = 0,292\,v_{вх} - 2,145$	0,9361	0,9675

Как видно из табл. 1, значения R^2 находятся в диапазоне 0,8996 – 0,9775, а коэффициенты r – в диапазоне 0,9485 – 0,9887, что свидетельствует о высокой тесноте линейной связи между входной и локальной скоростями газа. При увеличении $S_{акт}$ от 0,202

до 0,268 м² коэффициент наклона на рабочей поверхности В уменьшается с 0,577 до 0,287, а в выходной зоне – с 0,547 до 0,292. На рабочей поверхности А изменение менее выражено: с 0,742 до 0,625. Это количественно подтверждает усиление торможения газового потока по мере увеличения активной площади фильтра.

Полученные в табл. 1 регрессионные зависимости дополняют графические результаты и позволяют количественно оценивать изменение локальной скорости газа при варьировании активной площади фильтра в пределах исследованного диапазона входных скоростей.

Полученные результаты показали, что газовый поток внутри роторно-фильтрующего аппарата проходит неравномерно, а последовательно перераспределяется по рабочим зонам. В диффузоре поток расширяется, и его скорость первоначально снижается. В щелевом зазоре между ротором и корпусом происходит первый интенсивный контакт потока с фильтрующей поверхностью. Участок между входным и выходным патрубками является зоной наиболее интенсивного взаимодействия с каплями жидкости, влажной пленкой и фильтрующей поверхностью; именно здесь наблюдается наибольшее снижение скорости [5, 7, 10].

При увеличении $S_{акт}$ с 0,202 до 0,268 м² возросшая площадь контакта сопровождается снижением локальной скорости газа и увеличением расчётного времени взаимодействия потока с увлажнённой поверхностью. В рамках настоящего исследования эти изменения рассматриваются как аэродинамическая предпосылка интенсификации контакта «газ–жидкость–фильтр». Влияние активной площади на эффективность улавливания и гидравлическое сопротивление требует отдельного экспериментального подтверждения [7, 8, 13].

Связь полученных экспериментальных результатов с производственной задачей обусловлена тем, что мелкодисперсная пыль, образующаяся при производстве суперфосфата и аммофоса, не всегда может быть полностью уловлена только за счет инерционных сил. В роторно-фильтрующем аппарате замедление газового потока во влажной контактной среде может способствовать смачиванию и коагуляции частиц, а также их улавливанию на фильтрующей поверхности. Следовательно, знание распределения скорости газа по рабочим зонам позволяет интерпретировать эффективность аппарата не только эмпирически, но и с конструктивно-аэродинамических позиций [5, 7, 10].

С методической точки зрения результаты измерений, полученные с помощью анемометра BA06-TROTEC, позволяют сформировать внутреннюю аэродинамическую карту аппарата. Такой подход создаёт исходную основу для последующего моделирования взаимосвязей между гидравлическим сопротивлением, эффективностью очистки и энергозатратами [9, 15].

Заключение

1. Выполнены экспериментальные измерения распределения скорости газа в шести характерных зонах лабораторной модели роторно-фильтрующего аппарата.

2. Исследования проведены при трёх значениях активной площади фильтрующей поверхности: $S_{акт}$ = 0,202; 0,229 и 0,268 м², а также при пяти уровнях входной скорости газа.

3. Установлено, что увеличение активной площади фильтра сопровождается снижением скорости газа в щелевом зазоре между ротором и корпусом, на участке между входным и выходным патрубками, в конфузоре и в выходной зоне.

4. Наиболее выраженное торможение потока наблюдалось на рабочей поверхности B, в конфузоре и на выходе из аппарата. При $S_{акт}$ = 0,268 м² среднее снижение скорости в выходной зоне составило 82,3 %.

5. Линейные регрессионные зависимости вида $v_з = a\,v_{вх} + b$ характеризуются значениями R^2 от 0,8996 до 0,9775 и могут использоваться для оценки локальной скорости газа в пределах исследованного экспериментального диапазона.

6. Полученные результаты могут служить основой для дальнейшего выбора активной площади фильтрующей поверхности и отдельного исследования её влияния на гидравлическое сопротивление и эффективность очистки.

Список литературы

1. ГОСТ 12.3.018–79. ССБТ. Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний.
2. ГОСТ 17.2.4.06–90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения.
3. ГОСТ 17.2.4.07–90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения давления и температуры газовых потоков.
4. Исомидинов А.С. Исследование гидравлического сопротивления роторно-фильтрующего аппарата // Universum: технические науки. – 2019. – № 10–1 (67). – С. 54–58.
5. Byeon S.-H., Lee B.-K., Raj Mohan B. Removal of ammonia and particulate matter using a modified turbulent wet scrubbing system // Separation and Purification Technology. – 2012. – T. 98. – P. 221–229. – DOI: 10.1016/j.seppur.2012.07.014.
6. Cho K.-S., Lee Y.-Y., Jang S.-N., Yun J., Kwon J., Park H.-J., Seo Y. Removal of particulate matter from pork belly grilling gas using an orifice wet scrubber // Journal of Environmental Science and Health, Part A. – 2020. – T. 55, № 9. – P. 1125–1130. – DOI: 10.1080/10934529.2020.1773712.
7. Darbandi T., Risberg M., Westerlund L. Efficient Cleaning and Heat Recovery of Flue Gas from a Small-Scale Boiler // Chemical Engineering & Technology. – 2021. – T. 44, № 11. – P. 2116–2125. – DOI: 10.1002/ceat.202100274.
8. Darbandi T., Risberg M., Westerlund L. Enhancing particle segregation in stem wood combustion flue gas wet scrubbers: Experimental investigation of operational conditions // Case Studies in Thermal Engineering. – 2024. – T. 64. – Art. 105427. – DOI: 10.1016/j.csite.2024.105427.
9. Hoyos A., Joubert A., Bouhanguel A., Henry M., Durécu S., Le Coq L. Multiapproach Design Methodology of a Downscaled Wet Scrubber to Study the Collection of Submicronic Particles from Waste Incineration Flue Gas // Processes. – 2024. – T. 12, № 8. – Art. 1655. – DOI: 10.3390/pr12081655.

10. Lee B.-K., Mohan B.R., Byeon S.-H., Lim K.-S., Hong E.-P. Evaluating the performance of a turbulent wet scrubber for scrubbing particulate matter // Journal of the Air & Waste Management Association. – 2012. – T. 63, № 5. – P. 499–506. – DOI: 10.1080/10962247.2012.738626.
11. Mohan B., Biswas S., Meikap B. Performance characteristics of the particulates scrubbing in a counter-current spray-column // Separation and Purification Technology. – 2008. – T. 61, № 1. – P. 96–102. – DOI: 10.1016/j.seppur.2007.09.018.
12. Oliveira R.A.F., Guerra V.G., Lopes G.C. Improvement of collection efficiency in a cyclone separator using water nozzles: A numerical study // Chemical Engineering and Processing – Process Intensification. – 2019. – T. 145. – Art. 107667. – DOI: 10.1016/j.cep.2019.107667.
13. U.S. Environmental Protection Agency. Monitoring by Control Technique: Wet Scrubber for Particulate Matter [Electronic resource]. URL: https://www.epa.gov/air-emissions-monitoring-knowledge-base/monitoring-control-technique-wet-scrubber-particulate-matter (accessed: 28.09.2026).
14. Wansom A., Maneechot P., Jiteurtragool N., Vitidsant T. PM2.5 Collection Enhancement in a Smart Hybrid Wet Scrubber Tower // Processes. – 2023. – T. 11, № 12. – Art. 3306. – DOI: 10.3390/pr11123306.
15. Zhao L., You R., Liu J., Chen Q. A real-time measurement and analysis method for gas holdup in a wet scrubber with the use of image information entropy // Separation and Purification Technology. – 2024. – T. 345. – Art. 127255. – DOI: 10.1016/j.seppur.2024.127255.

References

1. GOST 12.3.018–79. SSBT. Sistemy ventilyatsionnye. Metody aerodinamicheskikh ispytanii [Occupational safety standards system. Ventilation systems. Methods of aerodynamic tests]. – 1979. (In Russ.).
2. GOST 17.2.4.06–90. Okhrana prirody. Atmosfera. Metody opredeleniya skorosti i raskhoda gazopylevykh potokov, otkhodyashchikh ot statsionarnykh istochnikov zagryazneniya [Nature protection. Atmosphere. Methods for determining velocity and flow rate of gas-dust flows emitted from stationary sources of pollution]. – 1990. (In Russ.).
3. GOST 17.2.4.07–90. Okhrana prirody. Atmosfera. Metody opredeleniya davleniya i temperatury gazovykh potokov [Nature protection. Atmosphere. Methods for determining pressure and temperature of gas flows]. – 1990. (In Russ.).
4. Isomidinov A.S. Issledovanie gidravlicheskogo soprotivleniya rotorno-filtruyushchego apparata [Study of hydraulic resistance of a rotary filter apparatus]. Universum: Tekhnicheskie Nauki. 2019;10–1(67):54–58. (In Russ.).
5. Byeon S.-H., Lee B.-K., Raj Mohan B. Removal of ammonia and particulate matter using a modified turbulent wet scrubbing system. Separation and Purification Technology. 2012;98:221–229. DOI: 10.1016/j.seppur.2012.07.014.

6. Cho K.-S., Lee Y.-Y., Jang S.-N., Yun J., Kwon J., Park H.-J., Seo Y. Removal of particulate matter from pork belly grilling gas using an orifice wet scrubber // Journal of Environmental Science and Health, Part A. – 2020. – DOI: 10.1080/10934529.2020.1773712.
7. Darbandi T., Risberg M., Westerlund L. Efficient Cleaning and Heat Recovery of Flue Gas from a Small-Scale Boiler. Chemical Engineering & Technology. 2021;44(11):2116–2125. DOI: 10.1002/ceat.202100274.
8. Darbandi T., Risberg M., Westerlund L. Enhancing particle segregation in stem wood combustion flue gas wet scrubbers: Experimental investigation of operational conditions. Case Studies in Thermal Engineering. 2024;64:105427. DOI: 10.1016/j.csite.2024.105427.
9. Hoyos A., Joubert A., Bouhanguel A., Henry M., Durécu S., Le Coq L. Multiapproach Design Methodology of a Downscaled Wet Scrubber to Study the Collection of Submicronic Particles from Waste Incineration Flue Gas. Processes. 2024;12(8):1655. DOI: 10.3390/pr12081655.
10. Lee B.-K., Mohan B.R., Byeon S.-H., Lim K.-S., Hong E.-P. Evaluating the performance of a turbulent wet scrubber for scrubbing particulate matter // Journal of the Air & Waste Management Association. – 2012. – DOI: 10.1080/10962247.2012.738626.
11. Mohan B., Biswas S., Meikap B. Performance characteristics of the particulates scrubbing in a counter-current spray-column. Separation and Purification Technology. 2008;61(1):96–102. DOI: 10.1016/j.seppur.2007.09.018.
12. Oliveira R.A.F., Guerra V.G., Lopes G.C. Improvement of collection efficiency in a cyclone separator using water nozzles: A numerical study. 13. Chemical Engineering and Processing – Process Intensification. 2019;145:107667. DOI: 10.1016/j.cep.2019.107667.
13. U.S. Environmental Protection Agency. U.S. Environmental Protection Agency. Monitoring by Control Technique: Wet Scrubber for Particulate Matter [Electronic resource]. Available at:. – URL: https://www.epa.gov/air-emissions-monitoring-knowledge-base/monitoring-control-technique-wet-scrubber-particulate-matter (accessed: 28.09.2026).
14. Wansom A., Maneechot P., Jiteurtragool N., Vitidsant T. PM2.5 Collection Enhancement in a Smart Hybrid Wet Scrubber Tower. Processes. 2023;11(12):3306. DOI: 10.3390/pr11123306.
15. Zhao L., You R., Liu J., Chen Q. A real-time measurement and analysis method for gas holdup in a wet scrubber with the use of image information entropy. Separation and Purification Technology. 2024;345:127255. DOI: 10.1016/j.seppur.2024.127255.