



УДК 664

## МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩЕГО АППАРАТА МОКРОГО ТИПА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМАХ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ ОТ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

### METHODS OF APPLICATION OF A WET DUST COLLECTOR IN TECHNOLOGICAL SCHEMES FOR CLEANING INDUSTRIAL EMISSIONS FROM FINE PARTICLES

#### Рахмонов Тойир Зойирович

доктор технических наук, доцент,  
главный специалист по механике,  
отдел проектирования технологических объектов  
и систем сбора,  
ООО «Лукойл-Узбекистан Оперейтинг Компани  
trahmonov@lukoil-international.com

#### Rahmonov Toyir Zoyirovich

Doctor of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Chief mechanical specialist,  
Process Facilities and Gathering  
System Design Section,  
LUKOIL Uzbekistan Operating Company LLC  
trahmonov@lukoil-international.com

**Аннотация.** Приводятся результаты исследования эффективности очистки мелкодисперсных частиц, вновь разработанного пылеулавливающего аппарата с подвижной насадкой отличающейся конструкцией ввода газа. Установлено, что аппарат может служить для эффективной очистки субмикронных частиц промышленных выбросов в сочетании методами конденсационного укрупнения частиц и впрыска воды в газоток высокотемпературного запыленного газа. Предложены технологические схемы с новым пылеулавливающим аппаратом и устройствами повышения эффективности очистки аэрозолей в зависимости от дисперсного состава частиц и температуры запыленного газа.

**Annotation.** The results of research of cleaning efficiency of fine particles, the newly developed dust-collecting apparatus with a movable nozzle design different input gas. It is established that the device can be used for effective cleaning of submicron particles of industrial emissions in the combined methods of condensing and coarsening of particles injected into the high-temperature flue gas dust-laden water.

Technological schemes are proposed with a new dust collection unit and the devices improve the efficiency of aerosol cleaning, depending on the composition of the particles of the particulate and dusty gas temperature.

**Ключевые слова:** запыленный газ, субмикронные частицы, пылеулавливающий аппарат, эффективность очистки, метод конденсационной укрупнения частиц, технологическая схема, дисперсность частиц, высокотемпературный газ.

**Keywords:** dusty gas, submicron particles, dust collecting device, cleaning efficiency, condensation particle coarsening method, technology system, particle size distribution, the high temperature gas.

З ащита воздушного бассейна от загрязнений промышленными выбросами является в настоящее время одной из важнейших проблем, затрагивающей в той или иной степени все страны мира. Поэтому вопросам газоочистки сейчас уделяется исключительно большое внимание, и глубокие практические и теоретические исследования проводятся во всех индустриально развитых странах [1, с. 5].

Одними из наиболее распространенных техногенных загрязнителей атмосферного воздуха являются различного рода аэрозоли, содержащиеся в отходящих вентиляционных и промышленных газах [2]. В связи с этим очевидна необходимость пылеулавливания во всех технологических процессах, при которых происходит пылевыделение.

От надежности и эффективности работы пылеулавливающего оборудования зависят, в основном, потери самых ценных, в большинстве случаев тонкодисперсных фракций продуктов, а также загрязненность и запыленность воздуха в цехах, на предприятиях и на большой территории окружающего их пространства.

Для правильного выбора пылеулавливающего аппарата необходимы, прежде всего, сведения о дисперсном составе пыли.

Дисперсный состав пылей определяют экспериментально. Для этого чаще всего используют приборы, называемые импакторами. Результаты определения дисперсного состава пыли обычно представляют в виде зависимости массовых фракций частиц от их размера.

Представленная в предыдущих главах совокупность теоретических и экспериментальных данных однозначно показывает, что разработаны нами прямоточный пылеулавливающий аппарат с U-образным патрубком ввода газа является наиболее эффективным устройством для улавливания мелкодисперсных аэрозолей, способный функционировать с влажными слипающимися кристаллизующимися аэрозолями. Процесс улавливания в аппарате проходит с использованием инерционно-турбулентного механизма и имеет место турбулентная коагулирующая частица, повышающая общую эффективность улавливания аэрозолей. Однако как показывает эксплуатационный опыт, зачастую этого эффекта оказывается недоста-



точно для получения необходимой степени улавливания аэрозолей с размером менее 1 мкм. В этом случае применяют методы дополнительного воздействия, к которым относятся:

1. Конденсационное укрупнение частиц путем ввода водяного пара в поток газа.
2. Введение в орошающую жидкость поверхностно-активных веществ.
3. Использование тепла газов для получения высокотемпературного энергоносителя.

Метод конденсационного укрупнения частиц является известным методом [3], позволяющим повысить эффективность аппаратов мокрой очистки. Однако, вследствие относительно неэффективной утилизации водяного пара, данная технология неэкономична, приводит к увеличению эксплуатационных расходов, за исключением тех случаев, когда есть возможность использовать дешевый отработанный пар низкого давления.

Второй метод, исследованный в работе [4] не приводит к заметному росту эффективности улавливания субмикронных частиц. Добавление поверхностно-активных веществ в небольшом количестве можно использовать для глубокого улавливания субмикронных частиц, когда требуется относительно небольшое повышение эффективности.

Утилизация тепла газов для нагрева орошающей жидкости или получение пара с последующим использованием для повышения эффективности очистки газов, на наш взгляд является перспективным методом. При этом энергозатраты, связанные с очисткой по методу использования первичного водяного пара, очевидно, будут низкими.

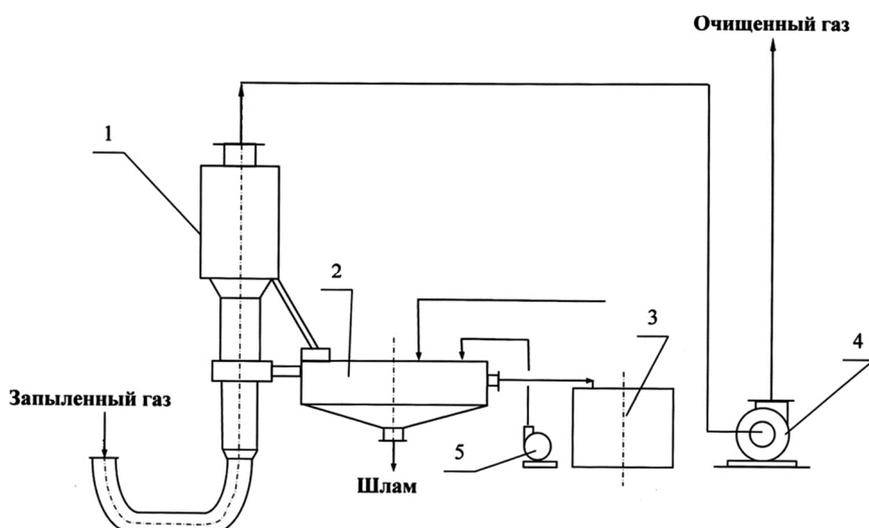
С целью исследования данного метода применительно к прямоточному аппарату с U-образным патрубком ввода газа использовали следующие способы:

1. Применение нагретой воды для орошения.
2. Непосредственно впрыском воды в газоход при помощи форсунки тонкого распыла, для увлажнения и укрупнения мелкодисперсных аэрозолей.

Нами разработаны 3 варианта технологической схемы пылеулавливания с применением аппарата с подвижной насадкой [5] в зависимости от температуры запыленного газа и дисперсного состава частиц, а также с учетом влияние на эффективность вышеуказанных методов дополнительных воздействий.

*Вариант 1.* Описание технологической схемы очистки запыленных газов при дисперсном составе частиц пыли более 1,6 мкм и температуре менее 100 °С.

Запыленный газ по газоходу под действием разрежения (рис. 1), создаваемого вентилятором (4) поступает в пылеулавливающий аппарат с U-образным вводом газа (1).



**Рисунок 1** – Технологическая схема очистки газа при  $d > 1 \text{ мкм}$ ,  $t < 100 \text{ °С}$ :

- 1 – пылеулавливающий аппарат; 2 – шламосборник; 3 – емкость осветленной воды;  
4 – воздуходувка; 5 – центробежный насос

Аппарат с подвижной насадкой (1) в прямоточную самоорошающуюся комплектуется системой отделения шлама, выполняемой в двух вариантах:

- 1) с гравитационным осаждением в шламосборнике;
- 2) с отделением шлама в самоочищающемся фильтре.

На рисунке 1 показан шламосборник (2) из верхней части которого жидкость поступает в кольцевую камеру пылеулавливающего аппарата, инжeksiруется в рабочую зону и после отделения в сепарационной части аппарата, вновь сливается в шламосборник (2).

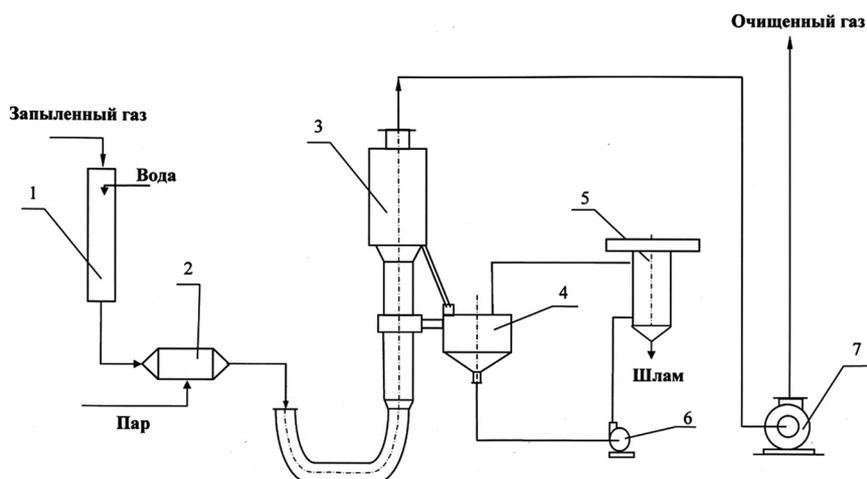


Выгрузка шлама осуществляется на неработающей установке. Для этого в промежуточную емкость (3) сливается жидкость из верхней части шламосборника. Шлам (в виде ила) выгружается из нижнего люка шламосборника. Затем жидкость из емкости (3) закачивается насосом (4) в шламосборник, который заполняется водой до требуемого уровня из подпиточной линии, и установка включается в работу.

**Вариант 2.** Описание технологической схемы очистки газов при дисперсном составе частиц менее 1 мкм и температуре газа менее 100 °С.

Запыленный газ от источника пылевыделения (рис. 2) по газоходу поступает в форсуночный увлажнитель газа (1). Далее газ поступает в парораспределитель (2), где в газовый поток вводится насыщенный пар. Затем газ поступает в пылеулавливающий аппарат с U-образным вводом газа (3), где происходит мокрая очистка от аэрозоля.

По систему шламоотделения циркуляция жидкости и поступление ее в аппарат осуществляется через промежуточную емкость (4). Шламосодержащая жидкость из емкости (4) периодически подается насосом (6) на самоочищающийся фильтр (5), где происходит отделение шлама. Осветленная жидкость возвращается в емкость (4).



**Рисунок 2** – Технологической схемы очистки газов при  $d \leq 1 \text{ мкм}$ ,  $t > 100 \text{ °С}$ :

1 – увлажнитель газа; 2 – парораспределитель; 3 – пылеулавливающий аппарат; 4 – шламосборник; 5 – самоочищающийся фильтр; 6 – центробежный насос; 7 – воздуходувка

**Вариант 3.** Описание технологической схемы очистки газов при дисперсном составе пыли частиц менее 1 мкм и температуре более 100 °С.

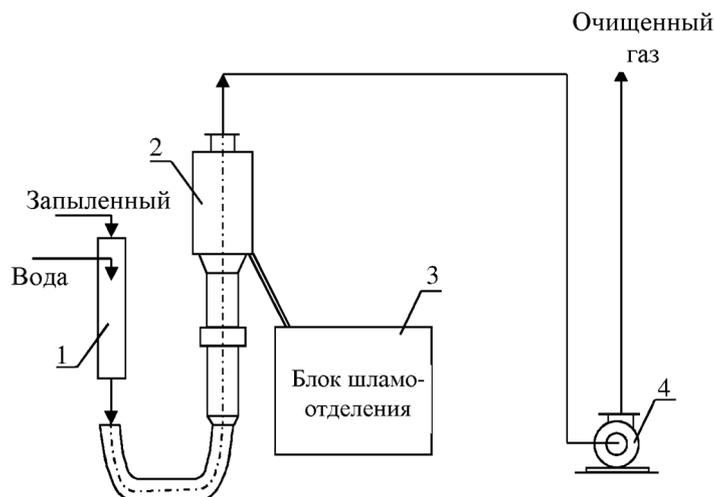
Установка (рис. 3) для очистки аспирационного воздуха, установленная после пылевых камер состоит из пылеулавливающего аппарата (2), блока шламоотделителя (3) и вентилятора, работающих на разрежение (4). Запыленный газ, содержащий субмикронные аэрозоли, проходит камеру адиабатического увлажнения и охлаждения (1), где за счет форсуночного впрыска воды температура газа снижается до значений ниже 70 °С. Частично охлажденный и увлажненный до насыщения газ поступает в аппарат с витающей насадкой с U-образным патрубком ввода газа, где происходит интенсивное перемешивание газа с жидкостью и очистка от аэрозолей. Отделения шлама от орошающей жидкости происходит в блоке шламоотделения.

Выбросы от источника пылеобразования, содержащие пыль, сажу, и масляный аэрозоль (рис. 3), проходят камеру адиабатического охлаждения (1) за счет форсуночного впрыска воды температура газа снижается до значений ниже 100 °С. Частично охлажденный и увлажненный газ поступает в аппарат с U-образным вводом газа (2), где происходит очистка от аэрозолей.

Отделение шлама от орошающей жидкости происходит в блоке шламоотделения (3), который может быть выполнен по 2-му варианту (см. рис. 1. и рис. 2). Задержанная в аппарате твердые частицы и слипающаяся (масляная) аэрозоль, скапливается и удаляется с поверхности жидкости в системе шламоотделения. Транспортировка газа через систему осуществляется вентилятором высокого давления (4).

Для определения эффективности очистки промышленных газовых выбросов в аппарате с подвижной насадкой и подбора технологической схемы в зависимости от конкретных параметров источника загрязнения, нами проведены исследования в промышленной установке на литейном производстве центрального ремонтно-механического завода Алмалыкского горно-металлургического комбината.

Исследование по определению эффективности очистки проводили при скоростях газа в рабочей зоне аппарата  $16 \div 20 \text{ м/с}$ , при плотности орошения  $7,4 - 14 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ .



**Рисунок 3** – Технологическая схема очистки газа при  $d > 1 \text{ мкм}$ ,  $t > 100 \text{ }^\circ\text{C}$ :  
 1 – камера адиабатического увлажнения и охлаждения; 2 – пылеулавливающий аппарат;  
 3 – блок шламоотделения; 4 – воздуходувка

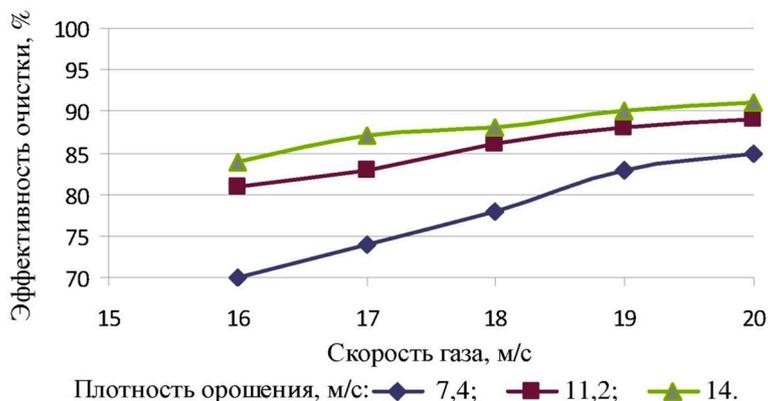
Перед испытанием определяли содержание и дисперсность частиц очищаемого газа по методике, приведенной в [4]. Установлено, что концентрация частиц колеблется от  $3 \text{ г/м}^3$  до  $4,2 \text{ г/м}^3$  в зависимости от стадии работы источника пылеобразования. Результаты определения дисперсного состава частиц показывают (табл. 1), что доля частиц менее  $1 \text{ мкм}$  находится в пределах 21–32 %. Среднее значение фракционного состава частиц очищаемого газа приводится в таблице 1.

**Таблица 1** – Фракционный состав частиц запыленного газа литейного производства центрального ремонтно-механического завода АГМК

Диаметр частиц, мкм	> 7	7–5	5–3,2	3,2–2,8	2,8–2,2	2,2–1,2	1,2–0,8	< 0,8
Содержание масс, %	3,9	7,5	9,3	13,8	9,6	18,8	17,9	19,2

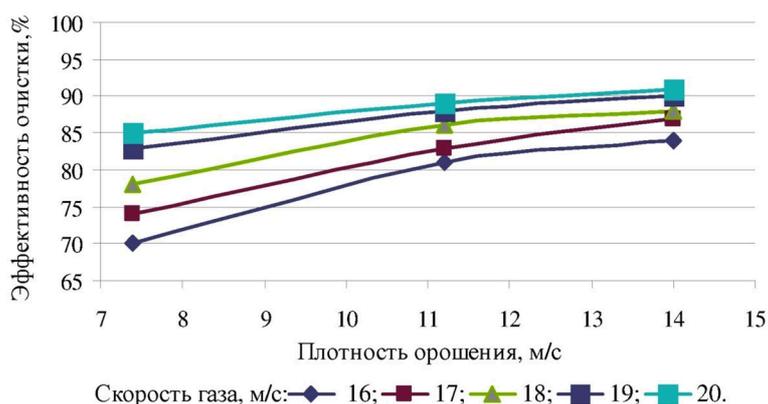
В эксперименте использовали кольцевые насадки размером  $40 \times 40 \text{ мм}$  с весом 35 гр.

Результаты опытов эффективности пылеулавливания от скорости газа без впрыска воды проиллюстрированы на рисунке 4. Как видно из графика, увеличение скорости газа приводит к росту эффективности пылеулавливания. Причем при скоростях более  $18 \text{ м/с}$  увеличение эффективности наблюдается более заметно. Например, при скорости  $16 \text{ м/с}$  и плотности орошения  $7,4 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$  эффективность достигла 70 % при скорости  $20 \text{ м/с}$ , плотности орошения эффективность составила 85 %.



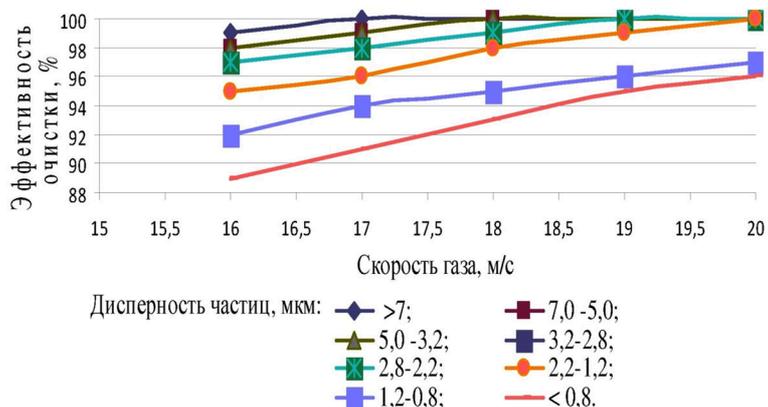
**Рисунок 4** – Зависимость эффективности очистки от скорости газа при различных значениях плотности орошения и  $H_{cm} = 200 \text{ мм}$  (без впрыска воды)

Зависимость эффективности пылеулавливания от плотности орошения (рис. 5) показывает, что увеличение плотности орошения приводит также к увеличению степени очистки. При этом наиболее высокое значение эффективности достигается при плотности орошения  $14 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ .



**Рисунок 5** – Зависимость эффективности очистки от плотности орошения при различных значениях скорости газа и  $H_{cm} = 200$  мм (без впрыска воды)

Дальнейшие исследования проводили с впрыском воды в газоподъемный аппарат при оптимальных рабочих параметрах процесса. При этом определяли фракционную эффективность очистки, установив импактор до и после аппарата. Полученные результаты в виде графической зависимости приводятся на рисунке 6. Как видно из графика, эффективность очистки возрастает с ростом скорости и достигает значения 96 % при улавливании частиц субмикронного размера (менее 0,8 мкм).



**Рисунок 6** – Зависимость эффективности пылеулавливания от скорости газа при различных значениях дисперсного состава частиц,  $H_{cm} = 200$  мм и  $L = 14 \cdot 10^{-3}$  м/с (с впрыском воды)

Таким образом, пылеулавливающий аппарат с подвижной насадкой и U-образным вводом газа, разработанный нами, в сочетании с впрыском воды в газоподъемный аппарат может служить для эффективной очистки субмикронных частиц высокотемпературных промышленных выбросов.

Теоретические и практические результаты исследований, показывают, что при дисперсном составе более 1,0 мкм пылеулавливающий аппарат позволяет достигать высокую эффективность без применения дополнительного воздействия и можно применять технологическую схему, приведенную на рисунке 1.

Если в дисперсном составе частиц запыленного газа доля субмикронных частиц (частицы с фракционным размером менее 1 мкм) составляет более чем 20 % и температура запыленного газа менее 100 °С, экономически выгодно использовать метод конденсационного укрупнения в сочетании с предварительным увлажнением (насыщением) газа (рис. 2).

При содержании субмикронных частиц более 20 % и температуры более 100 °С использования метода впрыска воды в газоподъемный аппарат позволяет достичь глубокой очистки газа от указанных частиц (рис. 3).

**Литература:**

1. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 1. – Калуга : Издательство Н.Ф. Бочкаревой, 2003. – С. 530.
2. Вальдберг А.Ю. Современные тенденции развития теории и практики пылеулавливания // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2007. – № 7. – С. 48–50.
3. Страус В. Промышленная очистка газов. – М. : Химия, 1981. – С. 616.



4. Рахмонов Т.З. Сепарация мелкодисперсных аэрозольных частиц и капель с использованием инерционно-турбулентных и центробежных эффектов осаждения : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Т. : ТашГТУ, 2000. – С. 20.
5. Рахмонов Т.З., Салимов З.С., Мухаммедов Б.И., Рахмонов У.К., Юлдашев Н.Х. Установка для очистки запыленных газов // Государственная патентная ведомость Республики Узбекистан. Пат. № IAP 038039 от 12.12.2008 г.

**References:**

1. Timonin A.S. Engineering-ecological reference book. V. 1. – Kaluga : N.F. Bochkaryova's publishing house, 2003. – P. 530.
2. Valdberg A.Yu. Current trends of development of the theory and practice of a pyleulavlivaniye // Chemical and oil and gas mechanical engineering. – 2007. – № 7. – P. 48–50.
3. Straus V. Industrial purification of gases. – M. : Chemistry, 1981. – P. 616.
4. Rakhmonov T.Z. Separation of fine aerosol particles and drops with use of inertial and turbulent and centrifugal effects of sedimentation : Avtoref. yew. ... Cand. Tech. Sci. – Т. : TashGTU, 2000. – P. 20.
5. Rakhmonov T.Z., Salimov Z.S., Mukhammedov B.I., Rakhmonov U.K., Yuldashev N.H. Installation for purification of dusty gases // State patent sheet of the Republic of Uzbekistan. Stalemate. № IAP 038039 from 12/12/2008.