

СЕКЦИЯ 1: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИКЛОННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

А.Т. Замалиева¹, инженер, М.Г. Зиганшин², д.т.н., доцент

¹ООО «Газпром трансгаз Казань» 420000, Россия, г.Казань, ул.А.Кутуя, 41,

E-mail: Albina-0587@rambler.ru

²Казанский государственный архитектурно-строительный университет

420043, Россия, г.Казань, ул.Зеленая, д.1

E-mail: mjihan@mail.ru²

Аннотация: Проведен анализ существующих способов циклонной фильтрации производственных дисперсных выбросов. Анализ литературных источников показал, что существующие устройства либо обеспечивают высокую степень осаждения мелкодисперсных частиц классов PM_{10} , $PM_{2.5}$, но с большими энергозатратами, либо имеют малые энергетические и материальные затраты и низкую степень очистки. С целью создания высокоэффективного устройства для осаждения мелкодисперсных частиц классов PM_{10} и $PM_{2.5}$ при невысоких энергозатратах, разработана опытная конструкция циклона-фильтра и выявлена степень осаждения частиц при разных значениях физических параметров потока. Вычислены значения относительного критерия Рейнольдса Re_r , составленного посредством комбинации безразмерных параметров, вращающегося потока и дающего числовую оценку степени осаждения частиц. Для верификации результатов расчетов Re_r проведено опытное определение степени осаждения частиц в экспериментальной модели циклона ЦН-11.

Abstract: The analysis of the existing ways of cyclonic filtration of production disperse emissions is carried out. The analysis of references has shown that the existing devices or provide high extent of sedimentation of fine particles of the classes PM_{10} , $PM_{2.5}$, but with big energy consumption, or have small power and material inputs and low extent of cleaning. For the purpose of creation of the highly effective device for sedimentation of fine particles of the classes PM_{10} and $PM_{2.5}$ at low energy consumption, the skilled design of a cyclone filter is developed and extent of sedimentation of particles at different values of physical parameters of a stream is revealed. Values of relative criterion of Reynolds Re_r made by means of a combination of dimensionless parameters, the rotating stream and the sedimentation of particles giving a numerical assessment to degree are calculated. For verification of results of calculations of Re_r skilled definition of extent of sedimentation of particles in experimental model of the TsN-11 cyclone is carried out.

По мере развития современной промышленности, увеличения мощности технологических агрегатов возрастает количество выбросов в атмосферу. Нарастающее загрязнение воздушной среды ужесточает требования по эффективности очистки отходящих промышленных газов от высокодисперсных пылевых частиц с размерами менее 10 мкм.

Анализ литературных источников показал, что существующие устройства (рис.1) либо обеспечивают высокую степень осаждения мелкодисперсных частиц классов PM_{10} , $PM_{2.5}$, но с большими энергозатратами, либо имеют малые энергетические и материальные затраты и низкую степень очистки. Например, одно из таких устройств – пылеуловитель ПУМА [1] (рис.1а), имеющий высокую производительность по воздуху, малое аэродинамическое сопротивление, низкие капитальные и эксплуатационные затраты. Однако он не обеспечивает высокой степени очистки выбросов. Для фильтрования жидкости в судовых системах применяют комбинированный фильтр-сепаратор [2] (рис.1б), который имеет две ступени очистки. Первой ступенью является циклонная часть, состоящая из завихрителя с соплом и кольцевого цилиндрического канала, образованного корпусом фильтра и сеткой; второй ступенью – цилиндрический сетчатый фильтроэлемент. В фильтре-сепараторе достигается высокая степень очистки, однако движение жидкости через перфорированный фильтроэлемент при касательном натекании приводит к увеличению сопротивления в нем. Для очистки производственных выбросов, в том числе загрязненных особо опасными взвесями, а также при необходимости тонкой очистки и обеззараживания вентиляционного воздуха, подаваемого, например, в операционные отделения учреждений здравоохранения, может применяться циклон-фильтр [3] (рис.1в). В нем реализуется интенсификация циклонной обработки с целью повышения степени осаждения тонкодисперсных частиц за счет увеличения скорости дисперсного потока при условии предотвращения абразивного износа внутренних поверхностей аппарата. Конструкция другого фильтра-циклона [4] (рис.1г) обеспечивает более качественную очистку воздуха от пыли, а также снижение

энергозатрат и расхода сжатого воздуха на регенерацию фильтрующих рукавов. Недостатком этой конструкции является падение эффективности очистки газа при наличии в выбросах волокнистой пыли вследствие быстрого забивания фильтрующего элемента и затруднения его регенерации.

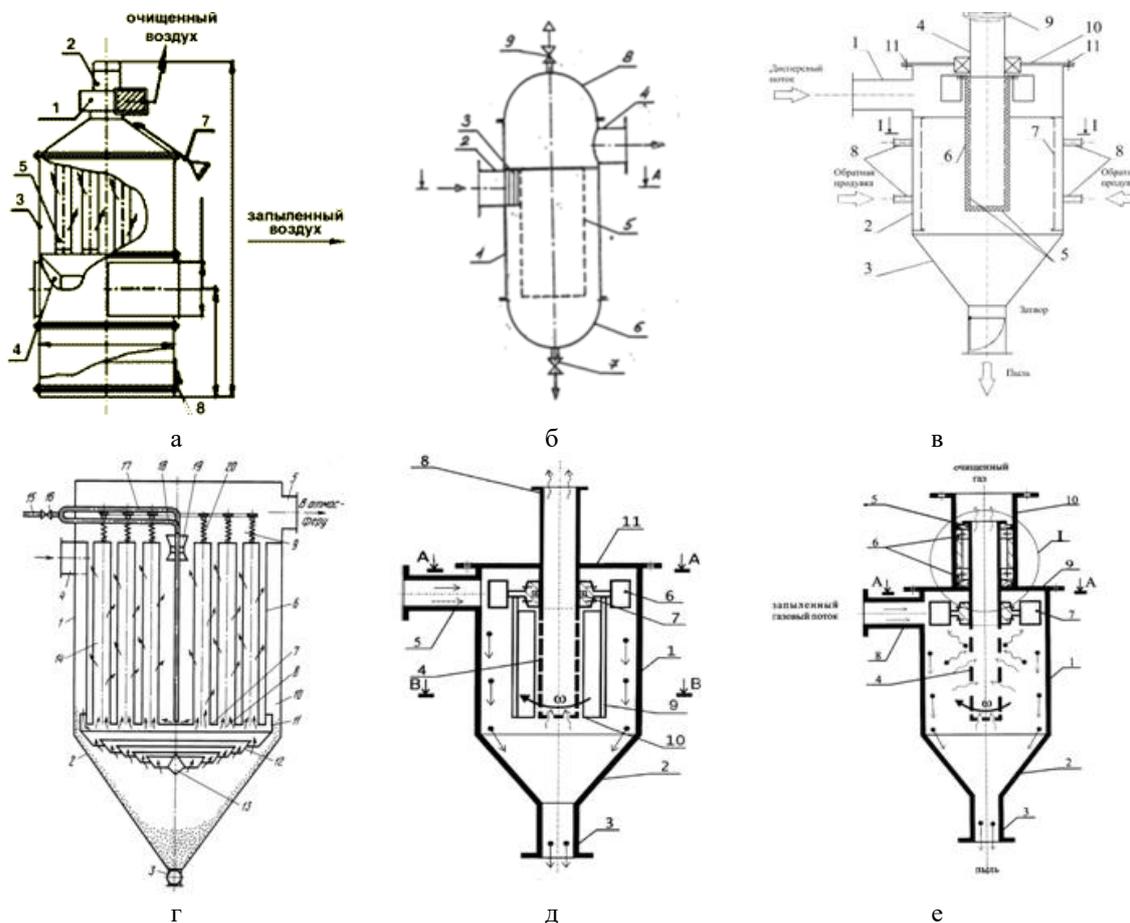


Рис.1. Примеры устройств, в которых реализуются принципы циклонной фильтрации

Применение фильтра-циклона с вращающимися лопастями с использованием энергии очищаемого пылегазового потока [5] (рис.1д) позволяет обеспечить стабильный аэродинамический режим фильтрования и устойчивую непрерывную регенерацию без дополнительных устройств и энергетических затрат. В следующем циклоне-фильтре с вращающимися лопастями (рис.1е) выхлопная труба представляет собой сварную конструкцию, частично изготовленную из пористой металлокерамики и вращающуюся в подшипниковом узле за счет закрепленного на ней ветрового колеса. Она одновременно выполняет функции фильтра и штуцера для отвода очищенного газа, и при этом обеспечивается дополнительная очистка газа путем его фильтрации через боковую поверхность и нижний торец [6]. Однако вследствие наличия движущихся элементов эксплуатация подобных аппаратов существенно усложняется, а надежность работы снижается.

В обычных циклонных устройствах степень очистки аэрозолей с размерами частиц свыше 10 мкм находится в пределах 80-95%, а более мелких частиц класса PM_{10} , $PM_{2.5}$ - намного хуже [7], ввиду чего циклоны используются для первичной обработки выбросов.

Предлагаемый в данной работе циклонный аппарат совмещает две ступени очистки, тем самым обеспечивает эффективное осаждение мелкодисперсных частиц классов PM_{10} , $PM_{2.5}$ с невысокими энергетическими и материальными затратами [8]. Для определения эффективности отделения взвешенной части потока в данном циклоне-фильтре используется относительное число Рейнольдса Re_r . Это параметр, полученный методами теории подобия, в частности, путем приведения к безразмерному виду системы уравнений, включающих уравнение движения потока и уравнение Ньютона для частицы [9]:

$$Re_r = \frac{U_0 \cdot \rho_p^2 \cdot D_p^4}{c \cdot \rho_g \cdot R_2^3 \cdot \eta} \quad (1)$$

где: U_0 - начальная скорость, м/с, ρ_p - плотность частиц, кг/м³, D_p - диаметр микрочастиц, м, c - коэффициент, зависящий от завихряющегося устройства, ρ_g - плотность газа, кг/м³, R_2 - радиус циклона, м, η - коэффициент динамической вязкости, Па·с.

Необходимо отметить, что в структуре комплекса Re_r содержится только один геометрический параметр вихревого аппарата R_2 . Это связано с тем, что в серийно выпускаемых типах циклонных пылесадителей через диаметр корпуса циклона $D_2=2R_2$ задаются соотношения других конструктивных характеристик, в т.ч. и размеров, определяющих время пребывания потока в них, так, чтобы конструкция аппарата в целом соответствовала бы оптимальной очистке. Для новых конструкций с произвольно принятым соотношением размеров элементов необходимо уточнение численного коэффициента с путем сопоставления с опытными коэффициентами очистки.

Параметр Re_r выражает соотношение энергий и действий частицы и вращающегося потока. Поэтому в криволинейных потоках численные значения Re_r по уравнению (1) могут использоваться для оценки степени осаждения частиц пыли в сходственных условиях [10].

Численное значение Re_r в окончательном виде – это энергетическая характеристика эффективности выделения взвешенной частицы с определенными инерционными параметрами из потока, создаваемого циклоном с данными конструктивными характеристиками. Это позволяет определять по значениям Re_r фракционную степень инерционной сепарации частиц из потока при существующих энергозатратах [9].

Результаты расчетов относительного числа Рейнольдса Re_r на основе ЦН-11 в соответствии с рабочими условиями для размеров частиц $D_p = (1 \dots 100) \times 10^{-6}$ м при скорости потока на входе в циклон $U_0 = 1,0 \dots 14,0$ м/с представлены на рис.2 и таблице 1.

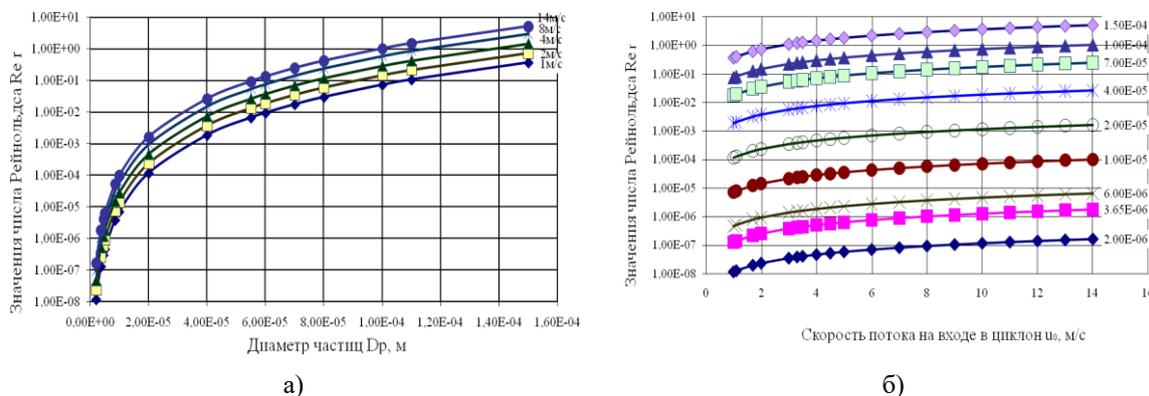


Рис. 2. Зависимость относительного числа Рейнольдса Re_r для циклона с радиусом $R=0,05$ м от: а) размера осаждаемых частиц D_p , м; б) скорости потока на входе в циклон U_0 , м/с

Таблица 1

Зависимость числа Re_r от скорости потока на входе в циклон для частиц, оседающих на 50% и 99% в кольцевом сечении модели циклона ЦН-11 диаметром 100 мм

Степень сепарации частиц*, %	Критические числа Re_r при скорости потока на входе в циклон U_0 , м/с				
	2,27	3,5	7,0	10,0	14,0
50	$8,40 \cdot 10^{-8}$	$1,30 \cdot 10^{-7}$	$2,59 \cdot 10^{-7}$	$3,70 \cdot 10^{-7}$	$5,18 \cdot 10^{-7}$
99	$4,33 \cdot 10^{-3}$	$6,68 \cdot 10^{-3}$	$1,34 \cdot 10^{-2}$	$1,91 \cdot 10^{-2}$	$2,67 \cdot 10^{-2}$

*Размеры частиц, осаждаемых в циклоне ЦН-11 на 50% (D_{50} , по паспортным данным) и на 99% (D_{99}), равны соответственно $3,65 \cdot 10^{-6}$ м и $55,0 \cdot 10^{-6}$ м.

В расчетах использовалась пыль по паспорту №27 [11] с плотностью частиц $\rho_p=1410$ кг/м³, дисперсный состав которой представлен с использованием программного обеспечения [12] на рис.3.

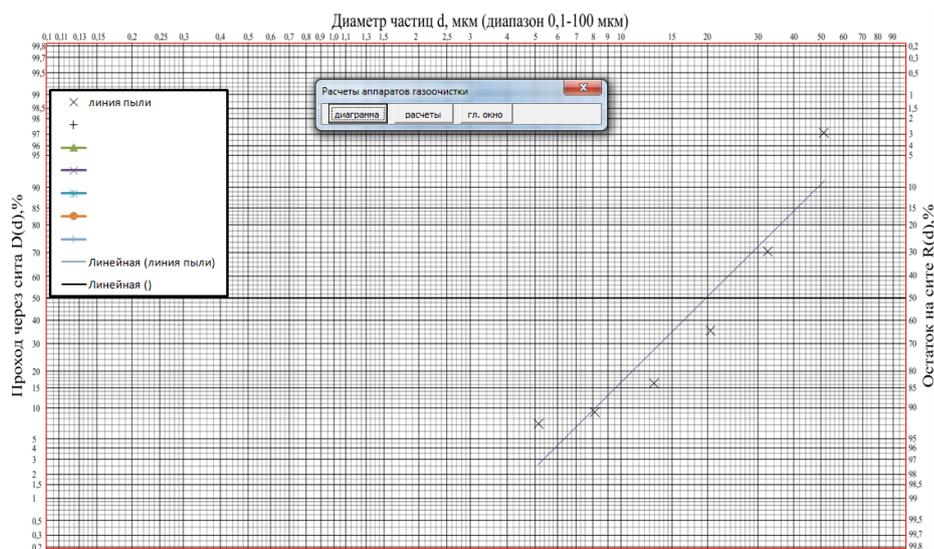


Рис.3. Сетка координатная вероятностно-логарифмическая для пыли по паспорту №27

Для верификации результатов выполненных расчетов Re_r , полученных из дифференциальных уравнений, описывающих движение частицы и вращающегося потока для критериальной числовой оценки степени осаждения частиц из криволинейных потоков выполнены оценки степени осаждения частиц в экспериментальном циклоне-фильтре.

На рисунке 4 представлен циклон-фильтр, который содержит штуцер для ввода запыленного газового потока 1, установленный тангенциально на цилиндрическом корпусе 2, имеющем коническое днище 3, расположенную соосно с цилиндрическим корпусом выхлопную трубу 4, по диаметру которой внутри корпуса циклона установлен фильтровальный материал 5 (лавсан), зафиксированный в металлическом каркасе 6, который прикреплен крепежными элементами 7 к торцу 8 циклона. Снаружи цилиндрического корпуса 2 установлены продувочные штуцера 9, также имеются детали 10 крепежа цилиндрического корпуса для разъемного торца на случай замены каркаса с фильтром. На выхлопной трубе установлен патрон с металлической сеткой 12 и фильтр Петрянова 11.

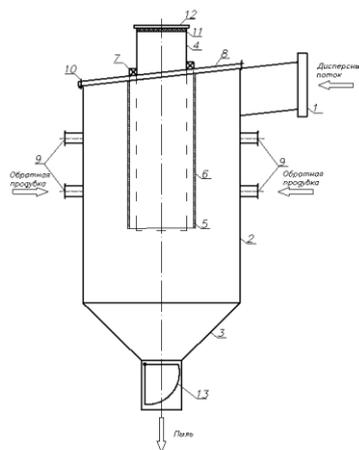


Рис.4. Циклон-фильтр с тангенциальным подводом воздуха. Общий вид

Характеристики пыли были определены посредством седиментации в дистиллированной воде. Воздух от нагнетателя подавался в контейнер с пылью (на рис. 4 не показаны). Масса контейнера с пылью определялась на аналитических весах в начале и конце серий экспериментов с одинаковым расходом. Далее дисперсный поток попадал в штуцер тангенциального ввода потока 1 и направлялся в циклон, где происходила первая ступень очистки от крупных и средних фракций пыли. Затем поток проходил вдоль фильтра, установленного на каркасе в кольцевой части циклонного элемента, где происходило касательное и инерционное осаждение пыли среднего и мелкого размера. Частицы же

размером крупнее 20-30 мкм оседали на стенке корпуса, как в обычных циклонах. Затем поток направлялся в выходную трубу циклона, где проходил через патрон с тканью Петрянова и металлическую сетку, после чего удалялся из системы.

Фильтры и сетка взвешивались в начале и конце испытания. Затем с начала, середины и конца фильтровальной ткани вырезались образцы для сравнительного определения эффективности осаждения по счетной концентрации уловленных частиц, которая устанавливалась в результате изучения образцов под микроскопом с 25-кратным увеличением. Фильтровальную ткань 5 подвергали регенерации путем периодической обратной продувки через продувочные штуцеры 9. Сброшенную с фильтровальных материалов пыль удаляли через коническое днище 3 циклона и затвор 13.

Для замены фильтровального материала освобождали крепежные элементы разъема 10, верхний торец 8 поднимали над аппаратом, выгаскивая из цилиндрической части 2 корпуса циклона-фильтра каркас с фильтром, удаляли отработанные и устанавливали чистые фильтровальные материалы 5.

Опыт проводился в четыре этапа [8]: 1 – с минимальной массой пыли при минимальной скорости; 2 – с максимальной массой пыли при минимальной скорости; 3 – с минимальной массой пыли при максимальной скорости; 4 – с максимальной массой пыли при максимальной скорости.

С начала, середины и конца фильтровальной ткани вырезались образцы для сравнительного определения эффективности осаждения по счетной концентрации уловленных частиц, которая устанавливалась в результате изучения образцов под микроскопом МИН-8 с 400-кратным увеличением. Запыление оставляло на поверхности выходного фильтра спиральный след, что свидетельствует о закрутке потока в выхлопной трубе, имеющей место при работе обычных циклонов без фильтрующих вставок, и наличии низкочастотных прецессий ядра закрученного потока, характерных для циклонов возвратно-поточного типа.

Таблица 2

Результаты опыта по очистке выбросов в циклоне-фильтре

Места замеров и отборов проб	масса контейнера и фильтров, 10 ⁻³ кг			Расход воздуха, Q _{возд.} , м ³ /с	Расход пыли, Q _{пыли} , 10 ⁻⁶ кг/с	Концентрация пыли, C, 10 ⁻³ кг/м ³
	пустого m ₀	с пылью				
		до опыта, m _{нач}	после опыта, m _{кон}			
Контейнер с пылью	26,42	27,911	27,602	0,02	0,128	0,115
Фильтр тканевый основной	2,998		3,208	0,02	0,087	0,078
Фильтр выходной из ткани Петрянова	0,607		0,649	0,02	0,017	0,015

В табл.2 представлены результаты наиболее продолжительного из проведенных экспериментов. При этом масса используемой в опыте пыли m_{пыли}=1,492·10⁻³ кг, продолжительность опыта τ=30мин., диаметр циклона d=0.1м, скорость потока V=2.27 м/с.

Выявлено, что на входной фильтрующей вставке улавливается около 68% пыли, на стенках циклона оседает 18%, и около 14% задерживается выходным фильтром из ткани Петрянова. Для данного опыта были выполнены расчеты относительного числа Рейнольдса Re_r. По формуле (1) вначале вычислено значение Re_r для частицы пыли D₁₈=31,67мкм (это размер частиц, крупнее которого в пыли с представленным дисперсным составом содержится 18% пылинок). В расчетах для запыленных выбросов были приняты физические свойства воздуха при температуре помещения 22°C: ρ_G=1,197кг/м³, η=18,2·10⁻⁶Па·с, V=2,27м/с.

$$Re_r = \frac{U_o \cdot \rho_p^2 \cdot D_p^4}{\rho_g \cdot R_2^3 \cdot \eta} = \frac{2,27 \cdot 1410^2 \cdot (31,67 \cdot 10^{-6})^4}{1,197 \cdot 0,05^3 \cdot 18,2 \cdot 10^{-6}} = 16,67 \cdot 10^{-4}$$

Затем произведен расчет относительного числа Рейнольдса Re_r для минимального размера частиц D_{99,18}, осаждаемых практически полностью (на 99,18%) в опытном циклоне диаметром 100мм, соотношение размеров элементов в котором выполнено по серийному циклону ЦН-11. Поэтому для опытного циклона приняты следующие характеристики ЦН-11 [7]:

$\lg\sigma_\eta=0,352$; $D_{50}=3,65$ мкм - дисперсия и средний диаметр, осаждаемых в циклоне частиц, которые принимают по справочным данным.

Размер частиц $D_{99,18}$ определяли через параметр осаждения x по формуле:

$$x = \lg(D_{99,18}/D_{50}) / \sqrt{\lg^2\sigma_\eta + \lg^2\sigma_p} \quad (2)$$

где σ_η , D_{50} - соответственно дисперсия и диаметр частиц, осажденных в аппарате на 50%.

Дисперсия пыли по паспорту №27 [11]: $\sigma=2,1$.

Для коэффициента очистки $\Phi(x)=99,18\%$ значение параметра осаждения при 99,18% $x=2,40$ [7]. Диаметр частиц, осаждаемых с эффективностью 50% при рабочих условиях определяли по формуле:

$$D_{50} = D_{50r} \sqrt{\left(\frac{D}{D_r}\right) \left(\frac{\rho_{pr}}{\rho_p}\right) \left(\frac{\eta}{\eta_r}\right) \left(\frac{w_r}{w}\right)} = 3,65 \sqrt{\frac{100}{600} \cdot \frac{1930}{1410} \cdot \frac{18,2 \cdot 10^{-6}}{22,2 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{3,5}{2,27}} = 1,956 \text{ мкм}, \quad (3)$$

где D_{50r} , D_r , ρ_{pr} , η_r , w_r - соответственно средний диаметр, осаждаемых в циклоне частиц, диаметр циклона, плотность частиц, динамическая вязкость и скорость газового потока, принятые по справочным данным; D_{50} , D , ρ_p , η , w - то же, в рабочих условиях.

Диаметр частиц, улавливаемых на 99,18%, в соответствии с формулой (2), составляет: $D_{99,18} = 27,374$ мкм. Теперь находим значение Re_r для $D_{99,18}=27,374$ мкм, обеспечивающего практически полное осаждение загрязнителя из выброса:

$$Re_r = \frac{U_o \cdot \rho_p^2 \cdot D_p^4}{c \cdot \rho_g \cdot R_2^3 \cdot \eta} = \frac{2,27 \cdot 1410^2 \cdot (27,374 \cdot 10^{-6})^4}{1,197 \cdot 0,05^3 \cdot 18,2 \cdot 10^{-6}} = 9,31 \cdot 10^{-4}$$

Таким образом, значение Re_r для частиц, улавливаемых практически полностью (на 99,18%) в опытном циклоне, составляет $9,31 \cdot 10^{-4}$. Следовательно, данный циклон обеспечивает полное осаждение частиц, имеющих инерционную характеристику движения в криволинейном потоке Re_r , выше этой величины. Как было показано ранее, для наименьшего размера частиц, осевших при опыте на стенке циклона, $Re_r=16,67 \cdot 10^{-4}$.

Таким образом, результаты проведенных опытных исследований служат подтверждением возможности определения фракционной эффективности осаждения твердых взвесей из запыленных потоков на основании расчетов значений параметра Re_r . С его помощью могут быть найдены фракционные коэффициенты очистки примеси, если известны параметры потока и конструктивные параметры аппарата, определяющие средний радиус кривизны потока.

Литература.

1. Техническая информация по пылеулавливающим агрегатам серии ПУМА [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.st-vent.ru/index.php/filter-pyleulovitel/filter-abraziv/filter-puma>.
2. Валиулин, С.С. Разработка комбинированного фильтра-сепаратора для судовой энергетической установки и основ его проектирования. - автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (05.08.05) / Валиулин Сергей Сергеевич; Федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волжская государственная академия водного транспорта» (ВГАВТ). – Нижний Новгород, 2012.-25с.
3. Пат. 2361678 Российская Федерация МПК В04С9/00, В01D50/00. Циклон-фильтр / Зиганшин М.Г.; патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Казанский государственный архитектурно-строительный университет ФГОУ ВПО КазГАСУ (RU); подача заявки: 2008-03-14; публикация патента: 20.07.2009. -5с.: ил.
4. Пат. 2060792 Российская Федерация МПК В01D46/02. Фильтр-циклон / Безручко В.М.; патентообладатель Безручко Василий Михайлович; подача заявки: 1994-02-08; публикация патента: 27.05.1996. -3с.: ил.
5. Пат. 2251445 Российская Федерация МПК7 В01D46/26, В04С9/00. Фильтр-циклон для очистки газов / Панов С.Ю., Энтин С.В., Анжеуров Н.М., Красовицкий Ю.В., Щеглова Л.И.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение Воронежская государственная технологическая академия (RU); подача заявки: 2003-07-18; публикация патента: 10.05.2005. -2с.: ил.
6. Пат. 2150988 Российская Федерация МПК7 В01D50/00, В04С9/00. Циклон-фильтр для очистки запыленных газов / Зотов А.П., Красовицкий Ю.В., Ряжских В.И., Шипилова Е.А.; патентообладатель Воронежская государственная технологическая академия (RU); подача заявки: 1999-06-24; публикация патента: 20.06.2000. -2с.: ил.

7. Зиганшин, М. Г. Проектирование аппаратов пылегазоочистки: учебное пособие / М. Г. Зиганшин, А. А. Колесник, А. М. Зиганшин .- Изд. 2-е, перераб. и доп. - Санкт-Петербург [и др.] : ЛАНЬ, 2014 .- 544 с.
8. Замалиева А.Т., Беляева Г.И. Повышение энергоэффективности циклонных устройств для очистки выбросов в промышленности посредством натуральных и численных исследований. / Газовая промышленность №6 - М: 2017. – с.106-117.
9. Зиганшин, М.Г. Системы очистки выбросов ТЭС. Часть 2. Оценка эффективности, верификация критериев оценки: Монография.-Казань: КГЭУ, 2013.-212с.
10. Зиганшин, М.Г. Разработка системы комплексных критериальных оценок эффективности и способов усовершенствования пылегазоочистных агрегатов ТЭС: Автореф... дис. на соиск. учен. степ. док. тех. наук.: 05.14.14.- Казань.: Казанский государственный энергетический университет, 2014.- 32 с.
11. Скрыбина, Л.Я. Атлас промышленных пылей. Часть I. -М.: ВДНТИ- Химнефтемаш, 1980. - 46с.
12. Программа для ЭВМ «Расчетный комплекс для аппаратов улавливания пыли и зола ССАДСД». Зиганшин М.Г., Зиганшин А.М. Дата гос регистрации 21.03.2014, № гос. регистрации RU 2014613288, правообладатель Зиганшин М.Г., опубли. 20.04.2014. Заявка № 2014610724, дата поступления 04.02.2014

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПТИЦЕВОДСТВА В КОРМОВУЮ ДОБАВКУ

*А.И. Пискаева, М.И. Зиминова, к.т.н., О.О. Бабич, д.т.н., доцент
Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)
650056, г. Кемерово, бр. Строителей 47, тел 9236063373
E-mail: A_piskaeva@mail.ru*

Аннотация: В статье рассматриваются проблемы утилизации перо-пухового сырья птицефабрик в высокобелковые корма и кормовые продукты для сельскохозяйственных животных и птиц. Представлена актуальность и приоритет разработки данного направления в развитии нашей страны. Показана рациональность применения перо-пуховых отходов в качестве источника белковых веществ в рационах сельскохозяйственных животных и птиц. Рассмотрена модель структуры главного белка пера – кератина. Предложена технологическая схема производства биопрепарата на основе культур промышленных непатогенных микроорганизмов: *Bacillus pumilus* SAFR-032, *Microbacterium terregens* AC1180, *Bacillus fastidiosus* B11090, *Arthrobacter globiformis* AC1529, *Streptomyces olivocinereus* AC1169, *Acinetobacter* sp. B3905 для утилизации кератинсодержащих отходов, а также технологические этапы производства кормовой добавки из перо-пуховых отходов с применением разрабатываемого биопрепарата.

Abstract: In the annotation the problems of perception of disposing feather-down raw poultry farms in high-protein forage and fodder products for agricultural animals and birds are considered in the article. The urgency and priority of developing this direction in the development of our country is presented. It shows a rational application of down-feather waste as a source of proteins in the diet of farm animals and birds. A model of the structure of the main protein of the pen - keratin is considered. Bioproduct proposed technological production scheme based on industrial crops nonpathogenic microorganisms: *Bacillus pumilus* SAFR-032, *Microbacterium terregens* AC1180, *Bacillus fastidiosus* B11090, *Arthrobacter globiformis* AC1529, *Streptomyces olivocinereus* AC1169, *Acinetobacter* sp. B3905 keratin-waste for recycling, as well as the technological stages of production of the feed additive of the pen-feather waste developed using a biological product.

Объем производства продуктов птицеводства в мире неуклонно растёт. Вместе с ним постоянно растёт и количество побочных продуктов переработки птицы, в виде так называемых технических отходов [1, 2, 3].

Для птицеводческих хозяйств, имеющих собственные убойные цеха, характерен широкий список образующихся отходов: послеубойные отходы, включающие перо, а также падёж [4]. Одной из важнейших проблем обеспечения экологической безопасности современных производств является утилизация образующихся органических отходов, которые накапливаясь, способны становиться источниками опасности для здоровья населения. Подобные отходы требуют качественной утилизации в полезный конечный продукт, что представляет собой актуальную и сложную задачу в связи с высо-