

## Повышение эффективности электрофильтров тепловых электростанций путём совершенствования осадительных электродов

- Чекалов Л. В., доктор техн. наук, АО “Кондор – Эко”, Ярославская обл., п. Семибратово
- Гузаев В. А.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, АО “Кондор – Эко”, Ярославская обл., п. Семибратово
- Смирнов М. Е., канд. техн. наук, АО “Кондор – Эко”, Ярославская обл., п. Семибратово

Повышение эффективности электрофильтров тепловых электростанций может достигаться увеличением активного объёма электрофильтра за счёт повышения высоты электродных систем до 15 – 18 м. С увеличением высоты возрастают отклонения поверхности осадительного электрода от плоскости до 22,5 мм, что приводит к повышению выбросов до 3 раз и более. Проведённые исследования позволили установить, что для электродов отечественных электрофильтров причинами отклонений являются технология профилирования элементов осадительного электрода, способ сборки элементов между собой по высоте, симметричность поперечного сечения элемента относительно центра тяжести и способ крепления элементов с балкой встряхивания. По результатам анализа факторов, влияющих на плоскостность осадительных электродов, стендового и промышленного опробования разработан осадительный электрод с минимальными отклонениями поверхности от плоскости. Промышленное применение осадительного электрода, созданного с применением инновационной технологии изготовления, включающей профилирование элементов осадительного электрода и сборку в электрод, позволило повысить эффективность работы электрофильтра.

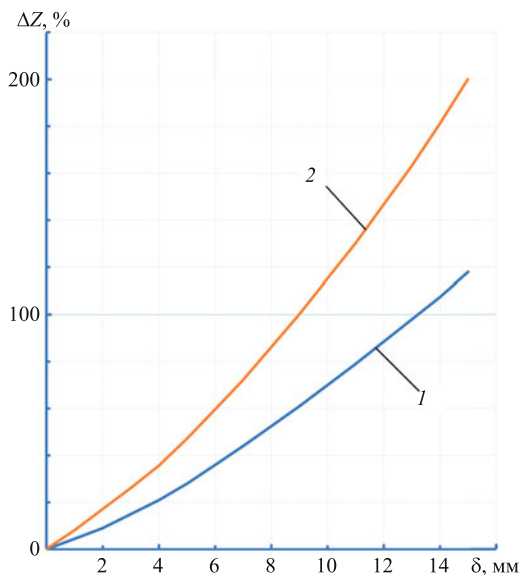
**Ключевые слова:** электрофильтр, осадительный электрод, элемент, отклонение поверхности, выбросы.

Электрофильтры состоят из коронирующих и осадительных электродов и их механизмов встряхивания. В электрофильтрах электроды сгруппированы поочерёдно, т.е. коронирующие электроды выполняются между осадительными электродами с постоянным расстоянием между собой и между осадительными электродами. По ходу пылегазового потока несколько электрических полей, как правило, располагаются последовательно. Каждое отдельное электрическое поле снабжено агрегатом питания для создания в пространстве между коронирующими и осадительными электродами коронного разряда. Под действием коронного разряда твёрдые частицы золы дымового потока заряжаются, и не менее 98% из них двигаются в направлении осадительного электрода, а около 2% – в направлении коронирующих электродов, где осаждаются на поверхности элементов, из которых состоят электроды. По мере накопления слоя золы и ухудшения, в связи с этим, электрического режима осуществляют встряхивание электродов, как правило, ударным устройством, и пыль под действием динамических ускорений отделяется от элементов электродов и далее под действием силы тяже-

сти падает в бункерную часть электрофильтра и выводится из аппарата.

В настоящее время для достижения выбросов 5 – 30 мг/м<sup>3</sup> (при нормальных условиях) применяются электродные системы высотой 12 – 18 м, ранее до 12 м [1]. Увеличение высоты электродов позволяет сохранить площадку под электрофильтром, и является наиболее экономичным мероприятием, так как ударные механизмы часто остаются прежними. Однако с увеличением высоты электродов возрастают отклонения их поверхности от плоскости. Так, опыт применения конструкции осадительного электрода, состоящего из нескольких элементов, балок подвеса и встряхивания, с применением элементов СЧС-640 высотой 13,5 м, не позволил обеспечить требуемую плоскостность поверхности электрода [2]: соединение элементов между собой нарушалось, и они расходились по высоте электрода из плоскости. При этом разрядные расстояния в электрофильтре уменьшались и, соответственно, уменьшались рабочие напряжения, что приводило к снижению эффективности электрофильтра. Для обеспечения плоскостности, вместо соединения “в зацеп” элементы СЧС-640 приходилось устанавливать с зазором 5 – 8 мм и в нескольких уровнях по высоте ограничивать отклонения элементов между собой пластинами (ог-

<sup>1</sup> Гузаев Виталий Александрович: guzaev@kondor-eco.com

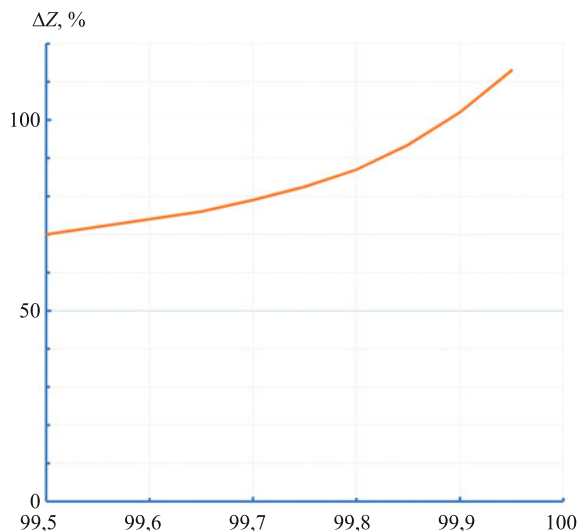


**Рис. 1.** Расчётная зависимость увеличения выбросов  $\Delta Z$  от отклонения поверхности осадительного электрода от плоскости  $\delta$  при разрядном расстоянии  $H_{\text{раз}} = 184$  мм и эффективности электрофильтра 99,5% (1) и 99,95% (2)

раничительными или фиксирующими) [2]. Но ограничительные пластины не обеспечивают достаточную плоскостность поверхности электрода, так как жёстко закреплены только на одном элементе, другой соседний элемент имеет с пластиной подвижную связь, что не позволяет на уровнях по высоте прямолинейно и параллельно расположить элементы осадительного электрода по отношению к плоскости коронирующего электрода. К тому же использование ограничительных пластин, как правило, охватывающих края сечения элемента, снижает разрядное расстояние.

В качестве альтернативы увеличения габаритов по высоте в теплоэнергетике использовались двухъярусные электрофильтры с высотой каждого яруса 9 м (в сумме 18 м). Однако масса таких аппаратов более чем на 30% превышает массу электрофильтра с 18-метровыми электродами, и к тому же возникали проблемы с размещением и обслуживанием механизмов встряхивания между ярусами и удалением пыли с верхнего яруса.

Таким образом, повышение эффективности электрофильтров за счёт увеличения высоты связано с решением ряда технических проблем. При этом, если даже в одной точке электрического поля от увеличения высоты уменьшается разрядное расстояние, то снижается эффективность электрической очистки всего поля, что в конечном итоге приводит к возрастанию выбросов. Уменьшение разрядного расстояния приводит к снижению напряжения и, как следствие, к снижению напряжённости и к её неравномерности в пространстве между электродами из-за различия расстояний от точек (игловок) коронирования коронирующего

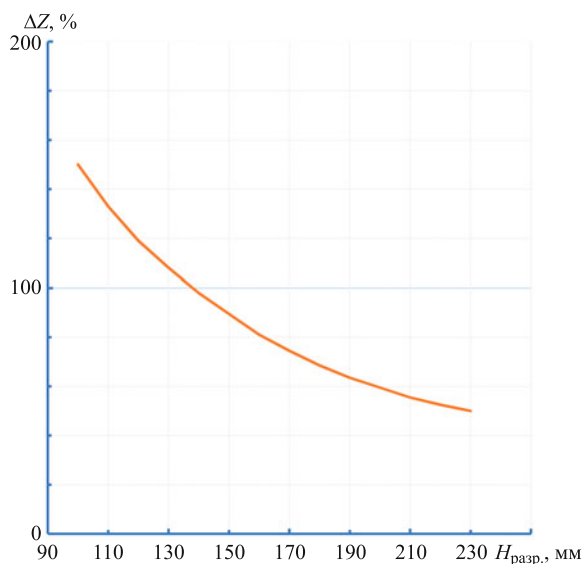


**Рис. 2.** Расчётная зависимость увеличения выбросов  $\Delta Z$  с повышением эффективности электрофильтра  $\eta$  при отклонении поверхности осадительного электрода от плоскости  $\delta = 10$  мм и разрядном расстоянии  $H_{\text{раз}} = 184$  мм

щего электрода до поверхности осадительного электрода.

На рис. 1 – 3 представлены расчётные зависимости увеличения выбросов из электрофильтра из-за снижения разрядного расстояния по причине отклонений плоскости поверхности осадительного электрода. Зависимости получены на основании допущения о пропорциональности скорости дрейфа частиц к осадительному электроду квадрату величины напряжённости электрического поля, которая определяется уровнем напряжения и разрядным расстоянием. Ранее [3] по аналогичному допущению были получены расчётные зависимости параметров работы электрофильтра (степени очистки газов и величины выходной запылённости) от расцентровки электродов электрофильтра.

Анализ зависимости (рис.1) показывает, что в диапазоне требуемой эффективности современных электрофильтров (от 99,5 до 99,95% [4]) и начальном разрядном расстоянии  $H_{\text{раз}} = 184$  мм, характерном для межэлектродного расстояния 400 мм (расстояние между одноимёнными электродами), отклонения плоскости осадительного электрода  $\delta$  приводят к повышению выбросов до 3 раз и более. При этом с повышением требований к эффективности очистки  $\eta$  (рис. 2) влияние отклонений возрастает, и выбросы повышаются, а с увеличением номинального пробивного расстояния (рис. 3) от повышения межэлектродного расстояния с 220 до 500 мм влияние отклонений на выбросы снижается. Здесь следует отметить, что известно сохранение эффективности электрофильтра при увеличении межэлектродного расстояния [1], и одна из причин сохранения эффективности связана с уменьшением влияния отклонений на



**Рис. 3. Расчётная зависимость снижения выбросов  $\Delta Z$  от увеличения разрядного расстояния  $H_{\text{раз}}$  при эффективности очистки 99,5% и отклонении поверхности осадительного электрода от плоскости  $\delta = 10$  мм**

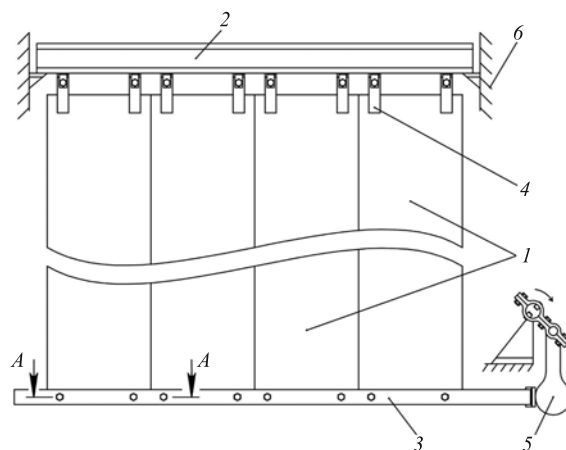
выбросы с увеличением разрядного расстояния, что и показано на рис. 3.

Таким образом, с уменьшением отклонений плоскости электродов сохраняется повышенное разрядное расстояние и, как следствие, обеспечивается повышенная эффективность электрофильтра.

Плоскостность электродов зависит от точности изготовления деталей конструкции электродов и последующей сборки деталей в электрод. Практика конструирования, изготовления и сборки коронирующих электродов состоит из максимальной готовности отдельных рам коронирующих электродов после их изготовления в заводских условиях перед финальной сборкой на монтажной площадке в электрод, и требуемый уровень плоскостности коронирующего электрода достигается сборкой отдельных рам в электрод на жёсткой ровной поверхности.

В отличие от коронирующего, сборка осадительного электрода полностью осуществляется на монтажной площадке. Для сборки одного осадительного электрода (рис. 4) используются несколько элементов осадительного электрода, балка подвеса, балка встряхивания и крепёжные изделия.

В отечественных электрофильтрах, начиная с 1980 г., применялись осадительные электроды, собранные из элементов типа СЧС-640 [5]. Основные преимущества элементов СЧС-640 состоят в увеличении длины поперечного сечения с 350 мм в электрофильтрах типа УГ до 640 мм в электрофильтрах типа ЭГА, что позволило сократить массу элементов на 25,6% для формирования необходимой площади поверхности осаждения. Средняя часть поперечного сечения элемента СЧС-640 (рис. 5, а) выполнена в виде жёсткой гофрированной



**Рис. 4. Осадительный электрод электрофильтра:**

1 – элементы осадительного электрода; 2 – балка подвеса; 3 – балка встряхивания; 4 – пластины для подвеса элементов; 5 – ударное устройство; 6 – корпус электрофильтра

ной конструкции. При жёстком закреплении элемента средней частью к полосам балки встряхивания обеспечивается более эффективная передача ударного импульса по электроду. К тому же большая часть поперечного сечения ориентируется вдоль прямолинейных полос балки встряхивания, что положительно влияет на плоскостность электрода. Эффективная передача ударного импульса создаёт условия для снижения массы ударного устройства (рис.4, поз. 5) и, как следствие, повышения долговечности электрода по критерию повторных ударов.

Элементы осадительного электрода – гнутые профили, которые изготавливают путём профилирования металлической ленты в профилигибочном стане. Учитывая, что поперечное сечение элемента СЧС-640 имеет сложный, нестандартный профиль (несколько гофр в средней части и полузамкнутые края), для профилирования этих элементов был разработан специальный стан, на котором проведены опытное профилирование, стендовое и промышленное опробования [6, 7]. На ранних этапах исследования решались вопросы сборки элементов в полотно электрода, без анализа причин отклонений поверхности элементов и электрода в целом, расхождения элементов при сборке в электрод и влияния этих процессов на эффективность электрофильтра. Этого было достаточно для прежнего уровня требований к выбросам из электрофильтров, а именно, 300 – 1400 мг/м<sup>3</sup> (при нормальных условиях) [4]. Например, монтаж собранных осадительных электродов в корпусе электрофильтра ЭГА выполнялся с допустимым перекосом плоскости от рабочего вертикального положения электрода до 5 мм [5]. При этом отклонения  $\pm 5$  мм от вертикального положения корректировались по высоте только по краям электродов с использованием шаблона [8], а отклонения внутри межэлектродного промежутка невозможно про-

контролировать и исправить, а они, как показали результаты замеров, могут в 2 – 4 раза превышать отклонения в  $\pm 5$  мм.

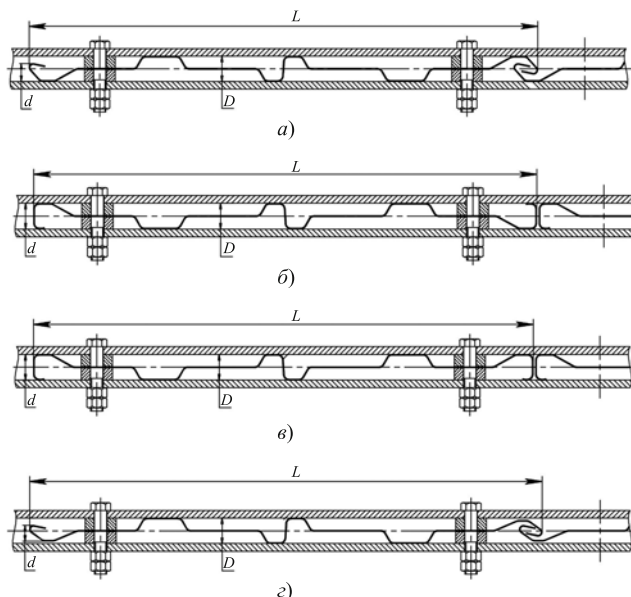
Проведённые исследования и анализ причин недостаточной плоскостности осадительного электрода позволили установить, что точность изготовления элементов, их прямолинейность и последующая их сборка и плоскостность готового электрода зависят от способа профилирования элемента. Ранее [6, 7] профилировались куски ленты, отрезанные от рулона и равные заданной длине элемента. Профилирование отрезков приводило к искажению формы поперечных сечений на концах отрезков, что является одним из наиболее характерных дефектов гнутых профилей. Причиной искажения поперечного сечения является наличие остаточных упругих деформаций на концах профилей. Для гнутых профилей известно, что отклонения размеров на концах отрезков после профилирования в 3 – 4 раза превышают допустимые отклонения [9]. Проведённые исследования показали, что отклонения от номинальных размеров на концах элементов СЧС-640 после профилирования отрезков длиной 12 м достигают 10 – 15 мм [10].

В общем случае искажение формы поперечных сечений на концах профилей не является браком, однако в случае с элементами осадительного электрода отклонения размеров на концах вызывают, как показало стендовое опробование, ещё большие отклонения поверхности электрода.

В практике изготовления гнутых профилей для уменьшения отклонений на концах профиля при профилировании отрезков используют либо увеличение числа валков профилегибочного стана на последних переходах для формирования краёв поперечного сечения, либо загиб – разгиб на последних переходах профилирования. Дополнительное число валков увеличивает затраты на процесс изготовления, а загиб – разгиб на последних переходах профилирования может привести к образованию трещин и недостаточной долговечности.

На основании анализа способов профилирования элементов осадительного электрода предложено уменьшить искажение формы концов элементов путём использования другой последовательности профилирования и отрезания металлической ленты. Если ранее при изготовлении элемента осадительного электрода от рулонной ленты отрезался кусок, равный заданной длине элемента, и производилось профилирование отрезка [6, 7], то по предлагаемому способу производится профилирование ленты, а после этого отрезается от профилированной ленты кусок заданного размера элемента [11, 12].

Для изготовления элементов осадительных электродов по разработанному техническому заданию создана автоматизированная линия холодного профилирования ЛА 65. Изготовление элементов



**Рис. 5. Типы элементов и схемы их закрепления с полосами балки встряхивания (рис. 4, сечение А – А):**

*a* – элемент СЧС-640; *б* – элемент ЭФ-640; *в* – элемент по патенту RU 134081; *г* – элемент Эко МК 4 × 160; *L* – длина сечения элемента; *D* – ширина сечения элемента; *d* – ширина краёв сечения элемента

производится из холоднокатаной рулонной стальной ленты толщиной 1,2 мм, шириной 800 мм. Наружный диаметр рулона 0,95 – 1,5 м, масса 6 – 10 т. В состав линии входят следующие основные блоки (по ходу профилирования): разматыватель рулона, стан профилегибочный, штамп отрезной. Особенностью конструкции линии ЛА 65 является пробивка пазов в элементе под крепления балки встряхивания и рез сформированного профиля в требуемый размер элемента. Это осуществляется за одно движение отрезного штампа, выполненного в виде устройства пробивки – отрезки. При этом пробивка пазов и рез предусматривает сначала пробивку пазов на переднем конце сформированного профиля (сразу после стана), а затем продолжение профилирования ленты с пазами на переднем конце и отрезка ленты в размер элемента с одновременной пробивкой пазов на профиле следующего элемента [13].

Уровень плоскостности собранного электрода зависит не только от способа профилирования элементов осадительного электрода, но и от симметричности сечения относительно центра тяжести, способов фиксирования элементов между собой по высоте электрода и с балкой встряхивания.

В табл. 1 представлены осадительные электроды, используемые для отечественных электрофильтров тепловых электростанций, а на рис. 5 показаны схемы закрепления различных элементов в полосах балки встряхивания. Элементы этих электродов являются взаимозаменяемыми, так как активная длина поперечного сечения элемента со-

ставляет 640 мм. Однако элементы имеют конструктивные особенности, влияющие на отклонения плоскости (табл. 1). К ним относятся:

симметричность относительно центра тяжести сечения, т.е. при повороте одной части сечения на  $180^\circ$  вокруг центра тяжести, она совпадёт с другой частью сечения. При этом на оси элемента располагаются центр тяжести сечения и главная центральная ось инерции сечения. Если центр тяжести сечения выполнен со смещением относительно оси элемента, то возникают отклонения плоскости и требуется дополнительное ужесточение сечения;

сборка элементов между собой по высоте выполняется либо с зазором и фиксирующими пластинами [14], либо “в зацеп” с помощью краевых элементов замкового типа в сечении элемента [2, 11, 14]. При сборке элементов с зазором примерно через 4 м по высоте устанавливаются фиксирующие пластины. Как отмечалось, пластина закрепляется на одном элементе, а по отношению к соседнему элементу пластина установлена свободно. Однако зазоры при свободной установке между фиксирующей пластиной и соседним элементом не позволяют обеспечить достаточную плоскостность. Отсюда вариант сборки элементов “в зацеп” является более предпочтительным, так как вместо отдельных пластин соседние элементы соприкасаются по всей высоте электрода;

сборка элементов с полосами балки встряхивания предусматривает взаимодействие полос с краями сечения элементов. Если концы элемента с остаточными упругими деформациями взаимодействуют с полосами балки встряхивания, то имеет место “перемещение” очага деформаций вдоль элемента и, как следствие, к отклонениям плоскости электрода, а при использовании элементов более 9 м – к расхождению элементов по высоте электрода [2]. Край сечения элемента может взаимодействовать либо с одной полосой (рис. 5, а), либо с двумя полосами (рис. 5, б и в), когда ширина сечения  $D$  и ширина краёв сечения  $d$  равняются расстоянию между полосами (рис. 5). От воздействия полос балки встряхивания на края сечения элемента возникают отклонения поверхности элемента от плоскости, которые тем больше, чем больше отклонения концов элемента после профилирования. Наибольшее влияние на отклонения оказывает взаимодействие края сечения элемента с двумя полосами: разница в долях миллиметра по ширине сечения соседних элементов при жёстком закреплении элементов к полосам балки встряхивания может привести к неконтролируемым отклонениям. Для исключения влияния полос балки встряхивания на отклонения предложено края сечения выполнить с зазором по отношению к полосам (табл. 1).

В табл. 2 представлены факторы, влияющие на плоскостность осадительных электродов тепло-

Т а б л и ц а 1

Осадительные электроды электрофильтров для тепловых электростанций

| Конструктивные отличительные особенности осадительных электродов и их элементов | Тип элементов осадительных электродов электрофильтров для тепловых электростанций |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
|   | СЧС-640<br>(с 1980 г. [2, 14])  | ЭФ-640<br>(с 2010 г. [14])                            | По патенту RU 134081<br>(с 2013 г. [15])                | Эко МК 4 × 160<br>(с 2008 г. [11])                    |
| Размеры элементов различных типов (рис. 5), мм:                                 | Рис. 5, а   | Рис. 5, б   | Рис. 5, в   | Рис. 5, г   |
| $L$   | 665   | 632   | 632*  | 665   |
| $D$   | 34  | 34  | 34*   | 33,1  |
| $d$   | 24  | 34  | 34*   | 23,5  |
| Особенности сечения элемента  | Осесимметричное относительно своего центра тяжести [14]                           | Центр тяжести смещён от оси элемента [15]             | Осесимметричное относительно своего центра тяжести [11] |   |
| Технология профилирования элементов   | Отрезка ленты перед профилированием [6, 7]  | Профилирование ленты и отрезка в размер элемента [14] | Профилирование ленты и отрезка в размер элемента [14]*  | Профилирование ленты и отрезка в размер элемента [11] |
| Отклонения (дефекты) размеров элемента  | 10 – 15 мм [10]   | В открытых источниках информация отсутствует          | 1 – 2 мм [10]   |   |
| Сборка элементов между собой по высоте  | “В зацеп” краями сечения элемента [2, 14]   | С зазором и с фиксирующими пластинами [14]            | С зазором и с фиксирующими пластинами *                 | “В зацеп” краями сечения [11]                         |
| Сборка элементов с полосами балки в встряхивания                                | Края сечения взаимодействуют с одной полосой балки [5]                            | Края сечения зажаты между полосами балки [14]         | Края сечения имеют зазоры с полосами балки              |   |

\* По аналогии с элементом ЭФ-640 [14].

вых электростанций, и приведена качественная оценка влияния факторов на отклонения поверхности плоскости осадительного электрода. В результате анализа влияния факторов установлено, что осадительный электрод, выполненный из элементов типа Эко МК 4 × 160 имеет минимальный уровень отклонений, а электрод из элементов по патенту RU 134081 [15] – максимальный.

Осадительный электрод из элементов типа Эко МК 4 × 160 и технология его изготовления защищены патентами Российской Федерации: 2377071 [11], 2423200 [12], 2729817 [16], 2743551 [13].

Электрофильтры с 15-метровыми осадительными электродами применены в 2017 – 2019 гг. при модернизации электрофильтров Рефтинской ГРЭС [4]. При этом выбросы были снижены в 6,67 раза, а выходная запылённость составила до 135 мг/м<sup>3</sup> (при нормальных условиях), что в 1,11 раза меньше проектного значения.

## Выводы

1. Показано, что повышение эффективности электрофильтров тепловых электростанций за счёт увеличения высоты электродов до 15 – 18 м

требует снижения отклонений поверхности электрода от плоскости. Отклонения могут достигать 22,5 мм, а выбросы увеличиться до 3 раз и более. При этом влияние выбросов на отклонения поверхности электродов возрастает с повышением требований к эффективности электрофильтра и снижается с увеличением расстояния между коронирующим и осадительным электродами.

2. Установлено, что причинами отклонений осадительного электрода являются: технология профилирования элементов электрода, способ сборки элементов между собой по высоте, симметричность поперечного сечения элемента относительно центра тяжести и способ крепления элементов с балкой встряхивания.

3. По результатам исследования факторов, влияющих на плоскостность осадительных электродов, стендового и промышленного опробования разработан инновационный осадительный электрод с минимальными отклонениями поверхности от плоскости электрода. Проведено промышленное внедрение осадительного электрода на ГРЭС. Технология изготовления электрода может стать основой для разработки более совершенных конструкций осадительных электродов.

Т а б л и ц а 2

### Факторы, влияющие на плоскостность осадительных электродов электрофильтров тепловых электростанций

| Факторы, от которых зависит плоскостность осадительного электрода   | Элементы осадительных электродов тепловых электростанций |        |                      |                | Положительные последствия влияния факторов (+)   |
|---|--|--------|----------------------|----------------|--|
|   | СЧС-640  | ЭФ-640 | По патенту RU 134081 | Эко МК 4 × 160 |  |
| Способ профилирования:<br>отрезка рулонной ленты в размер элемента и профилирование<br>профилирование рулонной ленты и отрезка элемента заданного размера   | –  |        |                      |                | 1. Повышенная прямолинейность элемента по длине.<br>2. Сохранение размеров сечения элемента                          |
|   |  | +      | +                    | +              |  |
| Способ сборки элементов между собой по высоте электрода:<br>“в зацеп”, с использованием загиба краёв поперечного сечения<br>с зазором, с использованием фиксирующих устройств по высоте через 4 – 6 м | +  |        |                      | +              | Обеспечивается сборка элементов в электрод без фиксирующих устройств   |
|   |  | –      | –                    |                |  |
| Симметричность профиля относительно центра тяжести поперечного сечения:<br>симметричен<br>несимметричен, так как центр тяжести выполнен со смещением относительно оси элемента                        | +  | +      |                      | +              | Симметричный профиль исключает дополнительные отклонения плоскости и не требует дополнительной жесткости сечения     |
|   |  |        | –                    |                |  |
| Взаимодействие краёв поперечного сечения с полосами балки встряхивания:<br>имеется одной поверхностью края<br>имеется двумя поверхностями края<br>края с полосами выполнены с зазором                 | –  |        |                      |                | Исключается взаимодействие краёв поперечного сечения с полосами балки встряхивания, снижаются отклонения поверхности |
|   |  | –      | –                    |                |  |
|   |  |        |                      | +              |  |
| Суммарное влияние факторов (соотношение плюсов и минусов)   | 0  | 0      | –2                   | + 4            | Электрод из элементов Эко МК 4 × 160 имеет минимальные отклонения  |

## Список литературы

1. *Верещагин, И.П.* Очистка дымовых газов от угольной золы с высоким удельным электрическим сопротивлением [Текст] / И.П. Верещагин, П.С. Платонов, Г.И. Субботина [и др.] // Электрические станции. – 2010. – № 10. – С. 28 – 33.
2. *Гришечкин, А.К.* Фильтры индустриальные газоочистные [Текст] / А.К. Гришечкин, А.А. Грачёв, В.Д. Новиков; под ред. В.К. Севрюкова, Б.С. Фёдорова. – Ярославль: Изд-во “Русь”, 2000. – 72 с.
3. *Экотехника.* Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов [Текст] / под ред. Л.В. Чекалова. – Ярославль: Изд-во “Русь”, 2004. – 424 с.
4. *Чекалов, Л.В.* Решение проблемы улавливания высокоомной золы электрофильтрами [Текст] / Л.В. Чекалов, В.А. Гузаев, М.Е. Смирнов // Электрические станции. – 2020. – № 4. – С. 54 – 59.
5. *Филатов, Ф.П.* Монтаж электрофильтров типа ЭГА [Текст] / Ф.П. Филатов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 96 с.
6. *Авторское свидетельство № 1009560 СССР.* Способ изготовления гнутых профилей [Текст] / Тришевский И.С. [и др.]; опубл. 07.04.1983, Бюл. № 13.
7. *Авторское свидетельство № 1136865 СССР.* Способ изготовления гнутых профилей с краевыми элементами замкового типа [Текст] / Тришевский И.С. [и др.]; опубл. 30.01.1985, Бюл. № 4.
8. *Инструкция по монтажу электрофильтров типа УГ* [Текст]: РД 34.27.202; утв. протоколом Минэнерго СССР от 01.08.1977, № 27. – М.: Информэнерго, 1978. – 29 с.
9. *Тришевский, И.С.* Производство гнутых профилей (оборудование и технология) [Текст] / И.С. Тришевский [и др.] – М.: Metallurgia, 1982. – 384 с.
10. *Гузаев, В.А.* Опыт реконструкции газоочистного оборудования в цементной промышленности на основе последних разработок ХГ “Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ” [Текст] / В.А. Гузаев, М.Е. Смирнов // Информ Цемент. – 2008. – № 1(16). – С. 55 – 58.
11. *Пат. 2377071 Рос. Федерация.* Способ изготовления элементов осадительных электродов для электрофильтра [Текст] / Чекалов Л.В., Шапошник С.А.; опубл. 27.12.2009, Бюл. № 36.
12. *Пат. 2423200 Рос. Федерация.* Способ изготовления осадительных электродов для электрофильтра [Текст] / Санаев Ю.И., Смирнов М.Е., Чекалов Л.В.; опубл. 10.07.2011, Бюл. № 19.
13. *Пат. 2743551 Рос. Федерация.* Способ изготовления элементов осадительного электрода для электрофильтра [Текст] / Чекалов Л.В., Гузаев В.А., Смирнов П.М.; опубл. 19.02.2021, Бюл. № 5.
14. *Троицкий, А.А.* Новейшие разработки экологической машиностроительной группы различных типов газоочистного оборудования [Текст] / А.А. Троицкий, В.А. Гузаев. // Экологический вестник России. – 2010. – № 1. – С. 38 – 41.
15. *Пат. 134081 Рос. Федерация.* Осадительный электрод электрофильтра [Текст] / Шапошник С.А., Гузаев В.А., Шапошник А.С., Серебряков В.И., Лушина О.В.; опубл. 10.11.2013, Бюл. № 31.
16. *Пат. 2729817 Рос. Федерация.* 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.