

THERMIE, Type B Action (STR-1965-98-FR), Phase I. CSTB with Quasco, CTBA, La Calade and DFIU/IFARE.

3. Lavric E.D., Konnov A.A. and De Ruyck J. 2004. "Dioxin Levels in Wood Combustion: A Review." Biomass and Bioenergy 26:115–145.

4. Технология вихревого сжигания. [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.cont-s.kz/cont/new\\_technologies/development/599/](https://www.cont-s.kz/cont/new_technologies/development/599/) [дата обращения 09.10.2021].

УДК 620.9

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗООЧИСТКИ НА «ЕКИБАСТУЗСКОЙ ГРЭС-1 ИМЕНИ БУЛАТА НУРЖАНОВА»**

**Байсауп Әмірлан Қанатұлы**

*[amirlan.baysaupov@mail.ru](mailto:amirlan.baysaupov@mail.ru)*

Студент ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – К.Е.Сакипов

ТОО «Экибастузская ГРЭС-1 имени Булата Нуржанова» (далее ГРЭС-1) представляет собой тепловую электрическую станцию с установленной мощностью 4 000 МВт, расположенную на северном берегу озера Женгельды, в 16 км севернее г. Экибастуз, Павлодарской области. Станция строилась в рамках проекта СССР по созданию Экибастузского топливно – энергетического комплекса и является самой крупной станцией в Казахстане, работающей на твердом топливе. Экибастузская ГРЭС-1 берет свое начало в январе 1974 года, а 12 апреля 1980 года введен в эксплуатацию энергоблок №1, далее до 1984 года в эксплуатацию были введены энергоблоки со второго по восьмой. Будучи крупнейшей электростанцией в Казахстане, ГРЭС-1 также является одной из крупнейших угольных электростанций в мире с текущей располагаемой мощностью – 3 500 МВт. В 2023 году планируется выход станции на проектную мощность 4000 МВт. В 2021 году выработано электрической энергии – 22 788 389,760тыс. кВт \*час, расход угля на выработку эл. энергии - 13 443 298,00 тонн угля. Основным источником загрязнения атмосферы является при сжигании твердого топлива, а в особенности высокозольного экибастузского угля, является летучая зола.

Для снижения содержания взвешенных веществ в дымовых газах, выбрасываемых в атмосферу энергоблоки ст. №3, №4, №5, №6 оборудованы электрофильтрами типа «LodgeCottrel», на энергоблоке ст. №2, №7, №8 ЗАО «АльстомПауэрСтаван». Данные ЭСФ обеспечивали очистку, которая позволила добиться нормативной концентрации уноса золы (300...400 мг/м<sup>3</sup>, при норме <400 мг/м<sup>3</sup>). Электрофильтры находятся в эксплуатации десятки лет, в среднем срок службы составляет 30-40 лет. За такой период времени естественно изменяется режим работы и санитарные требования к величине выбросов из ЭСФ в атмосферу, происходит физический и моральный износ, что приводит к ухудшению работы ЭСФ. В целом ряде случаев, реконструкция устаревших электрофильтров является экономически целесообразней, нежели установка новых. Разработка новых стандартов по ужесточению требований с 2025 года, а также повышение штрафов, требует реализации дополнительных мероприятий по повышению эффективности электрофильтров.

В настоящее время наиболее распространено применение оптимизации в следующих направлениях:

- питание полей электрофильтра током высокого напряжения. Установка более совершенных устройств управления агрегатами питания электрофильтров, например, типа БУЭФ;

- периодичность и интенсивность встряхивания коронирующих и осадительных электродов и газораспределительных решеток, установка микропроцессорных контроллеров типа «Elex»;

- установка мотор-редукторов, обеспечивающих частотное регулирование режимов встряхивания;

- повышение равномерности распределение газов в электрофильтре;

- замена коронирующих элементов;

- замена осадительных элементов;

- увеличение площади осаждения электрофильтра.

По мере продвижения пылегазовой среды вдоль электрофильтра происходит сепарация частиц пыли в зависимости от их физико-химических свойств и изменение параметров газов. В итоге свойства пылегазовой среды на входе существенно отличаются от таковых на последующих полях электрофильтра, в то время как конструктивные параметры полей электрофильтра, как правило, одинаковы.

Рассмотрим изменение следующих параметров пылегазовой среды по мере продвижения ее вдоль электрофильтра:

- количество улавливаемой пыли и степень очистки газов;

- УЭС пыли;

- когезионные свойства пыли.

Количество улавливаемой пыли

В соответствии с уравнением Дэйча распределение количества уловленной пыли ( $P$ ) по длине электрофильтра определяется экспонентой:

$$P = \exp\left(-\frac{\omega L}{HV}\right), \quad (1)$$

где  $\omega$  - скорость дрейфа частиц пыли;

$L$  - длина активной зоны электрофильтра;

$H$  - межэлектродное расстояние;

$V$  - скорость газов в электрофильтре.

Методом лабораторного исследования (рис. 1) и эксплуатационного опыта выявлено, что распределение количества пыли по длине электрофильтра отличается от экспоненциального и имеет вид:

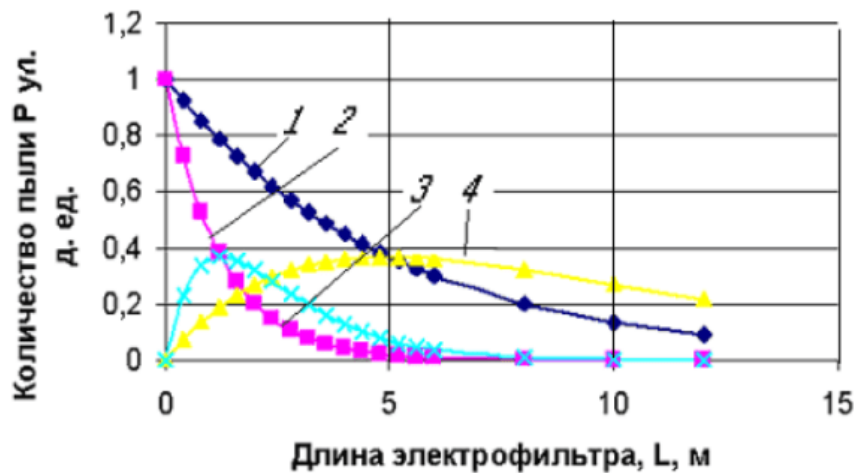
$$P = K \exp\left(-\frac{\omega L}{HV}\right), \quad (2)$$

где  $K$  - коэффициент, зависящий от конструктивных параметров электрофильтра, свойств пылегазовой среды и режима питания электрофильтра током высокого напряжения.

Из рис.1, видно как фактическое распределение пыли на осадительных электродах отличается от распределения, рассчитанного по формуле (1). Аналогичное распределение пыли имеет место и на коронирующих электродах. Ниже приведем соотношения величины выбросов, рассчитанное по формулам (1) и (2), составляет:

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{1}{K} \quad (3)$$

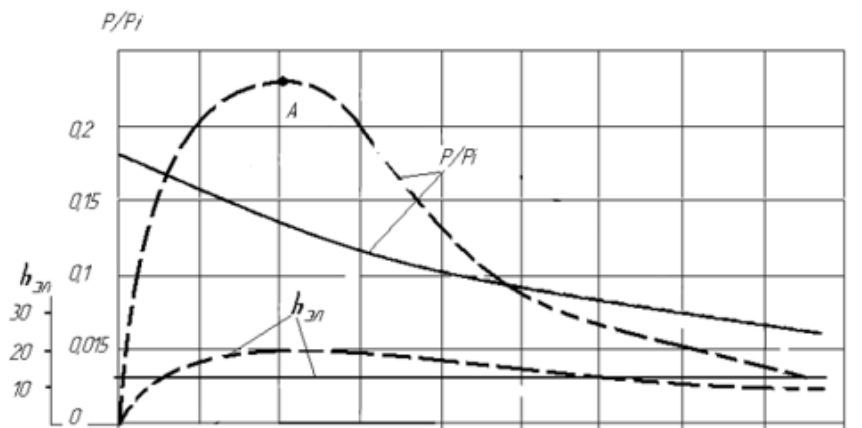
где  $B_1, B_2$  - величины выбросов пыли, полученные соответственно с учетом формул (1) и (2).



1,2 – экспериментальное распределение пыли в соответствии с формулой Дэйча; 3,4 – фактическое распределение пыли; 1,4 – при низкой степени очистки газов; 2,3 – при высокой степени очистки газов.

Рисунок 1 - Распределение уловленной пыли по длине электрофильтра

Величина перемещения координаты максимума накопления веса пыли по длине электрофильтра (точка А на рис. 2) оказывает существенное влияние на режим эксплуатации электрофильтров. Абсцисса этой точки обусловлена величиной запыленности, скоростью газов, размером частиц, УЭС пыли, параметрами питания электрофильтра током высокого напряжения.



$P, P_i$  - масса уловленной пыли соответственно на элементе и общая на электроде; - степень очистки газа на элементе электрода; - расчет; ---эксперимент

Рисунок 2 - Сравнение распределения пыли по длине электрофильтра (1)

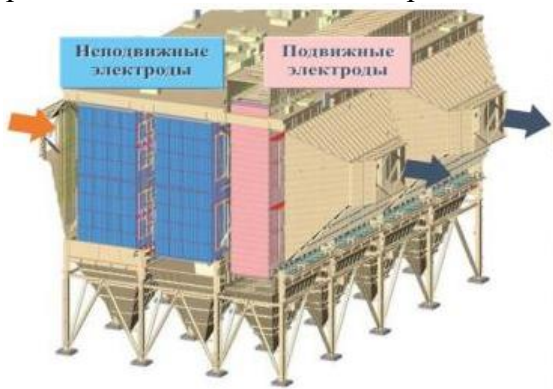
Высокий УЭС, для экибастузской золы  $2,1 \cdot 10^{12}$  Ом м, неотряхиваемый слой пыли во время эксплуатации по длине электрофильтра приводит к усилению когезионных связей. Расчет этих сил достаточно сложен. Однако, учитывая, что пылеемкость электродов имеет функциональную связь с УЭС пыли можно ориентировочно определить требуемую величину отряхивающих ускорений ( $a$ ) следующим образом:

$$a_g = 20 \lg p_v,$$

где  $p_v$  - УЭС пыли, Ом-м.

Величина отряхивающего импульса на первых полях электрофильтров, работающих в аналогичном режиме, может быть уменьшена, что позволит снизить износ узлов встряхивания первых полей и уменьшить дезагрегирование пыли и унос ее при встряхивании. Для достижения высоких показателей и обеспечения надежной работы требуется модернизация ЭСФ.

Наиболее перспективным является установка 5 поля с передвижным электродом на ЭСФ. Одной из главных преимуществ является длительная эксплуатация при простом обслуживании. В сочетании с подвижным электродом (МЕЕР), пыль с высоким электрическим сопротивлением может быть собрана с высокой эффективностью.



№	Задача для решения в электрофильтрах стационарного типа	Особенности МЕЕР
1	Возникновение явления обратного заряда из-за снижения качества удаления пыли с высоким сопротивлением и мелкой пыли.	Пыль с высоким удельным электрическим сопротивлением, мелкодисперсная пыль эффективно снимается щеткой (поверхность осадительного электрода всегда в чистом состоянии).
2	Удаление мелкой пыли с помощью встряхивания молотом (встряхивание).	Удаление пыли происходит вне зоны для сбора пыли, поэтому вторичное рассеивание пыли минимально.
3	Необходимость дополнительного пространства в связи с расширением существующих электрофильтров. Необходима модернизация газоотвода последней ступени усуществующего оборудования, а также необходимость переноса (или расширение мощностей) вытяжной вентиляции.	Благодаря высокому КПД очистки газа, оборудование удалось сделать максимально компактным. Благодаря достижению компактности на основе улучшенной функциональности оборудования стало возможным снижение потребления электроэнергии для подачи заряда - что ведет к энергосбережению. Возможность использования и на существующем оборудовании.

Экологический эффект	Снижение загрязнителей воздуха (пыль, CO <sub>2</sub> ) от угольных электростанции		
		В случае внедрения МЕЕР (План-1)	Базовая линия (План-2)
	Потребляемая энергия (кВт/блок)	2500	3100
	Годовая потребляемая энергия (МВт/блок)	21900	27156
	Объем выбросов CO <sub>2</sub> (т-CO <sub>2</sub> /блок)	13359	16565

Сравнение стоимости электростатического разрядника с подвижным электродом и традиционного электростатического разрядника с неподвижным электродом было изучено с использованием фактических результатов эксплуатации. В случае традиционного ЭСФ с фиксированным электродом общие эксплуатационные расходы в течение 15 лет почти такие же, как и первоначальные затраты на оборудование. Приблизительно 90 процентов эксплуатационных расходов составляют затраты на коммунальные услуги, которые используются для получения электроэнергии, необходимой для питания высокого напряжения, подаваемого на электрофильтр. ЭСФ с подвижным электродом потребляет менее 70 процентов энергии по сравнению с ЭСФ с неподвижным электродом.

Техническое обслуживание и ремонт составляют от 7 до 12 процентов эксплуатационных расходов, и это почти одинаково для обоих типов ЭСФ. Однако эксплуатационные расходы ЭСФ с подвижным электродом составляют всего 68% от стоимости ЭСФ с фиксированным электродом.

В целом, стоимость установки ЭСФ с неподвижным электродом изначально дешевле на 10 процентов по сравнению с ЭСФ с подвижным электродом. Однако общая стоимость, включая расходы на установку и эксплуатацию, через 5 лет станет такой же, как и у ЭСФ с подвижным электродом. Через 15 лет общая стоимость ЭСФ с неподвижным электродом увеличивается на 20 и более процентов по сравнению с ЭСФ с подвижным электродом. Таким образом, ЭСФ с подвижным электродом имеет экономическое преимущество перед ЭСФ с неподвижным электродом.

Расширение корпуса ЭСФ не столь эффективна, как добавление 5 подвижного электрода. Эффективность пылеудаления повысилась без необходимости расширения существующего места. Концентрация пыли уменьшилась в два раза, с 300 мг/м<sup>3</sup> до 50 мг/м<sup>3</sup>. Подвижные электроды используются в большинстве стран, такие как Япония, Китай, Индия. Использование ЭСФ с подвижным электродом не только на «Экибастузской ГРЭС-1 имени Булата Нуржанова», но и в Казахстане, значительно повысит эффективность газоочистки в стране.

#### Список использованных источников

1. Экологический кодекс Республики Казахстан № 400-VI ЗРК от 2 января 2021 года.
2. Постановление Правительства Республики Казахстан от 14 декабря 2007 года № 1232 Об утверждении Технического регламента «Требования к эмиссиям в окружающую среду при сжигании различных видов топлива в котельных установках тепловых электрических станций».
3. Дукенбаев К.Д. Энергетика Казахстана. Условия и механизмы ее устойчивого развития. - Алматы: Наука, 2002. - 452 с.
4. Сборник публикации ЧФ ПЭИПК, Теплоэнергетическое оборудование ТЭС, Выпуск 2 Челябинск 2011.
5. Санаев Ю.И. Обеспыливание газов электрофильтрами. Семибратово: Кондор-Эко, 2009, 163 с.

6. Алияров Б.К., Дукенбаев К.Д., Нуржанов Б.Г., Палатник И.Б. Вариант пылеугольной ТЭС с обеспечением нормативных выбросов в атмосферу // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана. - 1993. - №3.- С.36-40.

7. Дукенбаев К.Д. Энергетика Казахстана. Условия и механизмы ее устойчивого развития. - Алматы: Наука, 2002. - 452 с.

8. Ефремов Г.И., Лукачевский Б.П. Пылеочистка. М.: Химия, 1990, 72 с.

9. Misaka T. et al. "Application of Moving Electrode Type Electrostatic Precipitator for High Resistivity Dust" Proc. of 6th Asian Conf. on Electrical Discharge, p. 245-248 (1993)

10. Misaka T. et al. "Electrostatic Precipitator Combined Pulse Charging Section with Moving Electrode Section for High Resistivity Dust" Proc. of 6th Int. Conf. on Electrostatic Precipitation, p.45-50 (1996)

11. T. Misaka et, al. "Recent Application of Moving Electrode Type Electrostatic

12. Precipitator" Proc. of 7th Int. Conf. on Electrostatic Precipitation, p.508-515 (1998)

УДК 621.1

## АТМОСФЕРАЛЫҚ ГАЗ ГЕНЕРАТОРЫМЕН ЖАБДЫҚТАЛҒАН БУ-ГАЗДЫ ШАҒЫН ЖЭО ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН ОПТИМИЗАЦИЯЛАУ

Дәржан Ерлан Виленұлы

[darzhanoverlan@mail.ru](mailto:darzhanoverlan@mail.ru)

Л.Н.Гумилев ат. ЕҰУ-нің «Жылуэнергетика» кафедрасының магистранты

Ғылыми жетікшісі – З.К. Саттинова

Мақалада бу-газ циклінде STIG (Steam Injected Gas Turbine) технологияларын қолдана отырып, *атмосфералық қысымның қатпарлы айналдырылған газ генераторында алынатын жанғыш газда жұмыс атқаратын бу-газ қондырғысы (БГҚ) қарастырылады.* Соңғы уақыттағы зерттеу деректері бойынша мұндай қондырғы отынды өңдеу процесінің қарапайым технологиясын ұсынады. Тиімді термодинамикалық циклді қолдану арқылы төмен қуатты қондырғыларда органикалық отындардан электр энергиясын алудың басқа технологияларымен салыстырғанда эффективтілігі анықталды. Есептеулер қуаттылығы шамамен 5 МВт(э) қондырғылар үшін жүргізілді.

**Кіріспе.** Көмірді газдандыру мақсатында шағын бу-газ қондырғыларының (БГҚ) құрылысын негіздеу үшін электр энергиясын алудың дәстүрлі технологияларын пайдаланатын қондырғылар мен зерттелуші қондырғылардың бәсекеге қабілеттілігін талдау қажет. Көмірді газдандыру процесінде қолданылатын қондырғыны дәстүрлі қондырғылармен салыстыру үшін ең көп таралған көмір жағатын бу турбиналы қондырғы және дизельді электр станциясы (ЭС) таңдалды.

Көмірді жағу және газдандыру электр энергиясын салыстырмалы бағамен алуға мүмкіндік береді, алайда отынның бірдей бағасымен БГҚ-да электр энергиясын өндіру тиімдірек болады. Бұл бу-газ циклінің бу циклімен салыстырғанда жоғары тиімділігіне байланысты (есептеу кезінде 35 атм және 435 °С турбинаға кіру кезінде бу параметрлері қабылданды). Шағын БГҚ үшін будың жоғары параметрлеріне көшу бірқатар қиындықтарға тап болғандықтан, шағын қуаттылықты қондырғылар үшін бу-газ циклын қолданудың эффективтілігі өте жоғары.

Осылайша зерттеу нәтижесінде алынған ЖЭС-тің сипаттамалары шағын қуаттылықтағы жылу энергетикалық қондырғылар арасында бу-газ қондырғыларының бәсекеге қабілеттілігі жоғары деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Технологиялық схема ерекшеліктері, отын сипаттамасы және көмірді газдандырудың химиялық ПӘК-і