

УДК 628.5

UDC 628.5

05.00.00 Технические науки

Technical Sciences

**СНИЖЕНИЕ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ПУТЕМ
ВКЛЮЧЕНИЯ ЦИКЛОНА В
ЗОЛОУЛАВЛИВАЮЩУЮ УСТАНОВКУ
НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС**

**DECREASE IN DUST EMISSIONS BY ADDING
CYCLONES IN THE CATCHING ASH DEVICE
AT NOVOCHERKASSK HYDRO POWER
PLANT**

Короткова Татьяна Германовна
д.т.н., профессор, SPIN-код: 3212-7120
*Кубанский государственный технологический
университет, г.Краснодар, Россия*

Korotkova Tatyana Germanovna
Doct.Tech.Sci., professor
*Kuban State Technological University, Krasnodar,
Russia*

Бушумов Святослав Андреевич
магистрант
*Кубанский государственный технологический
университет, г.Краснодар, Россия*

Bushumov Svjatoslav Andreevich
undergraduate
*Kuban State Technological University, Krasnodar,
Russia*

Данильченко Александра Сергеевна
ассистент, SPIN-код: 1470-5800
*Кубанский государственный технологический
университет, г.Краснодар, Россия*

Danilchenko Aleksandra Sergeevna
assistant
*Kuban State Technological University, Krasnodar,
Russia*

Сиюхов Хазрет Русланович
д.т.н., зав. кафедрой, SPIN-код: 4403-3558
*Майкопский государственный технологический
университет, г.Майкоп, Россия*

Sijuhov Hazret Ruslanovich
Doct.Tech.Sci., Head of Department
*Maikop State Technological University, Maikop,
Russia*

Устюжанинова Таисия Аркадьевна
к.т.н., доцент, SPIN-код: 4513-4921
*Майкопский государственный технологический
университет, г.Майкоп, Россия*

Ustjuzhaninova Taisija Arkadyevna
Cand.Tech.Sci., assistant professor
*Maikop State Technological University, Maikop,
Russia*

После силоса золы, уловленной электрофильтром, внедрен батарейный циклон НИИОГАЗа ЦН-15-500 для предварительной очистки отходящих газов от золошлака, образующегося в результате технологического процесса сжигания твердого топлива (днепровского угля АШ) в котлоагрегатах Новочеркасской ГРЭС. Выполнено в производственных условиях Новочеркасской ГРЭС обследование циклона, включающего 4 цилиндрических циклонных элемента диаметрами 500 мм, и определена его действительная эффективность, которая составила 91 %. После циклона газ поступает в два рукавных фильтра ФРКИ-90К-ПЗ-2-2, предназначенных для улавливания твердых золовых остатков и установленных над силосами сухой золы. Фильтры изготовлены в климатическом исполнении УХЛ (умеренный и холодный климат) с категорией размещения 4. Приведена характеристика и результаты испытаний рукавных фильтров ФРКИ-90К-ПЗ-2-2 до и после включения циклона в систему очистки. Выполнен анализ состава золошлака и проведено его сравнение с литературными данными. Экспериментально доказано, что включение циклона ЦН-15-500 в технологическую схему очистки отводящих газов

After silage of ash captured by the electrostatic precipitator, we installed the cyclone of NIIOGAZ CN-15-500 for exhaust gas pre-treatment of the ash resulting from the process of burning solid fuels (coal of Donetsk) in boilers of Novocherkassk hydro power plant. The plant cyclone examination was performed in a production environment of Novocherkassk hydro power station comprising 4 cylindrical cyclone element diameters of 500 mm, and is defined by its real effectiveness, which amounted to 91%. After the cyclone, the gas enters the two-bag filter FRKI-90K-P3-2-2 designed to trap solid ash residues and installed over the silo dry ash. Filters are manufactured in climatic design for temperate and cold climate with the accommodation category 4. The article shows the characteristic of the test results and bag filters FRKI-90K-P3-2-2 before and after the cyclone in the cleaning system. The work presents the analysis of the composition of the ash and compares it with published data. It is experimentally proved that the inclusion of Cyclone CN-15-500 in the process diverting gas purification scheme allowed more efficient operation of fabric filters, reducing the dust significantly for the input gases

позволило обеспечить более эффективную работу рукавных фильтров, снизив запыленность входных газов на порядок

Ключевые слова: ПЫЛЕВЫЕ ВЫБРОСЫ, ЦИКЛОН, РУКАВНЫЙ ФИЛЬТР, ЗОЛОШЛАК, СХЕМА ОЧИСТКИ ОТВОДЯЩИХ ГАЗОВ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЫЛЕОЧИСТКИ

Keywords: DUST EMISSIONS, CYCLONES, BAG FILTERS, ASH SLAG, SCHEME FLUE GAS CLEANING, DUST CLEANING EFFICIENCY

В результате технологического процесса сжигания твердого топлива в котлоагрегатах ПАО «ОГК-2» Новочеркасской ГРЭС образуется золошлак. Используется уголь донецкий антрацитовый штыб (АШ). После сжигания сухая зола осаждается в электрофильтре и с помощью воздуха от установленных в отдельном помещении компрессоров пневмонасосами прокачивается по трубопроводу в бункера (силосы - 2 шт.). В результате прокачивания с воздухом движутся различные по дисперсности частицы золы, часть из которых им уносится в транспортную сеть. Поэтому перед выбросом в атмосферу запыленный воздух необходимо очищать.

Уровень улавливания вредных веществ на предприятиях энергетики составляет около 84 % [1].

На золоулавливающих установках филиала ПАО «ОГК-2» Новочеркасской ГРЭС установлены два рукавных фильтра ФРКИ-90К-ПЗ-2-2 для улавливания твердых золовых остатков (рисунок 1). ФРКИ-90К-ПЗ-2-2 – фильтр (Ф) рукавный (Р) каркасный (К) импульсный (И) с площадью фильтрования 90 м² с кассетным исполнением (К) фильтровальных рукавов, с тремя пирамидальными (П) бункерами, длиной рукавов 2 м (2) и подводом очищаемого газа в корпус сбоку (2).

Эти фильтры предназначены для высокоэффективной очистки запыленных газов, не являющихся токсичными, агрессивными, пожаро- и взрывоопасными, с максимальной температурой не более 130-200 °С, работают в стационарном потоке газа, который поддерживается пневмонасосами, чтобы преодолеть повышенное падение давления на фильтре [2-4]. Производительность рукавных фильтров зависит от

температуры, точки росы и влаги в топочном газе, характеристики распределения частиц по размеру, химического состава пыли и рабочего давления в системе [2, 5].



Рисунок 1 – Рукавный фильтр ФРКИ-90К-ПЗ-2-2 (верхняя часть)
на ПАО «ОГК-2» Новочеркасской ГРЭС

Фильтры ФРКИ удовлетворяют требованиям безопасности, предъявляемым к производственному оборудованию по межгосударственному стандарту ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности». Фильтры изготовлены в климатическом исполнении УХЛ (для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом) с категорией размещения 4 в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды».

Согласно графику проведения испытаний золоулавливающих установок в августе 2015 г. персоналом ООО «АЛК» в лице Бушумова С.А.

были выполнены испытания рукавных фильтров ФРКИ-90К-ПЗ-2-2, установленных на складе сухой золы для улавливания твердых золовых остатков над силосами сухой золы. На каждом силосе золы установлен один рукавный фильтр. Характеристика фильтров и результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристика и результаты испытаний рукавных фильтров ФРКИ-90К-ПЗ-2-2 до включения циклона в систему очистки

Наименование	Единицы измерений	Проектные данные	Фактические данные	
			Фильтр №1	Фильтр №2
Количество секций	шт.	3	3	3
Количество рукавов	шт.	108	108	108
Поверхность фильтрования	м ²	146	146	146
Диаметр рукава	мм	215	215	215
Высота рукава	мм	2000	2000	2000
Количество ЭМ клапанов	шт.	18	18	18
Рабочее разрежение в аппарате	мм вод. ст.	500	-	-
Разрежение перед фильтром	мм вод. ст.	500	470	460
Разрежение после фильтра	мм вод. ст.	500	350	340
Температура очищаемого газа	°С	+5 до +40	27	27
Входная запыленность перед рукавами фильтра	г/м ³	100	155,87	161,15
Выходная запыленность	г/м ³	-	0,97	0,72
Производительность при удельной нагрузке	м ³ /ч	10000	6485	6741
Степень очистки газа не менее	%	99	99,38	99,55
Гидравлическое сопротивление установки	мм вод. ст.	120-200	120	120
Давление воздуха на генерацию (продувка)	атм	3-6	2,1	2,3
Расход воздуха на генерацию	м ³ /ч	30	18	22

В отечественной промышленности наибольшее применение на I ступени очистки получили механические золоуловители, действующие на принципе использования центробежных сил, в которых осаждение происходит при вращательном движении потока. На II ступени очистки используют матерчатые фильтры с цилиндрической формой расположения фильтровального материала – рукавные фильтры. Отечественные фильтры типа ФРКИ нашли применение почти во всех отраслях промышленности.

Предложено предварительно провести грубую очистку с помощью группового циклона конструкции НИИОГАЗ ЦН-15-500, состоящего из 4-х циклонных аппаратов диаметром 500 мм. Эти циклоны применяются при следующих технологических процессах: сушка, обжиг, агломерация, сжигание топлива и т.д. Циклоны небольшого диаметра (0,23-0,50 м) объединяют в группы и называют групповыми.

Расчет циклона проведен методом последовательных приближений по методике [6] для расхода запыленного газа $6600 \text{ м}^3/\text{ч}$ с входной запыленностью $158 \text{ г}/\text{м}^3$, медианным размером частиц 10 мкм и скоростью запыленного газа при поступлении в циклон 9,2 м/с. Под действием центробежной и гравитационной сил частицы золы оседают на внутренних стенках корпуса циклона с дальнейшим осаждением в бункере. Расчетное значение эффективности циклона составило 91 % [7].

После монтажа установки и включения циклона ЦН-15-500 (рисунки 2 и 3) в технологическую схему пылегазовой очистки были проведены испытания системы на входе и выходе из рукавных фильтров. Входная запыленность замерялась в подводящем воздуховоде перед бункером пыли под рукавами, после циклона. Выходная запыленность замерялась после рукавных фильтров. Отбор проб выполнен пылезаборной трубкой нулевого типа. Проведение замеров на источниках выброса дымовых газов за дымососами энергоблоков и определение запыленности дымовых газов на входе в фильтр автором Бушумовым С.А. приведено на рисунках 5 и 6.



Рисунок 2 – Групповой циклон ЦН-15-500-4 на ПАО «ОГК-2» Новочеркасской ГРЭС



Рисунок 3 – Вид сверху: силос (снизу), циклон (сверху)



Рисунок 4 – Отвод дымовых газов, очистка на электрофильтрах



автор Бушумов С.А.

Рисунок 5 – Проведение замеров на источниках выброса дымовых газов за дымососами энергоблоков

Рисунок 6 – Определение запыленности дымовых газов на входе в рукавный фильтр

Таблица 2 – Характеристики и результаты испытаний рукавных фильтров ФРКИ-90К-ПЗ-2-2 после включения циклона в систему очистки

Наименование	Единицы измерений	Проектные данные	Фактические данные	
			Фильтр №1	Фильтр №2
Количество секций	шт.	3	3	3
Количество рукавов	шт.	108	108	108
Поверхность фильтрования	м ²	146	146	146
Диаметр рукава	мм	215	215	215
Высота рукава	мм	2000	2000	2000
Количество ЭМ клапанов	шт.	18	18	18
Рабочее разрежение в аппарате	мм вод. ст.	500	-	-

Продолжение таблицы 2

Разрежение перед фильтром	мм вод. ст.	500	360	350
Разрежение после фильтра	мм вод. ст.	500	470	460
Температура очищаемого газа	°С	+5 до +40	30	30
Входная запыленность перед рукавами фильтра	г/м ³	10	14,32	14,58
Выходная запыленность	г/м ³	-	0,08	0,06
Производительность при удельной нагрузке	м ³ /ч	10000	6534	6694
Степень очистки газа не менее	%	99	99,44	99,59
Гидравлическое сопротивление установки	мм вод. ст.	120-200	120	120
Давление воздуха на генерацию фильтра (продувка)	атм	3-6	3,2	3,4
Расход воздуха на генерацию фильтра (продувка)	м ³ /ч	30	24	28

Выводы. После сжигания твердого топлива на Новочеркасской ГРЭС образуется сухая зола, которая осаждается на электроfiltре (рисунок 4). В результате ее прокачивания пневмонасосами с воздухом уносятся различные по дисперсности частицы золы. Выполненный анализ состава золы показывает ее сопоставимость с составами, приведенными в литературных источниках. Зола можно использовать в производстве бетонов, растворов, изоляционных материалов, в дорожно-строительных работах и т.д.

Для снижения пылевых выбросов в технологическую схему очистки отводящих газов в качестве I ступени очистки включен циклон ЦН-15-500. Это позволило снизить пылевую нагрузку на рукавные фильтры ФРКИ-90К-ПЗ-2-2, являющиеся II ступенью очистки. Средние и крупные частицы под действием центробежной силы оседают в циклоне. Использование импульсной продувки в этих фильтрах является наиболее эффективным способом регенерации фильтровального материала. Несмотря на то, что

рукавные фильтры получили широкое распространение во всех отраслях, как отечественной промышленности, так и за рубежом к их недостаткам относится небольшая поверхность фильтрования, приходящаяся на единицу объема рабочей камеры фильтра. Снижение пылевой нагрузки позволило обеспечить более эффективную работу рукавных фильтров за счет использования поверхности фильтрования в большей степени для улавливания мелких частиц. Результаты измерений запыленности до и после внедрения циклона показали повышение эффективности технологической схемы очистки отводящих газов.

Таким образом, установлено, что включение в технологическую схему очистки отводящих газов циклонов ЦН-15-500 позволило обеспечить более эффективную работу рукавных фильтров ФРКИ-90К-ПЗ-2-2, снизив запыленность входных газов на порядок, и уменьшив тем самым запыленность на выходе из фильтров до уровня 60 мг/м^3 .

Список литературы

1. Брюхань Ф.Ф., Графкина М.В., Сдобнякова Е.Е. Промышленная экология: учебник/Ф.Ф. Брюхань, М.В. Графкина, Е.Е. Сдобнякова. – М.: ФОРУМ, 2011. 208 с.
2. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др.; Под общ. ред. А.А. Русанова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.
3. Mусock JC, McKenna JD, Theodore L. Handbook of air pollution control engineering and technology. New York: Lewis Publishers; 1995.
4. Saleem M, Krammer G. Effect of filtration velocity and dust concentration on cake formation and filter operation in a pilot scale jet pulsed bag filter. J Hazard Mater 2007;144:677–81.
5. Ray ТК. Air pollution control in industries - theory, selection & design of air pollution control equipment, vol. 1. New Delhi: TechBooks International; 2004.
6. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки: учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. 210 с.
7. Короткова Т.Г., Бушумов С.А. Расчет циклона ЦН-15 для предварительной очистки отходящих газов от золошлака при сжигании угля в котлоагрегатах ГРЭС [Электронный ресурс] // Научные труды КубГТУ: электрон. сетевой политематич. журн. 2016. № 6. С. 73-82. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1006> (дата обращения: 10.06.2016).

References

1. Brjuhan' F.F., Grafkina M.V., Sdobnjakova E.E. Promyshlennaja jekologija: uchebnik/F.F. Brjuhan', M.V. Grafkina, E.E. Sdobnjakova .– M.: FORUM, 2011. 208 s.
2. Spravochnik po pyle- i zoloulavlivaniju / M.I. Birger, A.Ju. Val'dberg, B.I. Mjagkov i dr.; Pod obshh. red. A.A. Rusanova. - 2-e izd., pererab. i dop. - M.: Jenergoatomizdat, 1983. 312 s.
3. Mycock JC, McKenna JD, Theodore L. Handbook of air pollution control engineering and technology. New York: Lewis Publishers; 1995.
4. Saleem M, Krammer G. Effect of filtration velocity and dust concentration on cake formation and filter operation in a pilot scale jet pulsed bag filter. J Hazard Mater 2007;144:677–81.
5. Ray TK. Air pollution control in industries - theory, selection & design of air pollution control equipment, vol. 1. New Delhi: TechBooks International; 2004.
6. Vetoshkin A.G. Processy i apparaty pyleochistki: ucheb. posobie. – Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2005. 210 s.
7. Korotkova T.G., Bushumov S.A. Raschet ciklona CN-15 dlja predvaritel'noj ochistki othodjashhij gazov ot zoloshlaka pri szhiganii uglja v kotloagregatah GRJeS [Jelektronnyj resurs] // Nauchnye trudy KubGTU: jelektron. setevoj politematich. zhurn. 2016. № 6. S. 73-82. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1006> (data obrashhenija: 10.06.2016).