

УДК 541.182.3; 697.946

**СНИЖЕНИЕ ВТОРИЧНОГО УНОСА В ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЕ  
УСТАНОВКИ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННОЙ СЕРНОЙ  
КИСЛОТЫ**

**RE-ENTRAINMENT DECREASE IN ELECTROSTATIC  
PRECIPITATOR TO THE REGENERATION UNIT SPENT SULFURIC  
ACID**

**Фаррахова А. Т., Барахнина В. Б.**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
г. Уфа, Российская Федерация**

**A. T. Farrakhova, V. B. Barakhnina**

**Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation**

**e-mail: verarosental@rambler.ru**

**Аннотация.** Существенно ужесточившиеся в последние десятилетия стандарты в области охраны окружающей среды требуют постоянно искать пути усовершенствования систем очистки технологических газов в промышленности. В настоящее время остро стоит проблема тонкой очистки больших объемов газов от дисперсных частиц. Пылеулавливание осуществляется с помощью специальных устройств, которые могут быть встроены в основное оборудование или вынесены за пределы технологического процесса. Для очистки выбрасываемых в атмосферу газов применяют аппараты разного принципа действия и конструкции: скрубберы, циклоны, пылесадительные камеры, электрофильтры и другие. По способу отделения пыли от газа различают следующие методы пылеулавливания: механический метод (пылесадительные камеры, сухое инерционное пылеулавливание, мокрое пылеулавливание, фильтрация);

физический метод (электрофильтры); физико-химический метод (абсорбция, адсорбция, хемосорбция, катализация, термический метод).

При оценке эффективности работы пылеуловителей принимают во внимание: общую эффективность обеспыливания, или количество пыли, задержанной в пылеуловителе, по отношению к количеству пыли, содержащейся в обеспыливаемом газе; фракционную эффективность, определяющую полноту улавливания частиц определенных размеров; остаточное содержание пыли в газе при выходе его из пылеуловителя; распределение остатка пыли в газе по размеру частиц или скорости витания. Под эффективным улавливанием понимают улавливание с эффективностью более 95 %.

В статье рассмотрены вопросы технологии удаления твердых частиц и пыли из технологического газа при эксплуатации установки регенерации отработанной серной кислоты, приведена краткая характеристика электростатического осадителя, рассмотрены проблемы, стоящие в пылегазоочистке промышленных предприятий, приводящие к снижению эффективности работы пылегазоочистного оборудования, предложены способы решения данных проблем.

**Abstract.** The standards of the environmental protection which have critically become tougher in the last decades demand to look for constant ways of improving the systems of technological gases purification in industry.

Currently acute problem of thin clearing of large amounts of gases from the dispersed particles.

Dedusting is carried out with the help of special devices that can be integrated into the main equipment or placed outside the process. To clean the vented gases used the apparatus of different principle and construction: scrubbers, cyclones, dust-collecting chambers, electrostatic precipitators and others.

According to the method of separating dust from the gas following dust control methods: a mechanical method (paleoscience camera, inertial dry dust

collection, wet dust removal, filtration) physical method (electrostatic precipitators); physical-chemical method (absorption, adsorption, chemisorption, catalyzing the thermal method).

When assessing the efficiency of the dust collectors take note: the overall efficiency of dust removal, or the amount of dust caught in the dust collector, in relation to the amount of dust contained in the in the dust-free gas; fractional efficiency, which determines the completeness of capture of the particles of a certain size; the residual dust content in the gas when leaving the scrubber; the distribution of residue of dust in the gas to particle size or velocity. Under the effective capture know capture efficiency of over 95 %.

In the article we deal with the methods of firm particles and dust removal from technological gas during the use of the plant reactivation operation of black sulphuric acid. There is the short characteristic of an electrostatic precipitator. Also we consider the problems standing in a GTS of the industrial enterprises, which lead to decrease in overall performance of the dust and gas purificating equipment. Possible ways of these problems solution are suggested.

**Ключевые слова:** пылеулавливание, электрофильтр, осадительный электрод, газоочистка, пылегазоочистка, вторичный унос, эффективность улавливания.

**Key words:** dust capture, electrostatic precipitator, collecting electrode, gas purification, Gas Treatment Station (GTS), re-entrainment, collection efficiency.

В настоящее время на предприятиях нефтяной промышленности обращают особое внимание на проблемы очистки воздуха, а также технологических газов с учетом фактического технического состояния оборудования.

Это обусловлено значительным загрязнением окружающей среды как самим нефтеперерабатывающим заводом (НПЗ), так и отдельными его установками.

Примерами передовых технологий, появление которых вызвало необходимость использования электрофильтров, могут служить сталелитейная промышленность (утилизация тепла, 540-815 °С); цементная промышленность (утилизация тепла при охлаждении клинкера); каталитический крекинг нефтепродуктов (очистка газов регенерации, температура газов 600-800 °С); газификация древесного угля и торфа (улавливание твердых частиц, 650-870 °С); очистка нефти (улавливание катализаторов, 760 °С); производство кремния (улавливание пыли кремнезема, 250-400 °С); стекляная промышленность (печи окисления, 540 °С) и во многих других процессах [1].

Рассмотрим состав выбросов установки регенерации отработанной серной кислоты с установки сернокислотного алкилирования (производительность установки – 132 т/сут) газокаталитического производства.

Установка регенерации отработанной серной кислоты (РОСК) обеспечивает непрерывную регенерацию этого отхода с получением свежей серной кислоты, вновь вовлекаемой в технологический процесс установки сернокислотного алкилирования по закрытой схеме, что исключает ее привлечение со стороны и снижает экологические риски [2]. Сырьем установки регенерации отработанной серной кислоты является серная кислота ( $H_2SO_4$ ) процесса сернокислотного алкилирования с концентрацией 90 % мас. по моногидрату [3]. Процесс регенерации отработанной серной кислоты сопровождается использованием в качестве топлива концентрированного сероводородсодержащего газа, обладающего сильными токсичными свойствами. Образующийся в процессе термического расщепления технологический газ содержит сернистый ангидрид, сероводород, углекислый газ и пары воды [4].

Во время работы РОСК постоянно происходит рассеивание в атмосфере следующих видов загрязняющих веществ (таблица 1).

Таблица 1. Выбросы в атмосферу от установки РОСК производительностью 132 т/сут (организованный выброс)

| Наименование выброса   | Количество выбросов по видам, т/год | Установленная норма содержания загрязнений в выбросах, мг/м <sup>3</sup> |
|--|-------------------------------------|--|
| Свеча рассеивания  |                                     |  |
| Диоксид азота (азота (IV) оксид)                                 | 8,194                               | 22,481   |
| Оксид азота (азота (II) оксид)                                   | 3,358                               | 9,215  |
| Серная кислота (по молекуле H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )     | 7,873                               | 21,607   |
| Диоксид серы (ангидрит сернистый)                                | 142,318                             | 390,589  |
| Свеча выброса продувочного газа из электростатического осадителя |                                     |  |
| Углерод (сажа)   | 0,006                               | 3,236  |
| Свеча Г-1  |                                     |  |
| Гидразин гидрат  | 6,6·10 <sup>-11</sup>               | 32,131   |
| Узел приготовления и дозирования гидразин гидрата                |                                     |  |
| Гидразин гидрат  | 2,9·10 <sup>-4</sup>                | 0,039  |

При неорганизованном выбросе в атмосферу выбрасываются следующие вещества, т/год: аммиак – 0,145; серная кислота (по молекуле H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) – 7,887; гексан – 152,994; пентан – 199,023; метан (смесь углеводородов предельных C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub>) – 1,809 [5].

Для успешной эксплуатации существующей установки РОСК требуется контроль систем и аппаратов для очистки газов от твердых частиц и модернизация существующего технологического оборудования. Так как после расщепления отработанной серной кислоты в печи в технологическом газе содержится некоторое количество твердых частиц пыли, то неочищенный технологический газ поступает в электростатический осадитель.

Минеральные отходы от газоочистки (пыль от электростатического осадителя) образуются в количестве 46,2 т/год. Они временно накапливаются в металлических емкостях на специально оборудованной площадке и один раз в год вывозятся на полигон твердых бытовых отходов (ТБО).

Независимо от типа все электрофильтры основаны на одних и тех же основных принципах. Процесс состоит из 3-х основных стадий:

- зарядка взвешенных частиц;
- осаждение заряженных частиц в электрическом поле;
- удаление осажденного материала во внешний приемник [6].

Актуальной задачей является увеличение межремонтного пробега, снижение объема ремонтных работ на электрофилт্রে установки РОСК и уменьшение вредных выбросов в окружающую среду.

В настоящее время использование электростатических фильтров является одним из самых эффективных решений задачи сокращения выбросов твердых частиц. Эта технология нашла применение в широком спектре процессов и имеет большие перспективы в будущем. Идет интенсивная работа по улучшению технологии электростатической фильтрации, направленная на ее развитие в соответствии с растущими потребностями рынка и рассчитанная с запасом на будущее. Высокие требования к очистке воздуха и дальнейшее развитие производственных процессов означает, что технология электростатической фильтрации должна постоянно совершенствоваться [7].

Электростатический осадитель на установке РОСК предназначен для удаления твердых частиц и пыли из технологического газа, выходящего из печи сжигания. Технологический газ, содержащий частицы пыли, проходит через систему перфорированных пластин, служащих предварительным осадителем и распределителем газа. Очищение технологического газа происходит в вертикальных ячейках, которые образуют самоподдерживающую сотовую конструкцию, в середине ячеек находятся коронирующие электроды.

Разделение частиц пыли происходит в области электрического поля посредством ионизации молекул газа, которые заряжают частицы пыли. Частицы движутся в направлении потока газа и под влиянием электрического поля заряженные частицы перемещаются к положительно заряженному полюсу – заземленным стенкам собирающих ячеек.

Чтобы удалить уловленную пыль из электрофильтров, применяют специальные системы встряхивания электродов. В сухих электрофильтрах обычно используют несколько таких систем — это пружинно-кулачковая, ударно-молотковая, вибрационная, либо же магнитно-импульсная система. Кроме этого, уловленные частицы могут просто смывать с электродов водой [8].

На установке РОСК установлена вибрационная система встряхивания электродов. Пыль со стенок под действием силы тяжести и вибрации, создаваемой блоками встряхивания, опадает вниз в бункер для пыли. Блоки встряхивания приводятся в движение пневматическими вибраторами.

Концентрация частиц в технологическом газе на выходе из электростатического осадителя должна быть не более  $3 \text{ мг/м}^3$ , остальная пыль накапливается на пылеулавливающем слое и на первом слое катализатора в конверторе  $\text{SO}_2$ .

Техническая характеристика электростатического осадителя, установленного на установке РОСК: производительность по очищаемому газу  $Q = 30367 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; рабочее (избыточное) давление  $P_{\text{раб}} = 0,106 \text{ кгс/см}^2$ ; расчетное давление  $P_{\text{рас}} = 0,204 \text{ кгс/см}^2$ ; наибольшая температура газов  $T = 480 \text{ }^\circ\text{C}$ ; объем очищаемого газа  $V = 423 \text{ м}^3$ ; габаритные размеры –  $L = 7075 \text{ мм}$ ,  $A = 5160 \text{ мм}$ ,  $H = 22676 \text{ мм}$ ; концентрация пыли на входе –  $500 \text{ г/нм}^3$ , на выходе –  $3 \text{ мг/м}^3$ .

Электрофильтры находятся в эксплуатации десятки лет. Нередко срок их службы (с учетом ремонтов) составляет 30–40 лет. За такой период времени естественно изменяется режим работы технологического агрегата, санитарные требования к величине выбросов из электрофильтра в атмосферу, происходит физический и моральный износ электрофильтра и ухудшение его работы.

Безусловно, радикальным средством обеспечения требуемых санитарных норм является установка новых электрофильтров. Однако



строительство новых установок с использованием электрофильтров — дорогостоящее мероприятие, требующее значительного времени на изготовление и сооружение установок очистки (что часто сопряжено с необходимостью частичной или полной остановки технологического процесса).

Реконструкция же может значительно сократить сроки строительства и снизить финансовые затраты на их сооружение. Например, полная или частичная замена внутреннего механического оборудования электрофильтра, замена или восстановление работоспособности систем встряхивания и регенерации осадительных и коронирующих электродов, увеличение площади осаждения, замена агрегатов питания и т.д.

Одной из важнейших проблем в электрогазоочистке является вторичный пылеунос, связанный с работой механизмов встряхивания электродов.

Унос пыли, существующий при непрерывном встряхивании осадительных электродов, может быть существенно снижен при реализации оптимального режима встряхивания. Величина снижения уноса за счет оптимизации встряхивания зависит от физико-химических свойств пылегазовой среды. Оптимальный режим встряхивания коронирующих электродов должен поддерживать слой пыли на коронирующих элементах, при котором ток короны обеспечивает наиболее эффективное улавливание пыли в электрофильтре. С другой стороны, интенсивность и частоту встряхивания необходимо выбирать такими, чтобы обеспечить максимально возможный срок службы узлов встряхивания и минимальную расцентровку электродной системы. Таким образом, проблемой, которую необходимо решать, является разработка и оптимизация алгоритмов управления механизмами встряхивания электродов.

Оптимизация режимов встряхивания электродов электрофильтров до середины 80-х годов осуществлялась путем перебора различных вариантов



на основании имеющегося опыта. Применение расчетной методики оптимизации встряхивания осадительных электродов при эксплуатации электрофильтров показывает, что оптимизация встряхивания осадительных электродов позволяет снизить выбросы пыли из электрофильтров в 1,3–2,5 раза по сравнению с непрерывным режимом встряхивания. Кроме того, происходит значительное снижение механического износа узлов встряхивания, увеличивается межремонтный пробег и снижается объем ремонтных работ на электрофильтре [9].

Опыт научных исследований, инженерных наработок и промышленной эксплуатации позволил создать ряд новых технических решений в области очистки газов. Созданные конструкции и методы их монтажа позволяют в тех же корпусах фильтров или на тех же площадях добиваться предельно допустимых норм по выходной концентрации пыли.

Существует способ повышения эффективности электрофильтров по технологии Закрытого акционерного общества «Кондор-Эко».

По данной технологии вертикальный трубчатый электрофильтр позволяет полностью исключить унос пыли при встряхивании осадительных электродов, так как удаленная с осадительного электрода пыль падает непосредственно в бункер, минуя общий поток газа и таким образом пыль полностью поступает в бункер. Задача решается за счет того, что осадительные электроды выполнены с возможностью перемещения между направляющими для движения в вертикальном направлении, имеют бойки, взаимодействующие с наковальнями, и устройство для подъема и сброса электродов на наковальни, причем в нижнем положении трубы соединены с бункером через отверстия в крышке бункера (рисунок 1).

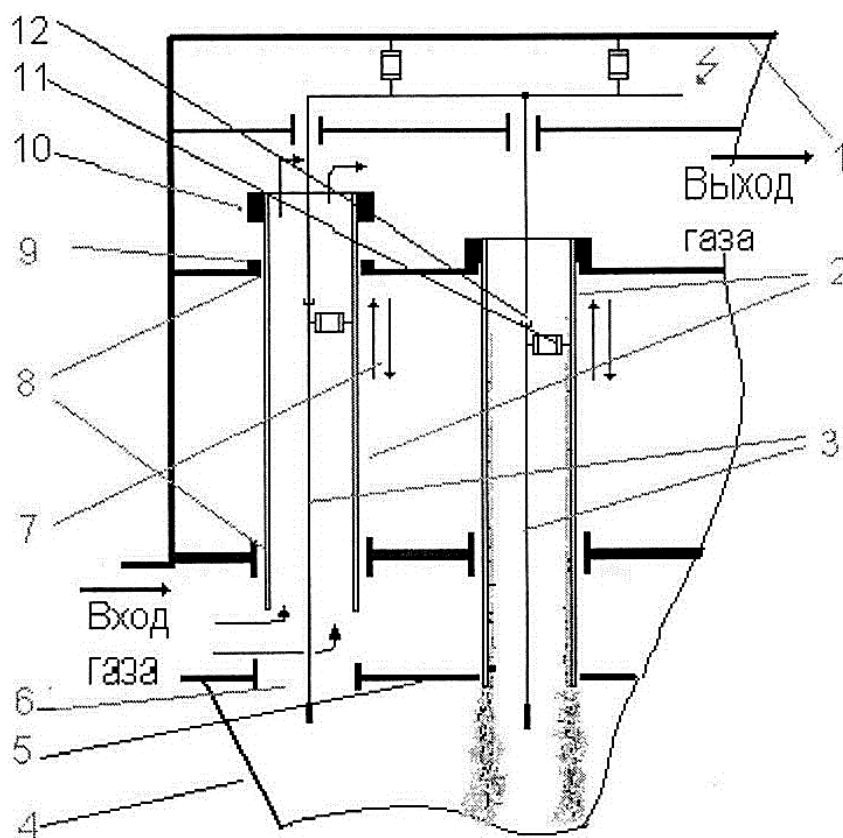


Рисунок 1. Вертикальный трубчатый электрофильтр:

- 1 - корпус вертикального трубчатого электрофильтра; 2 - осадительные электроды; 3 - коронирующие электроды; 4 - бункер; 5 - крышка бункера; 6 - отверстие в крышке бункера; 7 - устройство подъема сброса осадительных электродов; 8 - направляющие; 9 - наковальни; 10 - бойки; 11 - изолятор крепления коронирующего элемента; 12 - разъем коронирующего элемента

Данный способ промышленно применим, т. к. для его изготовления не требуется применения специальной оснастки и новых технологий.

Кроме того, оптимизация работы механизмов встряхивания приведет к увеличению ресурса их работы, уменьшению расцентровок электродной системы и снижению потребления электроэнергии электродвигателями этих механизмов, т. к. после оптимизации пауза в работе некоторых двигателей будет составлять от 40 мин до 2,5 ч.

## **Выводы**

Для многих производств требуемого уровня остаточной запыленности можно добиться только путем полной замены существующих электрофильтров или путем их глубокой реконструкции.

Однако строительство новых установок с использованием электрофильтров — дорогостоящее мероприятие, требующее значительного времени на изготовление и сооружение установок очистки.

Реконструкция же может значительно сократить сроки строительства и снизить финансовые затраты на их сооружение. Например, полная или частичная замена внутреннего механического оборудования электрофильтра, замена или восстановление работоспособности систем встряхивания и регенерации осадительных и коронирующих электродов, увеличение площади осаждения, замена агрегатов питания и т. д.

В общем случае для успешной эксплуатации электрофильтров должны быть выполнены следующие виды работ: организационные, режимные, конструктивные, проектные, технологические [9].

Приведенная классификация позволяет систематизировать возможные направления работ и целенаправленно проводить мероприятия по повышению эффективности электрофильтров.

Наиболее целесообразным является комплексное проведение указанных мероприятий.

## **Список используемых источников**

1 Система охраны окружающей среды на уфимском нефтеперерабатывающем заводе / В. Б. Барахнина, Р. В. Габдулхакова, А. Ш. Сайфуллина, А. Ф. Хасанова, И. Р. Киреев // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. 2016. №1. С. 19-22.

2 Фаррахова А.Т., Барахнина В. Б. Повышение промышленной и экологической безопасности на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности // Экологический вестник России. 2016. №3. С. 25-28.

3 Повышение промышленной и экологической безопасности при эксплуатации установки сернокислотного алкилирования / И. Р. Киреев, И. И. Гайсина, В. Б. Барахнина, Н. Х. Абдрахманов // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14, №4. С. 190-194.

4 Фаррахова А. Т., Барахнина В. Б., Сайфуллина А. Ш. Вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации установки регенерации отработанной серной кислоты нефтеперерабатывающего завода // Экологический вестник России. 2016. №8. С. 32-34.

5 Фаррахова А. Т., Барахнина В. Б., Киреев И. Р. Повышение безопасности при эксплуатации установки регенерации отработанной серной кислоты нефтеперерабатывающего завода // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. 2016. №2. С. 55-57.

6 Ветошкин А. Г. Процессы инженерной защиты окружающей среды (теоретические основы): учеб. пособие. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. 325 с.

7 Ужов В. Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами. М.: Химия, 1967. 344 с.

8 Николаев М. Ю., Есимов А. М., Леонов В. В. Электрофильтры: принцип работы и основные достоинства // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. ХLI междунар. науч.-практ. конф. 2014. №12. С. 59-66.

9 Санаев Ю. И. Обеспыливание газов электрофильтрами. Семибратово: Кондор-Эко, 2009. 163 с.

## References

- 1 Barakhnina V. B., Gabdulkhakova R.V., Sajfullina A. Sh., Khasanova A. F., Kireev I. R. Sistema okhrany okruzhayushchey sredy na ufimskom neftepererabatyvayushchem zavode // Ekspertiza promyshlennoy bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh obektov. 2016. №1. S. 19-22. [in Russian].
- 2 Farrakhova A. T., Barakhnina V. B. Povyshenie promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti na obektakh neftepererabatyvayushchey i neftekhimicheskoy promyshlennosti // Ekologicheskiy vestnik Rossii. 2016. №3. S. 25-28. [in Russian].
- 3 Kireev I. R., Gaysina I. I., Barakhnina V. B., Abdrakhmanov N. Kh. Povyshenie promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti pri ekspluatatsii ustanovki sernokislotnogo alkilirovaniya // Neftegazovoe delo. 2016. T. 14. №4. S. 190–194. [in Russian].
- 4 Farrakhova A.T., Barakhnina V.B., Sajfullina A.Sh. Voprosy obespecheniya bezopasnosti pri ekspluatatsii ustanovki regeneratsii otrabotannoy sernoy kisloty neftepererabatyvayushchego zavoda // Ekologicheskiy vestnik Rossii. 2016. №8. S. 32–34. [in Russian].
- 5 Farrakhova A.T., Barakhnina V.B., Kireev I.R. Povyshenie bezopasnosti pri ekspluatatsii ustanovki regeneratsii otrabotannoy sernoy kisloty neftepererabatyvayushchego zavoda // Ekspertiza promyshlennoy bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh obektov. 2016. №2. S. 55–57. [in Russian].
- 6 Vetoshkin A.G. Protsessy inzhenernoy zashchity okruzhayushchey sredy (teoreticheskie osnovy): ucheb. posobie. Penza: Izd-vo Penz. state University, 2004. 325 s. [in Russian].
- 7 Uzhov V.N. Ochistka promyshlennykh gazov elektrofiltrami. Moscow: Khimiya, 1967. 344 s. [in Russian].

8 Nikolaev M.Yu, Yessimov A.M., Leonov V.V. Elektrofiltry: printsip raboty i osnovnye dostoinstva // Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike: sb. st.po mater. XLI mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2014. №12. S. 59–66. [in Russian].

9 Sanaev Yu.I. Obespylivanie gazov elektrofiltrami. Semibratovo: Kondor-Eco, 2009. 163 s. [in Russian].

### **Сведения об авторах**

#### **About the authors**

Фаррахова А. Т., магистрант гр. МБП-15, ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

A. T. Farrakhova, Master Student of Group MBP-15 of FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: alfirafar@mail.ru

Барахнина В. Б., канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

V. B. Barakhnina, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor and Head of the Chair «Industrial Safety and Labor Protection», FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: verarosental@rambler.ru