

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТАНОВОК ОЧИСТКИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ГАЗОВУЮ СРЕДУ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

В.Д. САНДАКОВ, А.Н. ПОДРЕЗОВ, И.М. ВАЛЕЕВ

Казанский государственный энергетический университет

В работе рассмотрены методы повышения производительности установок очистки газов от экологически вредных примесей в поле стримерной короны при воздействии электромагнитного излучения. Введены понятия активной и пассивной конверсионных зон. Предложена эффективная модель установки очистки газовых сред.

Ключевые слова: динамика газовых выбросов, активная и пассивная конверсионные зоны, ультрафиолетовое излучение, повышение эффективности очистки.

Рост промышленного производства сопровождается увеличением негативного воздействия на окружающую среду, ростом количества выбрасываемых загрязняющих веществ и снижением массы улавливаемых выбросов. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, по данным Росстата по РТ [1], в 2014 году превысили 300 тыс. тонн. Эффективность технологий и применяемого на предприятиях оборудования по очистке газовых выбросов действующих предприятий снижается (табл.1). Поэтому промышленные предприятия вынуждены больше внимания уделять мероприятиям по сокращению выбросов в атмосферу и выделять на реализацию природоохранных мероприятий значительные финансовые средства.

Таблица 1

Выбросы и улавливание загрязняющих атмосферу веществ от стационарных источников выделения

	Количество загрязняющих веществ, отходящих от всех стационарных источников выделения, тыс. тонн	Уловлено и обезврежено загрязняющих веществ	
		тыс. тонн	в % от общего количества отходящих загрязняющих веществ от стационарных источников
2011	626,0	357,7	57,1
2012	591,8	329,0	55,6
2013	600,0	322,2	53,7
2014	598,3	310,2	51,8

Наши исследования по использованию новых технологий по очистки токсичных газовых выбросов, основанных на применении импульсной короны, показали ее актуальность [2].

Эффективность этого процесса выражается числом наработанных активных частиц, отнесенным к энергетическому вкладу, равному 100 эВ (G_j). В поле наносекундного стримерного разряда эффективность наработки химически активных частиц определяется по следующей формуле:

$$G_j(t) = \frac{N_j(t)}{\int_0^t U(t) \cdot I(t) dt},$$

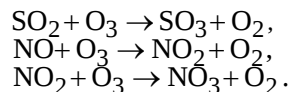
где N_j – полное число частиц сорта j (интеграл по объему разряда), наработанное к моменту времени t ; U и I – зависящие от времени напряжение и ток [3].

Основой технологического процесса является первоначальная наработка в газе радикалов и химически активных частиц. Радикалы – химические соединения, у которых на внешней электронной оболочке есть несвязанные электроны – обладают высокой химической активностью. Помимо радикалов, к химически активным частицам относятся атомы, возбужденные атомы и молекулы, ионы.

Очистка топочных газов от оксидов азота и диоксидов серы с использованием импульсной короны происходит в несколько этапов.

1. Первый этап заключается в наработке в реакционной камере химически активных частиц, таких как O , O_3 , $OH^\cdot$, H_2O_2 и т.д.

2. На втором этапе наработанные химически активные частицы взаимодействуют с оксидами азота и диоксидами серы, окисляя, разлагая или преобразуя их в продукты (кислоты и соли), сравнительно просто удаляемые из газа. В частности озон (один из сильнейших природных окислителей), вступая в реакцию с оксидами азота и серы, образует соли:



3. На третьем этапе происходят конденсация паров образовавшихся кислот и формирование аэрозоля. Капли аэрозоля хорошо абсорбируют оксиды и аммиак.

4. На четвертом этапе образованные продукты (соли) улавливаются в электрофилт্রে [3].

В высоковольтной лаборатории Казанского государственного энергетического университета была разработана экспериментальная установка (рис. 1). Внутри диэлектрической камеры 1 расположена система электродов «игла–плоскость» с расстоянием между электродами от 10 до 50 мм. Импульсный источник высокого напряжения 4 присоединен к системе электродов, причем электрод «игла» (отрицательный полюс источника) находится со стороны поступления топочных газов 2. Данная конструкция обеспечивает среднюю напряженность в области резко неоднородного электрического поля 150 кВ/см. Затраты энергии на очистку газа, содержащего примеси оксидов серы и азота, при исходных концентрациях 400 — 530 ppm и степени очистки 50 — 70 % составляют примерно 12 — 14 Вт·ч/м³.

Нами предложено условное разделение межэлектродного пространства для системы электродов «игла–плоскость» (рис. 2) на активную зону (область с резко неоднородным полем вблизи «иглы») и пассивную зону (область со слабо неоднородным полем вблизи «плоскости»). Причем экспериментально установлено, что наибольший процент очистки топочных газов (от 80%) достигается в активной зоне поля стримерной короны.

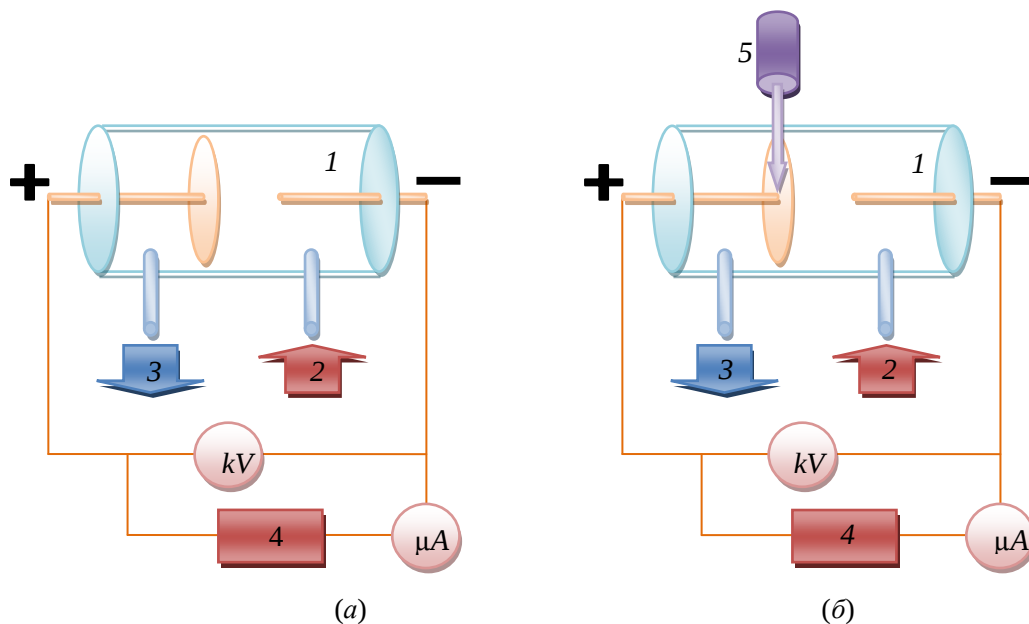


Рис. 1. Схема технологии конверсии топочных газов в поле стримерной короны (а); с воздействием электромагнитного излучения (б): 1 – реакционная камера; 2 – топочные газы; 3 – газоанализатор; 4 – регулируемый источник высокого напряжения; 5 – источник электромагнитного излучения

При использовании наносекундной импульсной короны на стадии развития стримеров в резко неоднородном поле под действием сильного электрического поля (напряженность около 150 кВ/см) электроны приобретают энергию, порядка 7 – 9 эВ в активной зоне, достаточную для возбуждения, диссоциации и ионизации молекул газа и образования радикалов и других химически активных частиц.

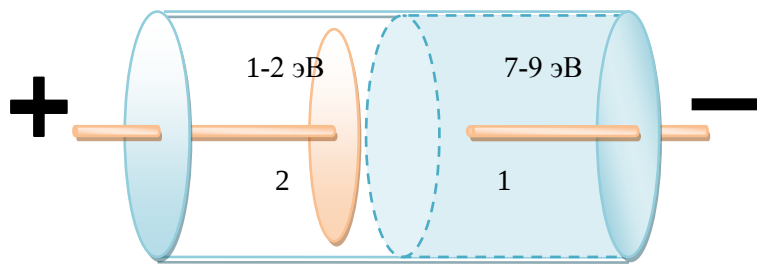


Рис. 2. Условное разделение межэлектродного пространства для системы электродов «игла–плоскость»: 1 – активная зона; 2 – пассивная зона

Главными достоинствами данного метода являются: технологичность, возможность одновременного удаления целого ряда примесей, относительно малые энергоёмкость и стоимость, высокая степень очистки.

Особенностью данного технологического процесса является неравномерное образование радикалов и химически активных частиц в межэлектродном пространстве, что приводит к снижению эффективности процесса очистки. Однако есть возможность повысить степень очистки и снизить энергоёмкость данной технологии путем воздействия электромагнитным излучением на область стримерной короны.

При воздействии электромагнитного излучения на пассивную зону поля стримерной короны происходит дополнительное образование в газе радикалов и химически активных частиц. Для повышения эффективности данной технологии необходимо воздействовать на область с наименьшей неоднородностью поля, так как именно в данной зоне недостаточно энергии (1–2 эВ), приобретаемой электронами, для возбуждения и ионизации молекул газа.

Не менее важным является выбор спектра электромагнитного излучения. Теоретический анализ данных показывает, что воздействие электромагнитного излучения видимого спектра не достаточно для образования радикалов и других химически активных частиц, в отличие от электромагнитного спектра ультрафиолетового излучения, количество энергии на фотон которого может достигать 124 эВ.

Электромагнитный спектр ультрафиолетового (УФ) излучения, согласно стандарту ISO по определению солнечного излучения (ISO-DIS-21348) [4], делится на 4 класса: ближний, средний, дальний и экстремальный (табл. 2).

Таблица 2

Электромагнитный спектр ультрафиолетового излучения, согласно стандарту ISO

Наименование	Длина волны, нм	Количество энергии на фотон, эВ	Аббревиатура
Ближний	400 – 300	3,10 – 4,13	NUV
Средний	300 – 200	4,13 – 6,20	MUV
Дальний	200 – 122	6,20 – 10,2	FUV
Экстремальный	121 – 10	10,2 – 124	EUV, XUV

При разработке технологий очистки газовых выбросов импульсной стримерной короной с применением электромагнитного излучения стоит обратить внимание на возможность использования твердотельных лазеров с диодной (полупроводниковой) накачкой. Они излучают в ультрафиолетовом диапазоне спектра (266 нм, 355 нм, 375 нм). Технология производства УФ лазеров связана с множеством трудностей (особенно с длинами волн ≤ 200 нм). Целесообразно использовать УФ лазеры с электромагнитным спектром от 300 до 200 нм, что дает оптимальный баланс стоимости и количества энергии на фотон.

Вариант установки с применением электромагнитного излучения (рис. 1, б) дает дополнительный энергетический вклад, приобретаемый электронами, порядка 4 – 6 эВ, что приводит к выравниванию процесса ионизации и возбуждения молекул газа по длине межэлектродного пространства. Воздействие на пассивную зону ведет к повышению эффективности общего процесса очистки на 20–25 %, ввиду дополнительной ионизации молекул газа и образования радикалов и других химически активных частиц.

Выводы:

1. Применение технологии очистки топочных газов в поле стримерной короны с воздействием электромагнитного излучения ультрафиолетового спектра позволяет повысить эффективность очистки на 20 – 25%.

2. Для повышения эффективности данной технологии необходимо воздействовать на пассивную зону диэлектрической камеры.

3. В качестве источника электромагнитного излучения ультрафиолетового спектра целесообразно использовать твердотельные лазеры с диодной (полупроводниковой) накачкой.

© Проблемы энергетики, 2015, № 3-4

4. Целесообразно использовать УФ лазеры с электромагнитным спектром от 300 до 200 нм, что дает оптимальный баланс стоимости и количества энергии на фотон.

Summary

The paper discusses the prospects of gas cleaning technology from environmentally harmful impurities in the streamer corona. The paper presents dynamics of pollutant emissions into the atmosphere. We have defined active and passive conversion zone. We have developed model of the installation of high power characteristics.

Keywords: dynamics of gas emissions, active and passive conversion zone, ultraviolet radiation, increasing the efficiency of cleaning.

Литература

1. Воздушный бассейн в РТ // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Татарстан. Системные требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://tatstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/tatstat/ru/statistics.
2. Патент №144782 РФ. Устройство очистки газовых сред / Валеев И.М., Подрезов А.Н. 30.07.2014.
3. Электрофизические основы техники высоких напряжений: учеб. для вузов / И.М. Бортник и др. М., 2010. 704 с.
4. Стандарт ISO по определению солнечного излучения. Системные требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.spacewx.com/ISO_solar_standart.

Поступила в редакцию

11 марта 2015 г.

Сандаков Виталий Дмитриевич – аспирант кафедры «Электрические станции» (ЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел: 8(843)519-42-70, 8(904)6780213. E-mail: sanvidm@rambler.ru.

Подрезов Александр Николаевич – ассистент кафедры «Электрические станции» (ЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел: 8(843)519-43-12, 8(917)8548160.

Валеев Ильгиз Миргалимович – д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрические станции» (ЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел: 8(843)519-43-12, 8(917)2867215.