

Применение горелок ГГРУ на одnogорелочных и многогорелочных промышленных котлах. Экологическая и энергетическая эффективность использования

К. Ридер, д.т.н., заслуженный изобретатель России, генеральный директор ЗАО «Экотеплогаз»

На котлах типа ПТВМ и КВ-ГМ районных тепловых станций УТЭХ г. Москвы были установлены горелки стадийного сжигания типа ГГРУ, благодаря чему общий выброс вредных веществ в дымовых газах при эксплуатации котлов ГУП «Мостеплоэнерго» был снижен на 50 %. Конструктивные решения, реализованные в горелках, обеспечивают снижение энергозатрат по сравнению с горелками производства Германии в 2,5–3 раза.

Горелки, разработанные и выпускаемые ЗАО «Экотеплогаз», предназначены для работы на природном газе (в том числе на сжиженном и биогазе) или жидком топливе (мазут, дизельное топливо и др.) для паровых (ДКВр, ДЕ и других, любой производительности) и водогрейных (малой, средней и большой мощности ПТВМ, КВГМ и пр.) котлов. Специальные модификации горелок применяют на котлах различной конструкции, в том числе жаротрубных отечественного («Дорогобужкотломаш», Бийский котельный завод, Псковский котельный завод и многих других производителей) и зарубежного производства (LOOS, Viessmann, BAWCOCK и др.). Горелки прекрасно зарекомендовали себя при работе на печах, в том числе для плавки металлов, обжига кирпича, сушки и многого другого.

ЗАО «Экотеплогаз» освоило серийное производство широкого ряда горелочных устройств теплопроизводительностью от 0,115 до 45 МВт. В г.

Москве такими горелками оборудована большая часть районных и квартальных тепловых станций: РТС «Бирюлево», «Бутово», «Внуково», «Волхонка-Зил», «Жулебино», «Коломенская», «Красная Пресня», «Крылатское», «Кунцево», «Курьяново», «Люблино», «Митино», «Пенягино», «Переделкино», «Перово», «Строгино», «Теплый стан», «Терешково», «Тушино-3», «Тушино-5», «Химки-Ховрино», «Чертаново»; КТС-11а, КТС-18, КТС-24, КТС-25, КТС-26, КТС-28, КТС-54, РТС «Некрасовка».

В соответствии с планомерной работой по улучшению экологической обстановки в Москве, на котлах типа ПТВМ и КВ-ГМ районных тепловых станций УТЭХ г. Москвы были установлены горелки стадийного сжигания типа ГГРУ производства ЗАО «Экотеплогаз», отличающиеся пониженным выбросом вредных веществ в продуктах сгорания. Их применение на котлах ПТВМ вместо установленных ранее горелок ВТИ позволило уменьшить общий

выброс вредных веществ в дымовых газах при эксплуатации котлов ГУП «Мостеплоэнерго» на 50 %.

До реконструкции общим недостатком установленных котлоагрегатов был недобор тепловой мощности до номинальной на 10–14 % и содержание оксидов азота в продуктах сгорания на максимальной мощности до 450 мг/м³. После установки горелок ГГРУ и проведения мероприятий по увеличению мощности котлов и снижению содержания оксидов азота в продуктах сгорания, разработанных и предложенных ЗАО «Экотеплогаз», удалось увеличить мощность котлов на 20 %. При этом на 35 % уменьшились выбросы оксидов азота. КПД котлов также был повышен на 2 % благодаря увеличению радиационной составляющей факелов горелок ГГРУ. Существовавшая ранее практика индивидуальной доводки каждой из горелок ВТИ котлоагрегата отпала. Также стало возможным отказаться от применения торкрета, необходимого для

защиты ранее установленных горелок от прогорания.

Отсутствие тяжеловесного торкрета резко облегчило изготовление и монтаж горелок.

Повышение мощности котлов приводит при сохранении существующей компоновки горелок к увеличению теплонапряженности топки. Если в типовом варианте ее величина, принятая для водогрейных котлов, составляет до 300 тыс. ккал/м³.ч, то принятая схема реконструкции котлов с сохранением габаритной базы и одноярусного расположения горелок привели к увеличению теплонапряженности в огневом поясе до 500 тыс. ккал/м³.ч. Подобный фактор вызывает снижение удельного тепловосприятия в топке, рост адиабатической температуры в зоне горения и в результате увеличение удельной концентрации оксидов азота, а в целом – величины валового выброса вредных ингредиентов от котлов. Однако сам принцип сохранения одной и той же ячейки при реконструкции котла определяет экономичность и легкость самой реконструкции котельной и является главенствующим при выборе способа и основных условий реконструкции.

Поэтому настоящая ситуация требует дальнейшего развития природоохранных мероприятий, направленных на снижение токсичности дымовых газов районных тепловых станций.

Поставленная задача оптимизации условий строительства при реконструкции с сохранением головного здания, внутри и вне станционных технологических коммуникаций, оборудования, а также защиты воздушного бассейна требует создания на базе типового котла КВГМ и ПТВМ котлоагрегата, отличающегося ярусным расположением автоматизированных горелочных устройств стадийного сжигания с повышенной утилизацией тепла продуктов сгорания, возможностью работы ярусно расположенных горелочных устройств с переменными коэффициентами расхода воздуха в различных сочетаниях, вводом в горелки отработанных продуктов сгорания путем их рециркуляции с опти-

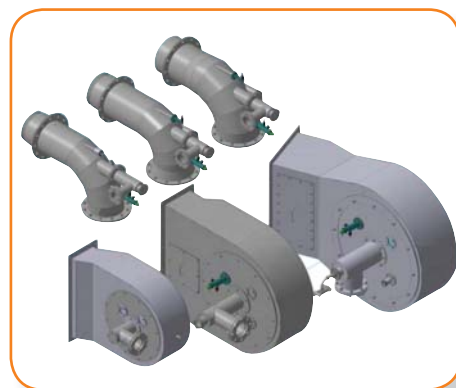
мальной степенью, а также установкой в топке двухцветного экрана.

Принципиальные решения по созданию чистого котла были разработаны ЗАО «Экотеплогаз» на основе ранее проведенных детальных исследований на базе экспериментальной установки и опытно-промышленных теплогенераторов различного типа. Результаты отдельных исследований были подтверждены авторскими свидетельствами и патентами.

Заложенные принципиальные решения по экологии при разработке сочетались с необходимостью поддержания высоких теплотехнических характеристик котла-теплогенератора.

В развитии этих решений ЗАО «Экотеплогаз» были проведены мероприятия на реконструируемых районных и квартальных тепловых станциях г. Москвы.

РТС «Митино». До реконструкции максимальный теплосъем с котлов КВ-ГМ-100 в среднем достигал не более ~80 Гкал/ч. Выход оксидов азота на данной нагрузке составлял ~370 мг/м³ (при $\alpha = 1$). После реконструкции фронт котла был переоборудован: вместо трех заводских горелок вихревого типа были установлены четыре горелки стадийного сжигания типа ГГРУ-3500 в два яруса.



Горелочные устройства типа ГГРУ

Теплопроизводительность котла была доведена до 118 Гкал/ч. Тягодутьевые машины не заменялись.

РТС «Переделкино». В качестве дутьевого устройства был применен вентилятор ВДН-20 и увеличено число оборотов двигателя дымососа. Снижено гидравлическое сопротивление экранных труб котлоагрегата.

Проведенные пусконаладочные испытания показали возможность увеличения теплосъема с котла до 134 Гкал/ч и при этом снижение выбросов оксидов азота на 35%. В этом случае расчеты концентрационных полей рассеивания показали, что величина ПДВ выброса составляла менее 0,1 ПДК.

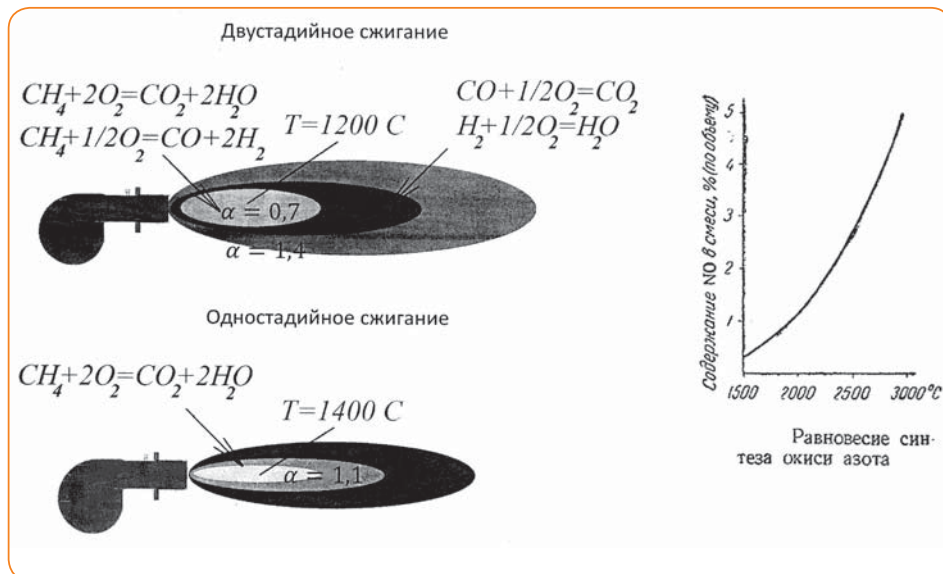


Рис. 1. Схема двухстадийного и одностадийного сжигания топлива

Таблица. Сравнительные результаты обычного и позонного сжигания газа в топке котла ПТВМ-60 с десятью горелками ГГРУ-600

Наименование параметров	Значение величины			
	Режим обычного сжигания	Режим работы горелок с различными расходами воздуха		
Номер опыта		1	2	3
Соотношение давлений газа	1	1,8	2,2	3,1
Расход газа при 0 °С, м ³ /ч	6304	6304	6304	6304
Состав вредных выбросов: монооксид углерода, ppm диоксид азота в пересчете на NO _x при α = 1, мг/м ³	2 324	2 285	2 253	2 224
Экологический эффект, %		12,0	21,9	30,9

Снижение оксидов азота, достигнутое на котлах КВ-ГМ, объясняется применением горелок стадийного сжигания вместо вихревых, равномерным полем тепловых потоков в топке и уменьшением теплонапряженности зоны горения благодаря двухрядному расположению

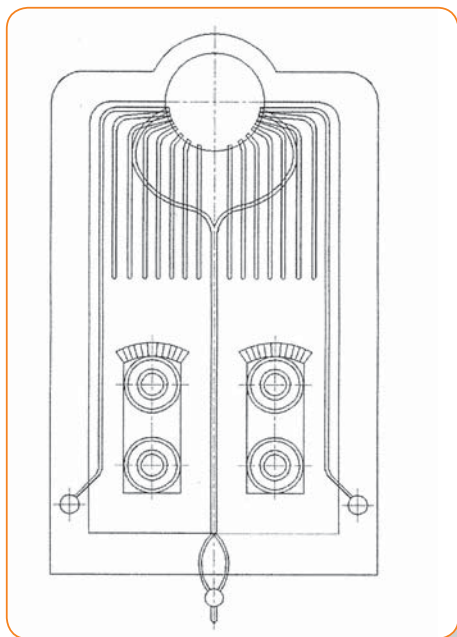


Рис. 2. Установка двухсветного экрана на реконструированном котле ДКВР-10-13

горелок вместо ранее принятой установки горелок треугольником (рис. 1).

В настоящее время осуществляется интенсивное строительство источников автономного теплоснабжения. Учитывая, что в ГУП «Мостеплоэнерго» установлено 26 котлов КВГМ-100, их реконструкция позволит получить дополнительно фактически 1300 Гкал/ч, что равнозначно строительству трех новых станций. Очевидно, что затраты на реконструкцию этих котлов по сравнению с новым строительством несоизмеримо меньше.

Реконструкция котлов ПТВМ с 2003 г. предполагала установку «экологических» котлов ПТВМ-60Э и ПТВМ-120Э, в которых, благодаря установке двухсветного экрана, происходит дополнительный съем тепла в центре топки.

Охлаждение пламени путем передачи тепла окружающим поверхностям является эффективным методом уменьшения выхода NO_x, так как при этом время реакции образования оксидов азота, зависящее от скорости охлаждения продуктов сгорания, уменьшается. Это позволяет снизить локальные температуры в наиболее напряженной зоне горения и тем самым уменьшить выбросы оксидов азота.

Наряду с этим размещение дополни-

тельных экранов повышает теплопроизводительность котла при сохранении его габаритов. Это, как известно, обеспечивает экономичное решение по реконструкции котлов.

Указанное техническое решение было применено ранее на котле ДКВР-10/13 производственно-отопительной котельной ДСК г. Калинина (рис. 2).

Реконструкцией предусматривалась установка двухсветного экрана поверхностного нагрева 24 м² по оси топки, дополнительного стального экономайзера кипящего типа с поверхностью нагрева 62,8 м². Поверхность чугунного экономайзера была увеличена до 472 м². На фронте котла были установлены в два яруса четыре горелки. В результате испытаний реконструированного котла его теплопроизводительность увеличилась вдвое.

Размещение в топке дополнительных тепловоспринимающих поверхностей обеспечило значительное снижение оксидов азота.

На низких нагрузках в диапазоне 20–40 % максимальной достигаемое снижение концентрации NO_x в дымовых газах котла составило 25–30 %. При увеличении паропроизводительности в диапазоне 60–100 % нагрузки снижение

концентрации оксидов азота в дымовых газах достигло 55 % (рис. 3).

Применение автоматизированных горелочных устройств позволяет эксплуатировать горелки с минимально необходимым коэффициентом избытка воздуха.

Как показал целый ряд исследований, для горелок с неполным предварительным смещением пик выхода оксидов азота находится в зависимости от степени предварительного смещения в диапазоне $\alpha = 1,12-1,18$. Смещение коэффициента избытка воздуха в сторону единицы позволяет снизить выход оксидов азота на 10–15 %. В нашем случае горелки типа ГГРУ могут работать в режиме $\alpha = 1,02-1,04$ и таким образом минимизировать выход оксидов азота.

Реализация последнего решения была выполнена силами ГУП «Мостеплоэнерго» более чем на 100 котлах с помощью прибора КГА8. Его применение обеспечило постоянную коррекцию технологического режима котлов по оптимизации режимов сжигания и минимизации NO_x . В связи с этим не только был сформирован внутри-отраслевой мониторинг режимов работы котлов, но и появилась возможность постоянной передачи информации в систему городского мониторинга.

Ярусное расположение горелок позволяет осуществлять режим сжигания в варианте – нижний ряд горелок с коэффициентом избытка первичного воздуха ниже единицы, например 0,7, верхний – с коэффициентом избытка воздуха больше единицы, например, 1,4.

В целом коэффициент избытка воздуха за котлом составил $\alpha = 1,05$.

При работе горелок с $\alpha < 1$ обеспечивается снижение уровня температуры в ядре факела горелки в связи с недостатком воздуха и, вследствие этого, снижается выход оксидов азота.

При работе горелок с $\alpha = 1,4$ также происходит захлаживание факела горелки из-за избыточного количества воздуха. Температура в ядре факела падает по сравнению со стехиометрическим сжиганием газа, и как следствие процесс образования оксидов азота

затормаживается. Это приводит к снижению концентрации оксидов азота в уходящих газах котла. Часть газа, не сгоревшая в факеле горелок нижнего ряда, дожигается в избыточном воздухе верхнего ряда.

Однако в связи с тем, что несгоревшая часть газа невелика и рассредоточена по всему объему топки, повышенных температур в топке не наблюдается, средний коэффициент избытка воздуха за котлом остается низким и эффект по снижению оксидов азота сохраняется.

Предварительные работы были проведены при десяти встречно работающих горелках на котлах ПТВМ-60 на РТС «Волхонка-Зил». В процессе испытаний были получены данные по трем соотношениям расходов газа на горелки, расположенные с противоположных сторон котла. Результаты испытаний сведены в таблицу.

Коэффициент избытка воздуха за котлом не изменялся по сравнению с обычным режимом сжигания. Очень важным является минимальное содержание в уходящих газах монооксида углерода. Мощность выброса NO_x была снижена с 4,8 до 3,3 г/с.

Тепловая мощность котлов в обычном режиме сжигания и при соотношении давлений газа три к единице не изменилась и составила 49,6 Гкал. КПД оставался равным 92 %. Горелки при проведении всех экспериментов работали устойчиво.

Для усиления эффекта снижения оксидов азота в выбросах котлов было разработано специальное автоматизированное устройство рециркуляции дымовых газов. В этом случае при постоянном расходе природного газа через горелки объем факела увеличивается и температура его снижается, что в свою очередь приводит к падению концентрации оксидов азота в продуктах сгорания газа.

Выход NO_x по механизму Зельдовича определяется лишь атомарным кислородом, а атмосферный кислород влияет только на скорость реакции образования оксидов азота. При одинаковом времени пребывания уменьшение концентрации

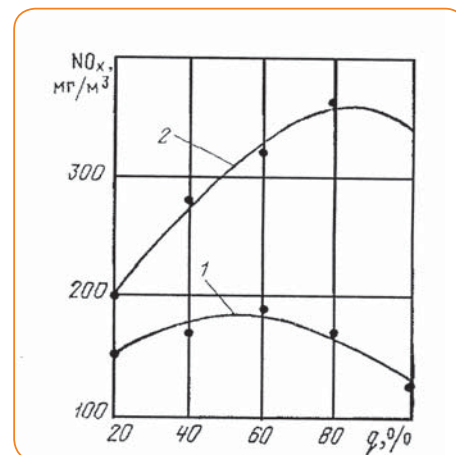


Рис. 3. Снижение оксидов азота за счет установки двухсветного экрана

атомарного кислорода приводит к снижению концентрации оксидов азота в уходящих газах.

Как известно, генерация кислорода происходит при небольших концентрациях окиси углерода, характерных для начального периода горения. Следовательно, подавляя процесс генерации атомарного кислорода в начальный период горения, можно добиться значительного снижения выхода оксидов азота в продуктах сгорания.

Механизм генерации атомарного кислорода основан на присутствии в пламени активированных молекул CO_2 . Избыточная энергия может расходоваться либо на расщепление молекулы O_2 , либо на получение кванта энергии при столкновении с молекулами типа CO , NO_x , CO_2 .

Во втором случае избыточной энергии CO_{2x} не хватает для разрушения молекул ввиду высоких значений их энергии связи. Поэтому для подавления генерации атомарного кислорода в зоне реакции уже в начальный момент горения должны присутствовать инертные топочные газы, которые могут быть поданы путем рециркуляции.

Этот метод снижения оксидов азота был реализован на котле ПТВМ-100 РТС «Тушино-3» на базе горелок ГГРУ-1000. Рециркуляции дымовых газов в устройстве осуществлялась принудительно.

Дымовой газ отбирался за конвективной поверхностью котла и направ-

лялся в смесители горелок инжекторно-тангенциального типа, расположенные перед горелками. В смесителях осуществлялось смешение дымовых газов с воздухом, и далее полученная смесь подавалась в горелочные устройства. Подача рециркуляционных газов также увеличивает скорость истечения газозвушной смеси.

Уменьшение температуры горения в факеле и увеличение скорости выброса смеси существенно снижают стабилизационные характеристики горелки по отрыву факела.

Горелки ГГРУ разработаны с учетом использования как отдельно, так и совместно с рециркуляционными устройствами и отличаются повышенными стабилизационными характеристиками горения.

Рециркуляционная система устроена таким образом, что при работе дымососов рециркуляционный газ поступает во все горелки, в том числе и неработающие.

Автоматизация устройства рециркуляции котла предусматривает включение дымососов с пульта управления, открытие ПРЗ, автоматическое поддержание заданного режима давления рециркуляционного газа перед горелками, отключение рециркуляции, сигнализацию включения дымососов, поддержание давления рециркуляционного газа.

Испытания были проведены на РТС «Терешково» в двух вариантах. В первом варианте при работе котла с 16-ю горелками в обычном режиме концентрации оксидов азота в уходящих газах составила 240 мг/м³ при α , приведенном к единице. После подачи рециркуляционных газов (второй вариант) содержание оксидов азота в уходящих газах упало до 120 мг/м³ или 60 ppm в пересчете к принятой величине $\alpha = 1,4$ концентрация оксидов азота составила 85,7 мг/м³.

Во втором варианте степень рециркуляции была равна 20 %. Давление рециркуляционного газа после ПРЗ составило $P_p = 1,55$ кПа. При этих условиях было получено практически 45 %-ное снижение содержания оксидов азота.

Такое снижение можно объяснить рядом факторов: низкой температурой рециркуляционных газов (за счет отбора

газа на входе в дымовую трубу), вводом продуктов рециркуляции фактически в газозвушную смесь, низким значением коэффициента избытка первичного воздуха, близким к единице (благодаря конструкции горелки ГГРУ-1000).

При работе котла на 16-ти горелках содержание монооксида углерода после подачи рециркуляционных газов увеличилось с 11 до 16 ppm.

Для определения величины максимально целесообразной степени рециркуляции была проведена серия экспериментов с учетом различных нагрузок котла при ее увеличении до максимально возможного, значения коэффициентов избытка воздуха за котлом поддерживались близкими к минимально необходимому. Эксперименты показали, что максимально целесообразная степень рециркуляции составляет приблизительно 20 %. С учетом большого опыта эксплуатации горелок на котельных агрегатах ОАО «МОЭК» и других заказчиков ЗАО «Экотеплогаз» для РТС «Перово» были разработаны модернизированные горелки ГГРУ-М. Применение их, наряду с целым рядом специальных мероприятий и улучшенным алгоритмом работы горелок, позволило бы при уже достигнутых результатах, таких, как увеличение КПД котлов на 2 %, гарантированно снизить содержание оксидов азота не менее чем на 40 % и обеспечить экономию газа до 4 % (в среднем при расчете на год).

Хотелось бы обратить внимание на то, что горелки ГГРУ хорошо себя зарекомендовали при работе как на одnogорелочных, так и многогорелочных котлах.

Учитывая их большую единичную мощность, практически 45–50 МВт, их можно использовать на крупных паровых и водогрейных котлоагрегатах, на которых повышенная мощность самого котлоагрегата может быть обеспечена путем естественного набора необходимого числа горелок. Заложенный в горелках принцип стадийности сжигания при низких коэффициентах избытка первичного воздуха $\alpha = 1,02$ – $1,04$ обеспечит экономию природного газа или жидкого топлива, а выравнивание температур в топке увеличит износостойкость экранных поверхностей и приведет к

снижению выброса вредных веществ. Наряду с этими предложениями ЗАО «Экотеплогаз» была предложена схема автоматизации регулирования нагрузки по наличию CO, в то время как параметр O₂ носит чисто информативный характер. Это позволит обеспечить экономии топлива несмотря на изменение погодных условий (для водогрейных котлов), т.е. барометрического давления, погодных температур и влажности. Такая схема также опробована на ряде станций ОАО «МОЭК».

Наличие в горелках специально-го завихрителя переменного сечения позволяет качественно сжигать топливо при пониженных давлениях воздуха перед горелкой ~ 120 мм вод.ст. Это обеспечивает снижение энергозатрат по сравнению с горелками производства Германии в 2,5–3 раза. Коллектив ЗАО «Экотеплогаз» постоянно работает над совершенствованием горелочных устройств.

Литература

1. Ридер К.Ф., Равич М.Б., Шуркин Е.Н. Метод подавления окислов азота в высоконапряженных топках беспламенного горения // Промышленная энергетика. – 1976. – № 5.
2. Ридер К.Ф. Оценка возможности снижения выхода окислов азота при эксплуатации горелок института «Мосгазпроект» // Промышленная энергетика. – 1977. – № 2.
3. Ридер К.Ф. Совершенствование теплотехнических и токсикологических характеристик газогорелочного оборудования и котлов районных тепловых станций: Тезисы доклада к Всесоюзному научно-техническому совещанию «Повышение качества сжигания топлива и охрана окружающей среды от загрязнения вредными выбросами ТЭС и крупными промышленными предприятиями». – Казань, 31 мая – 2 июня, 1988 г.
4. Ридер К.Ф., Гайстер Ю.С. Способ управления процессом горения. Патент РФ № 2100703. 1997 г. Б.И. № 36.
5. Ридер К.Ф., Хохлов Л.К. Способ повышения энергетических и экологических показателей горелочных устройств и устройство для его реализации. Патент РФ № 2122154. 1988 г. Б.И. № 32.