

ИННОВАЦИОННЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Чекалов Л. В., д-р техн. наук, зам. генерального директора,
АО «Кондор-Эко»,

Смирнов М. Е., канд. техн. наук, исполнительный директор,
АО «Кондор-Эко»,

генеральный директор, ЗАО «СФ НИИОГАЗ»,

Гузаев В. А., канд. техн. наук, советник генерального директора по науке,
АО «Кондор-Эко»

Для решения задач по снижению выбросов золы на угольных станциях созданы инновационные отечественные высокоэффективные электрофильтры типа ЭГАВ. Новые электрофильтры обеспечили в тех же габаритах корпуса повышение эффективности очистки до 99,87 % и снижение выбросов до 16 раз при фактических выбросах от 12,6 до 119 мг/нм³. Технические решения по интенсификации процесса электрической очистки, реализованные в электрофильтрах ЭГАВ, позволили повысить скорость дрейфа частиц к осадительному электроду до 79,7 %. Применение новых электрофильтров типа ЭГАВ для решения проблемы очистки дымовых газов от высокоомной золы обеспечило требуемые выбросы при модернизации действующих электрофильтров. Инновационные электрофильтры предлагается использовать для снижения выбросов в теплоэнергетике на стадиях нового строительства, реконструкции или модернизации.

Ключевые слова: электрофильтр, габариты, скорость дрейфа, выбросы золы.

INNOVATIVE DOMESTIC ELECTRICAL FILTERS FOR THERMAL POWER PLANTS

Chekalov L. V., doctor of technical sciences, deputy general director,
JSC "Condor-Eco",

Smirnov M. E., candidate of technical sciences, executive director,
JSC "Condor-Eco",

general director, JSC "SF NIIOGAZ",

Guzaev V. A., candidate of technical sciences, advisor to the general director for science,
JSC "Condor-Eco"

With the purpose to solve issues of ash emission reduction at coal power plants, innovative domestic high efficiency electrical filters of EGAV type were created. New electrical filters provided the treatment efficiency increase to 99.87 % and 16-fold emission decrease at actual emission from 12.6 mg/nm³ to 119 mg/nm³ within

the same vessel dimensions. Technical solutions for electrical treatment process intensification, implemented in EGAV type electrical filters, allowed increasing the rate of particle drift to the collecting electrode to 79.7%. The use of new EGAV type electrical filters for solving the issue of vent gas treatment from high-ohmic ash provided the required emission at modernization of the currently operating electrical filters. It is suggested to use the new electrical filters for emission reduction in heat power industry at stages of new construction, reconstruction, or modernization.

Keywords: *electrical filter, dimensions, drift rate, ash emission.*

Очистка дымовых газов от твердых частиц золы является одной из приоритетных задач национальной проекта «Экология» в части Федеральных проектов «Чистый воздух» и «Внедрение наилучших доступных технологий».

Потребность теплоэлектростанций в твердом угольном топливе составляет в пределах 23–25% и не меняется в течение последнего десятилетия. В России на сегодняшний день работают порядка 600 энергоблоков, использующих в качестве основного топлива уголь. Доля валовых выбросов за последние 10–15 лет снизилась всего лишь на 30%, что свидетельствует о необходимости реконструкции (до 95%) очистных сооружений тепловых электростанций (ТЭС). То есть имеет место сохранение уровня выбросов золы в пределах 0,6 млн т в год. При этом до 70% выбросов золы осуществляется крупными угольными станциями. Так, Рефтинская ГРЭС выбрасывает в год свыше 70 тыс. т золы, что составляет около 12% от всех выбросов ТЭС. Диапазон фактических выбросов золы при сжигании твердого топлива (табл. 1) показывает, что для установок очистки дымовых газов, эксплуатируемых с 2001 г., фактический уровень выбросов золы составляет 150–400 мг/нм³, а уровень 200–250 мг/нм³ закреплен в информационном техническом справочнике по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ 38-2017. Еще более повышенный уровень выбросов разрешен для установок, введенных в эксплуатацию до 1981 г. и до 2000 г. То есть требования по выбросам действу-

ющего ГОСТ Р 50831-93 (табл. 1) к работающим в настоящее время установками не обеспечиваются или обеспечиваются на предельном уровне. По нормативам выбросов, в странах ЕС действует директива Евросоюза, которая обязывает обеспечить эффективность фильтрации на электрических станциях с остаточной запыленностью не выше 20 мг/нм³. Это более чем в 10 раз меньше фактического уровня выбросов ТЭС в России.

Согласно рекомендациям (ГОСТ Р 54204-2010) по применению передовых технологий для обеспыливания уходящих газов на крупных ТЭС, сжигающих каменные и бурые угли, уровень выбросов пыли как для проектируемых предприятий, так и для действующих установлен в пределах 5–30 мг/нм³, а эффективность очистки должна составлять от 99,5 до 99,95% для электрофильтров и от 99,95 до 99,99% – для рукавных фильтров. В качестве основных технологий рекомендуется использовать электрофильтры и рукавные фильтры.

По статистике 2015 г., на ТЭС в России установлено около 190 электрофильтров, или около 20% от всех электрофильтров, работающих в России в различных отраслях промышленности, и 5 рукавных фильтров (0,5% от всех). Для сравнения в ЕС доля рукавных фильтров на ТЭС составляет 40%, а 60% приходится на электрофильтры. При этом доля рукавных фильтров на ТЭС в ЕС растет из-за применения более дешевого фильтровального материала и удорожания стоимости стали.

Фактический уровень и требования к выбросам золы на ТЭС России, рекомендации при применении передовых технологий очистки

| Тепловая мощность котлов, МВт | Диапазон фактических выбросов (требование ИТС НДТ 38-2017), мг/нм ³ при O ₂ = 6 % | | | ГОСТ Р 50831-93, ГОУ* введены до 31.12.2001 (с 01.01.2001), мг/нм ³ | Рекомендации по применению НДТ для обеспыливания уходящих газов на крупных ТЭС, сжигающих угли (ГОСТ Р 53204-2010) | | | |
|----------------------------------|---|--------------------------|-------------------------|--|--|------|---|--|
| | ГОУ*, введены до 1981 г. | ГОУ*, введены до 2000 г. | ГОУ*, введены с 2001 г. | | уровень выбросов пыли, мг/нм ³ | | эффективность очистки, % | |
| | | | | | предприятия | | предприятия | |
| | проектируемые | действующие | каменные и бурые | | бурые, низкокалорийные | | | |
| 50–100 | 1500–2000 (1200) | 600–1300 (1000) | 250–450 (250) | 150–500 (150–250) | 5–20 | 5–30 | Электро-фильтр, ≥99,5%. Рукавный фильтр, ≥99,95% | Электро-фильтр, ≥99,95%. Рукавный фильтр, ≥99,99% |
| 100–300 | 1400–2000 (1200) | 400–1300 (900) | 200–400 (250) | | 5–20 | 5–25 | | |
| Более 300 | 1300–2000 (1200) | 300–1400 (300) | 150–350 (200) | 100–400 (50–150) | 5–10 | 5–20 | | |

В таблице 1: ГОУ* – газоочистные установки.

Для отечественной теплоэнергетики также были попытки использования рукавного фильтра. В России для угольных ТЭС имеется типоразмерный ряд рукавных фильтров с обратной продувкой. Однако отечественные рукавные фильтры на ТЭС не устанавливались. В настоящее время рукавные фильтры зарубежного производства эксплуатируются на 2 отечественных тепловых электростанциях: Рефтинская ГРЭС – на бл. 4 и 5 (300 МВт) фирмы «Альстом» и на бл. 7 (500 МВт) фирмы «Клайд Бергеманн», а также на котле 150 МВт бл. 9 Омской ТЭЦ-5 установлен рукавный фильтр фирмы «Люхр Фильтр».

Таким образом, для очистки больших объемов дымовых газов наибольшее распространение в отечественной теплоэнергетике получил электрофильтр. В ИТС НДТ 38-2017 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии» также предложено использовать в качестве НДТ для очистки дымовых газов электрофильтры.

К настоящему времени технология электрической очистки получила наибольшее научно-техническое развитие, что позволило создать производство новых высокоэффективных отечественных электрофильтров типа ЭГАВ, которые работают с эффективностью, достаточной для удовлетворения требований НДТ и ГОСТ.

Технология базируется на результатах научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ по следующим направлениям [1–6]:

- 1) по интенсификации процессов электрической очистки;
- 2) по конструктивному оформлению и производству элементов конструкции электрофильтра, созданных для реализации технологий по интенсификации электрической очистки;
- 3) по совершенствованию процессов, улучшающих электрическую очистку.

Учитывая, что в пластинчатом электрофильтре эффективность очистки зависит

не только от времени пребывания газов, определяемого габаритами электрофильтра, но и от скорости дрейфа частиц по формуле (вариант формулы Дейча-Уайта [7]):

$$\eta = 1 - \exp(-w \cdot t_{np}/h_0), \quad (1)$$

где η – эффективность очистки;
 w – скорость дрейфа частиц к осадительному электроду;

t_{np} – время пребывания газов в активной зоне;

h_0 – расстояние между коронирующим и осадительным электродами, повышение эффективности электрофильтра можно осуществить не только увеличивая время пребывания в активной зоне путем возрастания габаритов, но и интенсифицируя процесс электрической очистки путем повышения скорости дрейфа.

Таблица 2

Основные технические предложения по повышению эффективности электрофильтров ТЭС

| № п/п | Техническое предложение | Реализация, патенты, год внедрения технического предложения | Параметры эффективности электрофильтра | |
|-----------------|---|--|--|-------------------|
| | | | увеличение скорости дрейфа | снижение выбросов |
| 1 | Снижение напряжения зажигания коронного разряда | Выполнение элемента коронирующего электрода с минимальным радиусом кривизны, RU 2229939 [8], RU 2448779 [9] с 2004 г. | до 20 % | в 2,2 раза |
| 2 | Повышение пробивного напряжения | 2.1. Новая технология изготовления элементов осадительного электрода, RU 2377071 [10] с 2006 г. и RU 2729817 [11] с 2020 г. | до 10 % | в 1,5 раза |
| | | 2.2. Оптимальное размещение элементов электродных систем с обеспечением минимального расстояния до плоской части профиля элемента осадительного электрода, RU 2655691 [12] с 2018 г. | до 10 % | в 1,5 раза |
| 3 | Снижение полуволновых зон | Выполнение коронирующего электрода с минимальным количеством мест стыков отдельных рам по высоте, RU 2694661 [13] с 2019 г. | до 12,5 % | в 1,64 раза |
| 4 | Новый алгоритм питания электрофильтра | Для электрофильтров, в т. ч. улавливающих золу с высоким УЭС, с 2019 г. | до 10 % | в 1,5 раза |
| Всего по п. 1–4 | | | до 79,7 % | в 12,2 раза |
| 5 | Увеличение активного объема электрофильтра «в плане» (по высоте электрофильтра) | 5.1. Внедрены конструкции с увеличением активной высоты электродов на 25 % (с 12 до 15 м), RU 2377071 [10] с 2013 г. | – | в 2,6 раза |
| | | 5.2. Внедрены конструкции с увеличением активной длины полей на 16,6 % (с 3,84 до 4,48 м), RU 2211094 [14] с 2003 г. и RU 2655691 [12] с 2018 г. | – | в 1,9 раза |
| Всего по п. 5 | | | – | в 5,0 раз |

В табл. 2 представлены основные технические решения по повышению эффективности работы электрофильтров ТЭС, осуществленные с 2004 г., позволившие снизить выбросы из электрофильтра до 10 раз и более без увеличения капитальных затрат и габаритов электрофильтра. В табл. 2 основные технические решения обеспечивают снижение выбросов путем повышения скорости дрейфа частиц.

Анализ табл. 2 показывает, что новые (защищенные патентами Российской Федерации) технические решения по отдельным узлам и сборочным единицам электрофильтров (табл. 2, поз. 1–4) позволяют в тех же габаритах снизить вы-

бросы в 12,2 раза, а увеличение активного объема или габаритов электрофильтра с электродными системами до 15 м (табл. 2, поз. 5) позволяет решать вопросы снижения выбросов близко к нижним значениям требований по выбросам (5 мг/нм³).

Результаты практического внедрения электрофильтров с новыми техническими решениями в промышленных газоочистных установках (ГОУ) позволили убедиться в их эффективности по снижению выбросов твердых частиц (табл. 3). В том числе была решена проблема с очисткой промышленных выбросов с высоким, более 108 Ом·м, удельным электрическим сопротивлением (УЭС) улав-

Таблица 3

Эффективность очистки газов электрофильтрами АО «Кондор-Эко» в теплоэнергетике

| Наименование объекта реконструкции или строительства | Тип электрофильтра H_0 , мм | Объем очищаемого газа, м ³ /ч | Эффективность, %/выход. запыленность, г/нм ³ до реконструкции | Эффективность, %/выход. Запыленность, г/нм ³ после реконструкции | Снижение выбросов |
|--|-------------------------------|--|--|---|-------------------|
| Омская ТЭЦ-5 | ЭГБМ, 350 | 612 000 | 97,9/1,47 | 99,83/0,119 (2009 г.) | 12,35 раза* |
| Новосибирская ТЭЦ-4 | ЭГАВ, 400 | 850 000 | 98,0/0,420 | 99,83/0,024 (2015 г.) | 11,76 раза** |
| Краснокаменская ТЭЦ | ЭГБ1М, 400 | 256 000 | 97,9/0,150 | 99,70/0,037 (2014 г.) | 7,00 раз* |
| Красноярская ТЭЦ-4 | ЭГВ, 460 | 340 000 | 99,56/0,05 | 99,7/0,041 (2012 г.) | 1,47 раза *** |
| Котельная «КрасМаш» | ЭГАВ, 400 | 520 000 | 98,7/0,052 | 99,52/0,0126 (2011 г.) | 2,71 раза*** |
| ТЭЦ «ВунгАнг» Вьетнам | ЭГАВ, 400 | 2 120 000 | 99,68/0,120 | 99,87/0,087 (2014 г.) | 2,46 раза*** |
| Ново-Иркутская ТЭЦ | ЭГБ1М, 400 | 808 000 | 97,9/0,378 | 99,87/0,022 (2015 г.) | 16,15 раза* |
| Рефтинская ГРЭС, бл. 1 | ЭГАВ, 400 | 541 000 | 97,80/1,200 | 99,62/0,234 (2018 г.) | 5,13 раза** |
| Рефтинская ГРЭС, бл. 9 | ЭГАВ, 400 | 1 595 900 | 98,60/0,854 | 99,79/0,135 (2018 г.) | 6,33 раза** |

Примечание: H_0 — межэлектродный промежуток, мм;

* – реконструкция в тех же габаритах;

** – реконструкция с увеличением габаритов;

*** – новое строительство.

ливаемых частиц (табл. 2: Омская ТЭЦ-5, Новосибирская ТЭЦ-4, Рефтинская ГРЭС). В теплоэнергетике зола с высоким УЭС образуется при сжигании экибастузского и кузнецкого углей.

Предлагаемые конструктивные решения взаимозаменяемы с конструкцией электрофильтров типа ЭГА (ЭГБ, ЭГБМ, ЭГБ1М) разработки до 2001 г. При этом масса от увеличения активного объема новых аппаратов компенсируется увеличением межэлектродного расстояния до 460...500 мм.

Таким образом, для снижения выбросов на тепловых электростанциях до 10 раз и более достаточно использовать новые, эффективные и проверенные на практике технические решения, реализованные в конструкции электрофильтров типа ЭГАВ. При реконструкции ГОУ ТЭС сохраняются существующие корпуса (при необходимости с увеличением высоты и уточнением газораспределения), фундаменты (с усилением при необходимости), а капитальные затраты на реконструкцию существенно меньше, чем на установку рукавного полноразмерного фильтра, у которого к тому же текущие затраты до 3 раз могут превосходить затраты на обслуживание электрофильтра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Чекалов Л.В.** Научные основы создания электрогазоочистного оборудования нового поколения [Текст]: автореф. докт. дисс. – М., 2007. – 40 с.
2. **Чекалов Л.В.** Анализ работы электрофильтров при высокой концентрации мелкодисперсной фазы [Текст] // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2016. – № 3. – С. 27–30.
3. **Чекалов Л.В.** Новые российские электрофильтры и модернизация действующих электрофильтров для повышения эффективности золоулавливания [Текст] / Л.В. Чекалов, В.А. Гузаев, М.Е. Смирнов, И.П. Верещагин, С.И. Хренов, К.А. Смагин, Е.М. Тимофеев // Труды Международной научно-практической конференции «Уголь Эко – 2016» (Москва, 27–28 сентября 2016 г.). – М.: Издат. дом МЭИ, 2016. – С. 139–147.
4. **Гузаев В.А.** Влияние долговечности механического оборудования на эффективность электрофильтров [Текст] // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2014. – № 7. – С. 29–31.
5. **Гузаев В.А.** Состояние и перспективы повышения надежности электрофильтров. Обзорная информация. Серия ХМ-14. Промышленная и санитарная очистка газов [Текст]. – М., ЦИНТИхимнефтемаш, 1991. – 24 с.
6. **Гузаев В.А.** Основные направления повышения долговечности электрофильтров [Текст] // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2013. – № 11. – С. 46–48.
7. Экотехника. Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов / Под ред. Л.В. Чекалова. – Ярославль: Русь, 2004. – 424 с.
8. **Патент РФ № 2229939.** Элемент коронирующего электрода электрофильтра [Текст] / Чекалов Л.В., Гузаев В.А., Курицын Н.А., Санаев Ю.И.; опубл. 10.06.2004, Бюл. № 16.
9. **Патент РФ № 2448779.** Коронирующий электрод [Текст] / Чекалов Л.В., Смирнов М.Е., Санаев Ю.И.; опубл. 27.04.2012, Бюл. № 12.
10. **Патент РФ № 2377071.** Способ изготовления элементов осадительных электродов для электрофильтра [Текст] / Чекалов Л.В., Шапошник С.А.; опубл. 27.12.2009, Бюл. № 36.
11. **Патент РФ № 2729817.** Способ изготовления осадительных электродов электрофильтра [Текст] / Чекалов Л.В., Гузаев В.А., Чекалов И.Л., Власов Д.Н., Смирнов П.М.; опубл. 12.08.2020, Бюл. № 23.
12. **Патент РФ № 2655691.** Электрофильтр [Текст] / Чекалов Л.В., Гузаев В.А., Копансков М.А.; опубл. 29.05.2018, Бюл. № 16.
13. **Патент РФ № 2694661.** Электрофильтр [Текст] / Чекалов Л.В., Гузаев В.А., Смирнов М.Е.; опубл. 16.07.2019, Бюл. № 20.
14. **Патент РФ № 2211094.** Электрофильтр [Текст] / Чекалов Л.В., Гузаев В.А.; опубл. 27.08.2003, Бюл. № 24.

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты podpiska@panor.ru или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).