

DOI: 10.32743/UniTech.2021.88.7.12118

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОЧНОГО СЛОЯ НА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ
РОТОРНО-ФИЛЬТРУЮЩЕГО АППАРАТА****Тожиев Расулжон Жумабаевич***д-р техн. наук, проф.,
Ферганский политехнический институт,
Республика Узбекистан, г. Фергана
E-mail: rasuljon1945m@il.ru***Исомиддинов Азизбек Саломиддинович***д-р техн. наук (PhD), доц.,
Ферганский политехнический институт,
Республика Узбекистан, г. Фергана
E-mail: isomiddinov1985@mail.ru***Ахроров Акмалжон Акрамжон угли***базовый докторант,
Ферганский политехнический институт,
Республика Узбекистан, г. Фергана
E-mail: a.ahrorov@ferpi.uz***INVESTIGATION OF THE FILM LAYER ON THE WORKING SURFACE
OF THE ROTARY FILTER APPARATUS****Rasuljon Tojiev***Doctor of Technical Sciences, Professor,
Fergana Polytechnic Institute,
Uzbekistan, Fergana***Azizbek Isomiddinov***PhD, Associate Professor,
Fergana Polytechnic Institute,
Uzbekistan, Fergana***Akmaljon Akhrorov***Basic doctoral student,
Fergana Polytechnic Institute,
Uzbekistan, Fergana***АННОТАЦИЯ**

В статье описаны физико-химические свойства рабочей жидкости в роторно-фильтрующем устройстве для влажной очистки пылевых газов, процесс образования пленочного слоя и методика его расчета. Законы изменения жидкого пленочного слоя при различных параметрах абсорбента и переменных факторах, подаваемых в устройство (10 %-ный, 20 %-ный, 30 %-ный раствор технической соды в воде, диаметры отверстия штуцеров 1 мм, 2 мм, 3 мм и отверстие фильтрующего материала диаметром 2 мм, 3 мм, 4 мм). Были построены сравнительные графики зависимости расхода жидкости от толщины пленки, и были предложены эмпирические формулы для адекватного представления процесса. Поправочный коэффициент входит в уравнение для расчета пленочного слоя, сформированного на рабочей поверхности фильтра роторно-фильтрующего устройства.

ABSTRACT

The article describes the physicochemical properties of the working fluid in a rotary filtering device for wet cleaning of dust gases, the process of formation of a film layer and the method of its calculation. The laws of change in the liquid film layer at various parameters of the absorbent and variable factors supplied to the device (10%, 20%, 30% solution of technical soda in water, the diameters of the opening of the fittings 1mm, 2mm, 3mm and the opening of the filter material with a diameter of 2 mm, 3 mm, 4 mm). Comparative plots of liquid flow rate versus film thickness were constructed,

and empirical formulas were proposed to adequately represent the process. The correction factor is included in the equation for calculating the film layer formed on the working surface of the filter of the rotary filtering device.

Ключевые слова: техническая сода, пленочный слой, газоочистка, рабочая жидкость, ротор с фильтрующим покрытием, паронитовое покрытие.

Keywords: technical soda, film layer, gas cleaning, working fluid, rotor with filter coating, paronite coating.

Введение. Актуальной задачей на сегодняшний день является разработка конструкции современных энергоэффективных и высокоэффективных приборов для очистки вторичных газов, выделяющихся в процессах промышленного производства, методом абсорбции и использования их в качестве сырья, возвращая необходимый компонент газовой смеси обратно в производственный процесс. Это требует глубокого изучения и анализа гидродинамических и метаболических процессов, влияющих на эффективность очистки газов и энергопотребление существующего оборудования [1; 2; 3].

Методология исследования. В статье изучен слой жидкой пленки, образующейся на рабочей поверхности фильтрующего материала (поронита) устройства, с целью выбора оптимального абсорбента для очистки вторичного фтороводородного газа, образующегося в процессе производства суперфосфатного минерального удобрения в роторно-фильтрующем устройстве очистки газов влажным способом и установления оптимальных значений расхода жидкости [4; 5].

Экспериментально установлено влияние различных значений диаметра штуцера на изменение слоя жидкой пленки, его физико-химических свойств, отверстий в фильтрующем материале и диаметра сопла впитывающей жидкости, распыляемой на рабочую поверхность. Роторно-фильтрующее устройство представляет собой разновидность метаболического устройства, образующего пленочный слой. Таким образом, толщина пленки жидкости, образующейся на ее фильтрующей рабочей поверхности, рассчитывается согласно следующим теоретическим уравнениям. Определяется по уравнению измерения расхода жидкости, протекающей через штуцер, м³/ч;

$$Q = \omega \pi R^2 \cdot 3600, \quad (1)$$

где R – диаметр отверстия штуцера жидкости, мм;
 ω – скорость жидкости, м/с.

Расход жидкости, полученный в результате измерения, массовая плотность орошения с использованием его физических параметров может быть рассчитана по следующему теоретическому уравнению, кг / м · с [6]:

$$\Gamma = \rho_e \frac{n \cdot Q_e}{3600 \cdot \Pi}, \quad (2)$$

где Q_e – расход жидкости, м³/ч;

Π – периметр поверхности, на которой образуется пленка жидкости, м;

ρ_b – плотность жидкости, кг/м³;

n – количество форсунок, распыляющих жидкость на рабочую поверхность, шт.

Изменение объема пленки жидкости резко влияет на ее гидродинамические режимы, поэтому определяется гидродинамический режим потока пленки и выбирается формула расчета толщины по режиму [6]:

$$Re_{пл} = \frac{4 \cdot \Gamma}{\mu}, \quad (3)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости жидкости, Па · с.

При расчете пленки жидкости в роторно-фильтрующем устройстве используется следующее уравнение, рекомендованное в НИР Н.Н. Егоровым и Г.В. Минардом, мкм, [6]:

$$s_{пл} = \sqrt{\frac{3 \cdot \Gamma \cdot \mu_c}{\rho_c^2 \cdot g}}, \quad (4)$$

Это уравнение (4) можно использовать для экспериментального определения толщины пленки жидкости в роторно-фильтрующем устройстве. Уравнение (4) справедливо только при расчете экспериментальных значений, коэффициент погрешности не превышает 4 %. Однако при теоретическом расчете процесса погрешность значений, вычисленных в этом уравнении, превышает 4–5 %. Поэтому при теоретическом расчете толщины пленки жидкости целесообразно использовать следующее уравнение, мкм [6]:

$$s_{хис} = \left(\frac{v_c^2}{g} \right)^{1/3} = \left(\frac{\mu_c^2}{\rho_c^2 \cdot g} \right)^{1/3}, \quad (5)$$

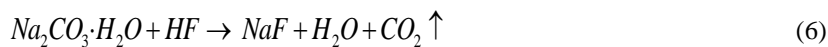
где v – коэффициент кинематической вязкости жидкости, м²/с.

При теоретическом определении толщины пленки жидкости в роторно-фильтровальном устройстве рекомендуется использовать уравнение (5) [7].

Результаты исследования. Экспериментальные исследования по определению толщины пленки жидкости в роторно-фильтрующем устройстве проводились в два этапа на основе анализа физико-химических свойств абсорбента и влияния толщины пленки на расход и вязкость абсорбента.

Первый этап. Учитывая высокую абсорбционную способность и быструю адаптацию к активной

среде вторичного водородно-фтористого (2HF) газа, для абсорбента была выбрана кальциевая техническая сода (Na_2CO_3) по требованию ГОСТ 5100-85 [2; 8; 9; 10]. Составлено уравнение химической реакции поглощения газообразного водорода-фторида (2HF)



Из уравнения (6) видно, что при поглощении фтороводорода в водный раствор кальциевой технической соды образовывались вода и раствор фторида натрия, а также углекислый газ.

Проведена следующая опытная работа по определению физических свойств 10 %-ного, 20 %-ного и 30 %-ного раствора выбранной технической соды (Na_2CO_3) в воде в сифоне абсорбционной жидкости.

в водном растворе технической соды с кальцием (Na_2CO_3) и проведен химический анализ поглощения технической соды с кальцием (Na_2CO_3) в 10 %-ном; 20 %-ном и 30 %-ном растворе воды.

Первоначально готовили 10 %-ный, 20 %-ного и 30 %-ного раствор технической соды с кальцием в воде. Готовые абсорбенты определяли с помощью pH-индикатора и каждого HANNA pH/ORP-meter, а динамическую вязкость – с помощью HAAKE viscotester 2plus, а плотность – с помощью ареометра АЛТ1840. Значения результатов лабораторного анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Показания, динамическая вязкость, плотность и температура 10 %-ного, 20 %-ного, 30 %-ного раствора Na_2CO_3 в воде

№	Массовая доля Na_2CO_3 в смеси	pH _{60шт}	μ , мПа*с	ρ , кг/м ³	t, °C
1	10 %	10,03	1,56	1095	25,3
2	20 %	10,15	3,5	1200	25,3
3	30 %	10,20	4,5	1280	25,3

Второй этап. На втором этапе эксперимента изучался процесс формирования пленочного слоя на рабочей поверхности роторно-фильтрующего устройства, фильтрующего сетчатый материал (паронит). В исследованиях А.С. Исомидинова [2; 11; 12] коэффициент сопротивления рабочей поверхности фильтра определялся в зависимости от отношения активной поверхности фильтрующего материала к пас-

сивной поверхности. Предложено упрощенное уравнение для определения коэффициента сопротивления и включены поправочные коэффициенты [2; 13; 14].

Общий вид сопла рабочей жидкости и фильтрующего материала (поронита), а также поправочный коэффициент Δk к отношению активной поверхности фильтра к пассивной поверхности $\frac{\sum S_{акт}}{\sum S_{пас}}$ показаны на рисунках 1, 2 и 3.



а) $d_{ш} = 1 \text{ мм}$; б) $d_{ш} = 2 \text{ мм}$; в) $d_{ш} = 3 \text{ мм}$

Рисунок 1. Общий вид форсунок, распыляющих рабочую жидкость

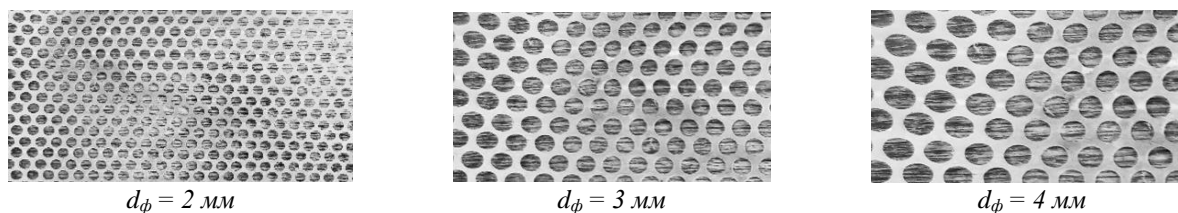


Рисунок 2. Общий вид фильтрующего материала (паронита)

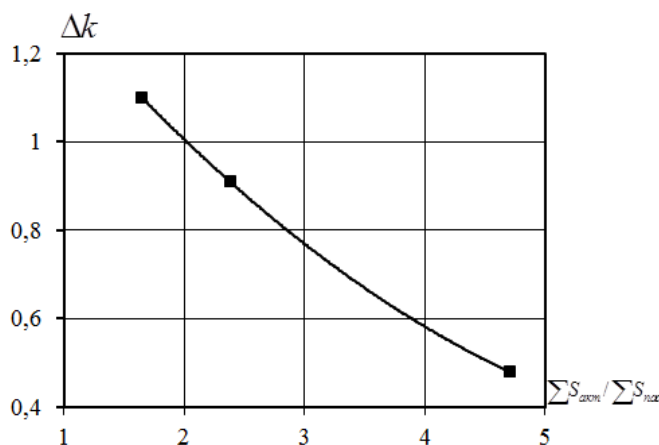


Рисунок 3. Зависимость коэффициента коррекции Δk от отношения активной поверхности фильтра к пассивной поверхности $\Sigma S_{акт} / \Sigma S_{пак}$

Как показано на рисунке 3, увеличение активной поверхности приводит к уменьшению значения поправочного коэффициента ($\Delta k = 1,1$ при $(\Sigma S_{акт} / \Sigma S_{пак} = 1,68$; $\Delta k = 0,91$ при $\Sigma S_{акт} / \Sigma S_{пак} = 2,38$ и $\Delta k = 0,48$ при $\Sigma S_{акт} / \Sigma S_{пак} = 4,7$). Это связано с тем, что общий коэффициент сопротивления прямо пропорционален активной поверхности. Также было отмечено, что толщина жидкой пленки на поверхности фильтра увеличивается с увеличением коэффициента сопротивления, который, в свою очередь, зависит от диаметра отверстия в фильтрующем материале. В этом случае, изменив уравнение (4), приведенное выше, уравнение для определения толщины пленочного слоя, сформированного на рабочей поверхности фильтра, можно представить следующим образом, мкм:

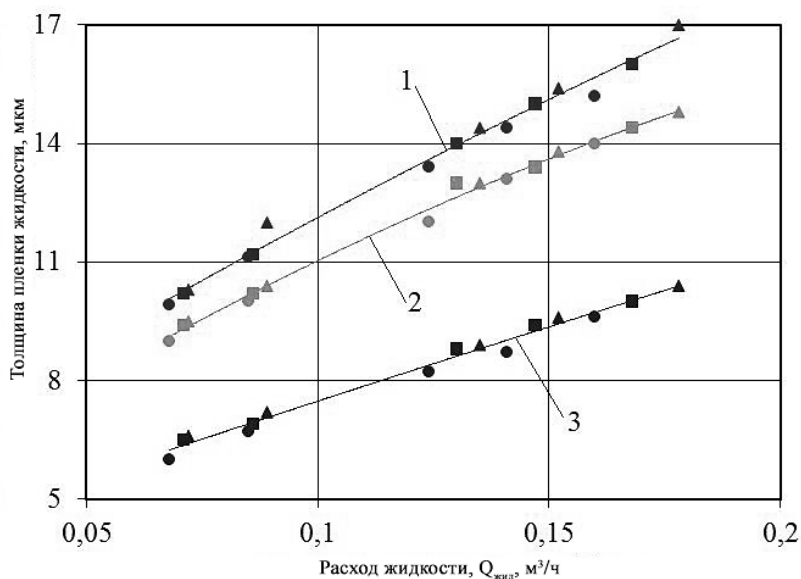
$$s_{пл} = \Delta k \sqrt{\frac{3 \cdot \Gamma \cdot \mu_c}{\rho_c^2 \cdot g}} \quad (7)$$

При расчете толщины пленки на рабочей поверхности роторно-фильтрующего устройства учитываются следующие параметры переменных факторов: диаметр отверстия штуцера жидкости $d_{ш} = 1; 2$ и 3 мм, диаметр отверстия сетчатого фильтрующего материала $d_{ф} = 2; 3$ и 4 мм, расход абсорбента $Q_b = 0,068-0,178$ м³/ч, промежуточный шаг $0,044$ м³/ч, 10 %-ный, 20 %-ный и 30 %-ный раствор кальциевой технической соды в воде и число оборотов ротора 25 об/мин выбрано [15; 16] и решено по уравнению (7). При определении пленки жидкости учитывалась температура внешней среды и определялась в 20 ± 2 °С. График изменения толщины пленки в зависимости от расхода абсорбента приведен на рисунках 4, 5 и 6.

На рисунках 4, 5 и 6 видно, что диаметр отверстия фильтрующего материала (паронита) $d_{ф} = 2$ мм – const и диаметр отверстия штуцера $d_{ш} = 1; 2$ и 3 мм и раствор технической соды с кальцием в воде 10%, 20%,

30% при минимальном расходе рабочей жидкости толщина слоя пленки увеличилась на $6,0-10,3$ мкм, а при максимальном расходе рабочей жидкости толщина слоя пленки увеличилась на $9,6-17$ мкм. Диаметр отверстия фильтрующего материала (паронита) $d_{ф} = 3$ мм – const и диаметр отверстия штуцера $d_{ш} = 1; 2$ и 3 мм и в 10 %-ном, 20 %-ном, 30 %-ном растворе кальциевой технической соды в воде при минимальном расходе рабочей жидкости наблюдалось увеличение толщины пленочного слоя на $3,9-6,8$ мкм, а при максимальном расходе рабочей жидкости – увеличение толщины пленочного слоя на $6,2-11$ мкм. Диаметр отверстия фильтрующего материала (паронита) $d_{ф} = 4$ мм – const и диаметр отверстия штуцера $d_{ш} = 1; 2$ и 3 мм, а также в 10 %-ном, 20 %-ном, 30 %-ном растворе кальциевой технической соды в воде при минимальном расходе рабочей жидкости наблюдалось увеличение толщины пленочного слоя на $1,7-3$ мкм, а при максимальном расходе рабочей жидкости – увеличение толщины пленочного слоя на $2,7-4,9$ мкм. Из этого можно сделать вывод, что увеличение расхода жидкости обеспечивает утолщение пленочного слоя жидкости, образующегося на рабочей поверхности фильтра. Это, в свою очередь, также будет зависеть от диаметра отверстия фильтра, как описано выше. Чем больше диаметр отверстия фильтра, тем меньше толщина слоя пленки. И наоборот: уменьшение диаметра отверстия фильтра может обеспечить утолщение слоя пленки. Улучшение материалоемкости в изучаемом нами процессе будет зависеть именно от поверхности материала и толщины слоя пленки. Но при этом необходимо учитывать и гидравлическое сопротивление в устройстве.

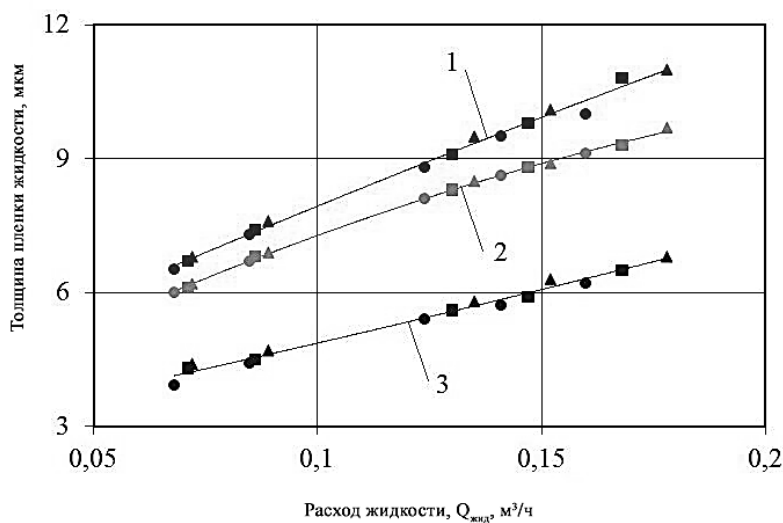
При помощи метода наименьших квадратов для графических зависимостей, приведенных на рисунках 4, 5 и 6, были получены следующие эмпирические формулы.



● – в 10 %-ном растворе Na_2CO_3 в воде; ■ – в 20 %-ном растворе Na_2CO_3 в воде;
 ▲ – в 30 %-ном растворе Na_2CO_3 в воде.

1 – $d_{ш} = 1$ мм и $Q_{жид} = 0,068-0,160$ м³/ч; 2 – $d_{ш} = 2$ мм и $Q_{жид} = 0,071-0,168$ м³/ч; 3 – $d_{ш} = 3$ мм и $Q_{жид} = 0,072-0,178$ м³/ч

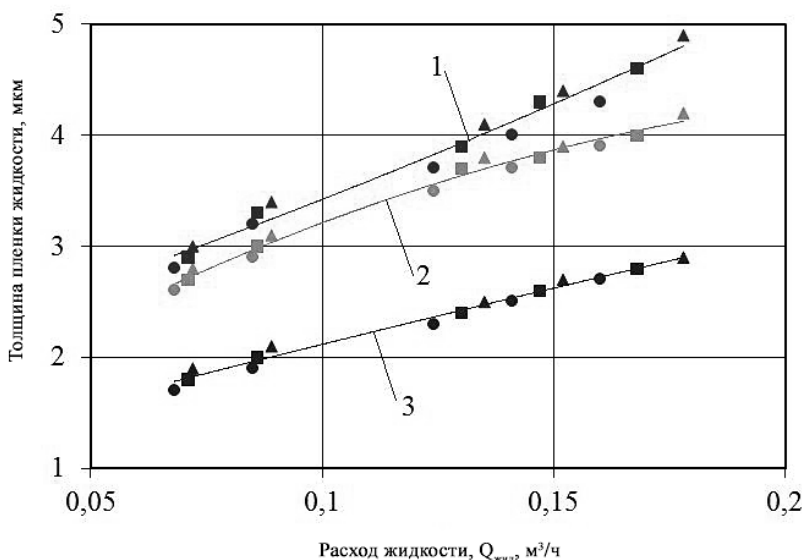
Рисунок 4. График изменения толщины пленки в зависимости от расхода абсорбента, $d\phi = 2$ мм – const



● – в 10 %-ном растворе Na_2CO_3 в воде; ■ – в 20 %-ном растворе Na_2CO_3 в воде;
 ▲ – в 30 %-ном растворе Na_2CO_3 в воде

1 – $d_{ш} = 1$ мм и $Q_{жид} = 0,068-0,160$ м³/ч; 2 – $d_{ш} = 2$ мм и $Q_{жид} = 0,071-0,168$ м³/ч; 3 – $d_{ш} = 3$ мм и $Q_{жид} = 0,072-0,178$ м³/ч

Рисунок 5. График изменения толщины пленки в зависимости от расхода абсорбента, $d\phi = 3$ мм – const



● – в 10 %-ном растворе Na₂CO₃ в воде; ■ – в 20 %-ном растворе Na₂CO₃ в воде;
 ▲ – в 30 %-ном растворе Na₂CO₃ в воде

1 – d_ш = 1 мм и Q_{жид} = 0,068–0,160 м³/ч; 2 – d_ш = 2 мм и Q_{жид} = 0,071–0,168 м³/ч; 3 – d_ш = 3 мм и Q_{жид} = 0,072–0,178 м³/ч

Рисунок 6. График изменения толщины пленки в зависимости от расхода абсорбента, d_ф = 4 мм – const

d_ф = 2 мм – const.

$$y = -10,778x^2 + 40,327x + 3,5489 \quad R^2 = 0,9854 \quad (8)$$

$$y = -104,39x^2 + 77,593x + 4,3142 \quad R^2 = 0,994 \quad (9)$$

$$y = -54,206x^2 + 73,288x + 5,3362 \quad R^2 = 0,9887 \quad (10)$$

d_ф = 3 мм – const.

$$y = -13,694x^2 + 20,593x + 2,6633 \quad R^2 = 0,9825 \quad (11)$$

$$y = -84,554x^2 + 53,337x + 2,7865 \quad R^2 = 0,9987 \quad (12)$$

$$y = -23,67x^2 + 45,745x + 3,5945 \quad R^2 = 0,9936 \quad (13)$$

d_ф = 4 мм – const.

$$y = -4,1444x^2 + 11,157x + 1,0424 \quad R^2 = 0,983 \quad (14)$$

$$y = -50,414x^2 + 25,718x + 1,1435 \quad R^2 = 0,9866 \quad (15)$$

$$y = -17,412x^2 + 12,857x + 1,9625 \quad R^2 = 0,9769 \quad (16)$$

Вывод. В результате проведенного теоретического анализа и обработки величин, полученных в экспериментальных испытаниях, были сделаны следующие выводы:

- в качестве абсорбирующей жидкости был выбран раствор технической соды (Na_2CO_3) в воде с учетом абсорбционной способности и быстрой приспособляемости к активной среде вторичного водородно-фтористого газа, выделяющегося при производстве минерального удобрения суперфосфата;

- увеличение содержания технической соды (Na_2CO_3) в рабочей жидкости, увеличивающей динамическую вязкость жидкости на 4,5 МПа·с и плотность на 1280 кг/м³;

- согласно химическому анализу процесса обмена веществ в жидкой фазе устройства при поглощении водородно-фтористого раствора технической соды образовались вода и раствор фторида натрия, а также углекислый газ;

- из графиков, приведенных на рисунках 1, 2 и 3 видно, что толщина пленки жидкости на рабочей поверхности наибольшая при диаметре штуцерного отверстия $d_{ш} = 3$ мм, расходе рабочей жидкости 0,178 м³/ч и диаметре отверстия фильтрующего материала (паронита) $d_{ф} = 2$ мм. Также наименьших значений толщина пленки жидкости в рабочей среде достигала при диаметре штуцерного отверстия $d_{ш} = 1$ мм, расходе рабочей жидкости 0,068 м³/ч и при диаметре отверстия фильтрующего материала (паронита) $d_{ф} = 4$ мм;

- в теоретическое уравнение (5) расчета пленки жидкости, образующейся в устройствах пленкообмена веществ, введен поправочный коэффициент и получено уравнение (7), учитывающее конструктивную специфику опытной установки и протекающий в ней гидродинамический процесс.

Список литературы:

1. Вальдберг А.Ю., Николайкина Н.Е. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. – М. : Дрофа, 2008. – 239 с.
2. Isomidinov A.S. Development of effective methods and devices for the purification of dust gases from the chemical industry: Diss. PhD. – Tashkent, 2020. – 118 p.
3. Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Зокиров С.Г. Кимёвий технология асосий жараён ва қурилмалари. – Тошкент : Фан ва технологиялар, 2015. – 848 б.
4. Исомидинов А.С., Тожиев Р.Ж., Каримов И.Т. Хўл усулда чангли газларни тозаловчи роторли курилма // Фарғона политехника институтининг илмий-техник журнали. – Фарғона, 2018. – № 1. – Б. 195–198.
5. Rasuljon T., Azizbek I., Akmaljon A. Analysis of the dispersed composition of the phosphorite dust and the properties of emission fluoride gases in the production of superphosphate mineral fertilizers // Universum: химия и биология. – 2021. – № 6-2 (84). – С. 68–73.
6. Рамм В.М. Абсорбция газов. 2-е изд., переработ. и доп. – М. : Химия, 1976. – 655 с.
7. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М. : Химическая литература, 1948. – Ч. 1. – 948 с.
8. Isomidinov A., Axrorov A., Karimov I., Tojiyev R. Application of rotor-filter dusty gas cleaner in industry and identifying its efficiency // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2019. – № 9-10.
9. Isomidinov A. Mathematical modeling of the optimal parameters of rotary filter apparatus for wet cleaning of dusty gases // International journal of advanced research in science, Engineering and technology. – 2019. – Т. 6. – № 10. – С. 258–264.
10. Тожиев Р.Ж., Исомидинов А.С., Ахроров А.А.У., Сулаймонов А.М. Выбор оптимального абсорбента для очистки водородно-фтористого газа в роторно-фильтровальном аппарате и исследование эффективности аппарата // Universum: технические науки. – 2021. – № 3-4 (84). – С. 44–51.
11. Исомидинов А.С. Исследование гидравлического сопротивления роторно-фильтрующего аппарата // Universum: технические науки. – 2019. – № 10-1 (67).
12. Ахроров А.А.У., Исомидинов А.С., Тожиев Р.Ж. Гидродинамика поверхностно-контактного элемента ротор-фильтрующего пылеуловителя // Universum: технические науки. – 2020. – № 8-3 (77).
13. Isomidinov A.S., Karimov I.T., Tojiev R.J. Searching the losing of hydraulic pressure in rotor-filter gas cleaner apparatus // Scientific-technical journal. – 2021. – Т. 3. – № 1. – С. 69–72.
14. Isomidinov A.S., Madaliev A.N. Hydrodynamics and aerodynamics of rotor filter cleaner for cleaning dusty gases // LI International Correspondence Scientific And Practical Conferenc "International Scientific Review Of The Problems And Prospects Of Modern Science And Education". – 2018. – С. 29–32.
15. Ergashev N.A. et al. Determination hydraulic resistance of device that has the vortex flow creating contact element // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2020. – № 3-4.
16. Tojiev R., Isomidinov A., Ortiqaliyev B., To'ychieva S. Studying the effect of rotor-filter contact element on cleaning efficiency // Universum: технические науки. – 2021. – № 6 (87).