

Малотоксичные горелки как средство защиты атмосферы от выбросов токсичных оксидов азота NO_x на ТЭС с угольными котлами

Материал подготовлен сотрудниками Всероссийского Теплотехнического Института в рамках Федеральной Целевой Программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Соглашение на предоставление гранта от 27.07.2012г № 14U02.21.0318).

Дорогие друзья!

Надеюсь, многие из Вас выберут очень важную и (на мой взгляд) самую интересную сферу деятельности: обеспечение людей электрической энергией. Возможно, некоторые из Вас (кто был не очень внимателен на уроках физики) спросят: «А зачем нужна наука «электроэнергетика», если в каждом доме уже имеются розетки: достаточно вставить в розетку вилку, и вот уже в комнатах светло, работает телевизор и компьютер, можно зарядить мобильник и разогреть ужин на электроплите?» Но более «продвинутые» ученики помнят, что электрическая энергия – это продукт преобразования различных видов энергии, присутствующих в природе. А это значит, что для надёжного получения электричества с минимальными потерями и с минимальным загрязнением окружающей среды нужен труд большого числа квалифицированных специалистов.

В наши дни человек получает электрическую энергию, главным образом, от тепловых электростанций, а также от гидроэлектростанций и в нескольких странах ещё и от атомных электростанций. Некоторое количество электрической энергии удаётся получить от так называемых «возобновляемых» источников энергии (ветер, солнечное излучение, геотермальная энергия и т.д.). Но всё же главный источник – это тепловые электростанции, на которых химическая энергия органического топлива преобразуется сначала в тепловую энергию (при сжигании угля, газа или мазута вода превращается в пар), затем энергия пара преобразуется в механическую энергию (перегретый пар заставляет вращаться паровую турбину) и, наконец, механическая энергия преобразуется в электрическую в электрогенераторе, который находится на одном валу с паровой турбиной (рисунок 1).



Рисунок 1 – Преобразование энергии на ТЭС

В качестве топлива на тепловых электростанциях разумнее всего использовать уголь: залежи угля в земле во много раз превышают разведанные запасы нефти и газа. Кроме того, жидкое и газообразное топливо удобнее использовать на транспорте (из нефти получают бензин, керосин, дизельное топливо), а также на химических предприятиях и в коммунально-бытовом секторе.

Преобразование химической энергии органического топлива (каменный или бурый уголь, торф, мазут, природный или попутный газ) в перегретый пар под давлением происходит в огромных агрегатах, которые называют «котельными установками». Они мало похожи на котлы, в которых Вам, возможно, приходилось на костре кипятить воду для чая или готовить уху. Но по существу, энергетический котёл – это тоже сосуд, в котором вода превращается в пар, получая тепло от сжигаемого органического топлива. Однако если бы мы превращали воду в пар на костре, то такой пар нельзя было бы использовать для вращения турбогенераторов, вырабатывающих электрическую энергию.

Современные котельные агрегаты (рисунок 2) имеют высоту до 100 м. Каждый час в таком котле образуется до 2650 тонн пара (а иногда и больше), причём давление пара достигает 25 МПа, а температура – 565 °С. Для получения такого количества пара приходится сжигать до 300 тонн угля в час. Представляете, сколько потребовалось бы костров, чтобы за 1 час сгорело такое количество угля? Приходится сначала кусковой каменный уголь превращать в угольную пыль с размером частиц не более 1 мм, а затем вдувать вместе с воздухом эти частицы в ограждаемую водоохлаждаемыми экранами топочную камеру.

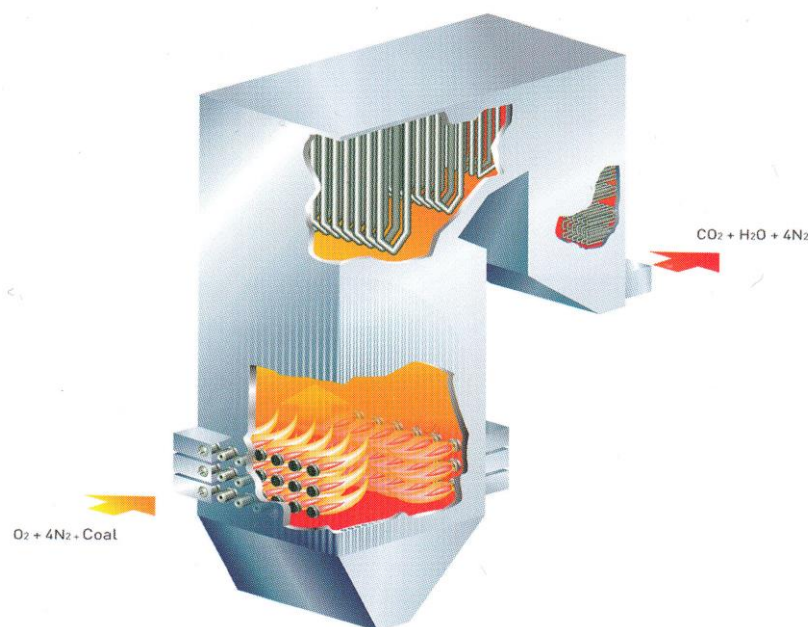


Рисунок 2 – Паровой котёл

Благодаря тому, что удельная поверхность ($\text{м}^2/\text{кг}$) у мелких угольных пылинок в тысячи раз больше, чем у кускового угля, сгорание угольных частиц в топке происходит за считанные секунды. Вода в это время протекает по трубам небольшого диаметра, которые окружают топочную камеру со всех сторон. Именно в этих трубках, которые называются экранными поверхностями нагрева, образуется пар, который позже перегревается до заданной температуры и подаётся на вход паровой турбины.

Многолетние исследования, которые проводились как в России, так и за рубежом, позволили создать высокофорсированные топочные устройства. Горелки, которыми оборудуют эти топки, обеспечивают почти полное сгорание содержащихся в угле углерода и водорода (рисунок 3).

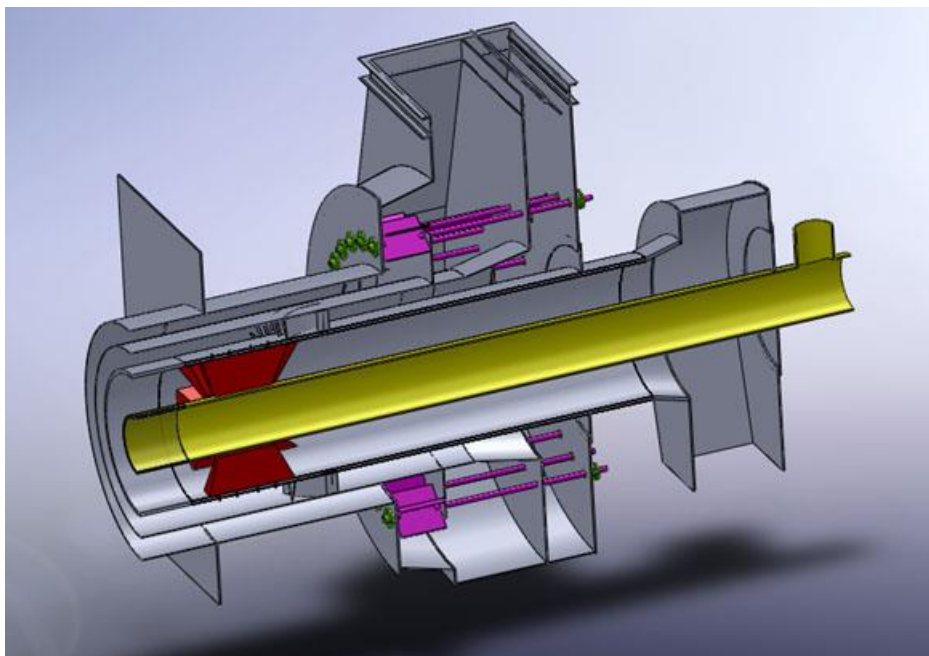


Рисунок 3 – Малотоксичная горелка ВТИ-ЦНИИТМАШ

Основные продукты сгорания угля – это углекислый газ CO_2 , водяные пары H_2O и зола, которая образуется из негорючей минеральной части твёрдого топлива. Но, к сожалению, в состав угля входят ещё и сложные органические соединения, содержащие серу S и связанный азот N .

Когда угольные пылинки попадают в топку, они быстро нагреваются и выделяют газообразные вещества, которые называют «летучими». В составе летучих, кроме водяных паров и газообразных горючих, имеются и азотсодержащие вещества. Среди них, например, имеются амины и цианиды. Сравнительно недавно удалось установить, что если в зоне горения летучих содержится много окислителя (кислорода воздуха), то эти азотсодержащие вещества переходят в токсичный оксид азота NO , а если кислорода мало – в безвредный молекулярный азот N_2 (напомню: в воздухе, которым мы дышим, содержится, примерно, 78 % азота, так что «дополнительный» азот, который

выбрасывается через трубы тепловых электростанций, мы даже не почувствуем). А вот NO – это токсичное вещество. Доокисляясь ещё в котле, а затем – в воздухе после выхода из дымовой трубы до NO₂, это вещество становится очень опасным. Из диаграммы, приведённой на рисунке 4, видно, что медики считают диоксид азота (NO₂) примерно в 25 раз опаснее, чем всем известный «угарный газ» (CO).

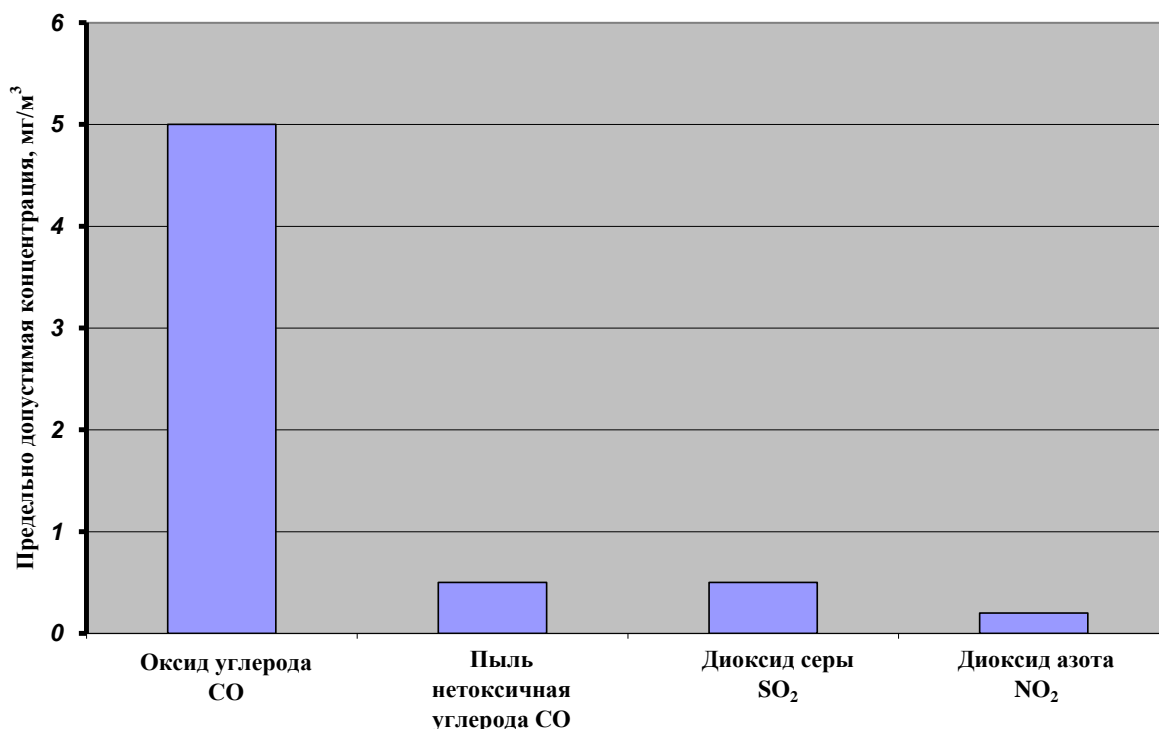


Рисунок 4 – Значения предельно-допустимых концентраций (ПДК) основных загрязнителей, поступающих в атмосферу с дымовыми газами КОТЛОВ

Медики установили, что в приземном слое атмосферы (1,5 м от уровня земли) абсолютно безопасной считается концентрация NO₂, не превышающая 0,2 мг/м³. Если концентрация выше – могут быть неприятности. Повышенное содержание оксидов азота в городах и посёлках может вызвать воспаление лёгких и бронхит. В сельской местности повышенная концентрация NO₂ негативно воздействует на растительный и животный мир. Одним из последствий высокого содержания NO₂ (а также сернистого ангидрида SO₂) в

атмосфере являются «кислотные дожди», приводящие к деградации водных экосистем, к гибели лесных массивов, вызывающие коррозию и разрушение строительных материалов, памятников архитектуры и других культурных ценностей.

Теперь понятно, что процесс сжигания угля нужно усовершенствовать: выбросы NO_2 должны быть снижены до уровня, не угрожающего населению и природе. И вот уже несколько десятилетий специалисты в области сжигания органического топлива пытаются создать такие конструкции пылеугольных горелок (устройств, через которые в топочную камеру вдуваются угольная пыль и подогретый воздух), которые обеспечили бы «малотоксичное» сжигание, т.е. такой процесс горения, при котором образуется очень мало опасных токсичных оксидов (NO и NO_2), а большая часть азота топлива переходила бы в безвредный молекулярный азот N_2 .

Сложность поставленной задачи заключается в том, что для быстрого (форсированного) сжигания летучих, а затем и коксовых частиц нужно много окислителя (кислорода воздуха), а для снижения образования оксидов азота NO_2 нужно наоборот – чтобы кислорода было как можно меньше.

Вот и приходится «придумывать» разные конструкции горелок, чтобы и процесс горения был устойчивым (с полным сгоранием поданного в топку угля), и азотосодержащие компоненты, выделившиеся при нагревании угольных пылинок, превращались не в NO , а в N_2 .

Один из вариантов такой горелки был разработан сотрудниками Всероссийского Теплотехнического Института в г. Москве, а технология изготовления и материалы, обеспечивающие длительный срок службы таких горелок были разработаны сотрудниками другого института – ЦНИИТМАШ.

В процессе поиска оптимального решения было проверено 15 различных вариантов конструкции горелок. Эти варианты отличались друг от друга соотношением количества воздуха во внутреннем и внешнем каналах

горелки и соотношением скоростей в каналах. Для каждого из вариантов проводился конструкторский расчёт горелки (рассчитывалась её геометрия). Эти параметры использовались для расчёта аэродинамики топки с помощью программы Fluent. Предварительно строилась трёхмерная модель топочной камеры с горелками в программе Solid Works. Затем в программе Gambit строилась сетка, и после этого осуществлялся ввод исходных данных и расчёт топки в программе Fluent.

На основе всестороннего анализа результатов расчета по каждому из вариантов принималось решение о выборе оптимальной конструкции горелочного устройства.

Сейчас 24 новых горелки (полное их название – «малотоксичные пылеугольные горелки ВТИ-ЦНИИТМАШ») установлены на котле паропроизводительностью 1650 т/ч, который обеспечивает перегретым паром турбогенератор мощностью 500 000 кВт на крупной электростанции Южного Урала.

Используя грант, предоставленный Министерством образования и науки в рамках Федеральной Целевой Программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», специалисты ВТИ в настоящее время выполняют исследования на тепловой электростанции, чтобы найти оптимальные режимы организации топочного процесса.

Первые результаты опытов подтверждают, что установка малотоксичных горелок в сочетании с некоторыми режимными мероприятиями позволяет приблизительно в 1,5 раза снизить выбросы токсичных оксидов азота в атмосферу при сжигании экибастузского угля с чрезвычайно высоким содержанием минеральной массы.

При сжигании других углей, вероятно потребуется усовершенствовать вихревую горелку ВТИ-ЦНИИТМАШ, или разработать новую, которая позволит еще больше снизить выбросы токсичных оксидов азота в

атмосферу. Для решения этой задачи потребуется много лет. И уголь нам придется сжигать очень долго. Так что Вы еще успеете приложить свои силы к решению этой увлекательной задачи.

к.т.н., заслуженный работник
Минтопэнерго России, В.Р. Котлер