

ИНДЕКС 83011
WWW.EN-INFO.RU
1, 2010

О реализации правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование энергетических ресурсов и вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии

ЭНЕРГОНАДЗОР

информ

energy-info@peterlink.ru

Е Ж Е К В А Р Т А Л Ь Н Ы Й Ж У Р Н А Л



ПРОДЭКС



МИНИ-ТЭС, КОТЕЛЬНЫЕ, ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ



ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО, ОБСЛУЖИВАНИЕ

Санкт-Петербург, (812)702-1120, 603-2361, WWW.PRDХ.RU
Москва, ЗАО НПП "Стройпроектсервис" (495)652-2470, 652-2471

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В КОТЛОАГРЕГАТАХ

А.Н. ВОЛИКОВ, д.т.н., профессор СПбГАСУ, зав. кафедрой ТГС и ОВБ

О.Н. НОВИКОВ, к.т.н., генеральный директор ЗАО НПФ «УРАН-СПб»

А.Н. ОКАТЬЕВ, к.т.н., технический директор ЗАО НПФ «УРАН-СПб»

Проблемы повышения эффективности использования топлива и уменьшения выбросов вредных веществ особенно актуальны в тех отраслях промышленности, где сжигание большого количества топлива происходит с недостаточной полнотой и относительно низким КПД. К этой группе потребителей относятся котельные ЖКХ и промышленных предприятий с котлами мощностью от 2 до 20 МВт.

Главной проблемой в области совершенствования сжигания топлива является необходимость одновременного решения сложных и часто взаимоисключающих задач: повышения экономичности его сжигания, уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу и снижения капитальных затрат на их осуществление. Одновременное решение этих задач принято называть **энергоэкологической оптимизацией сжигания топлива**.

Можно выделить несколько направлений такой оптимизации:

- автоматизация работы котла;
- технологическое направление: режимные мероприятия, различные варианты ступенчатого сжигания топлива, рециркуляция дымовых газов и другие мероприятия, которые активно внедряются в последние годы на пылеугольных и газомазутных котлах;
- конструктивное направление: совершенствование узлов котлоагрегата, топочных и горелочных устройств;
- очистка продуктов сгорания, невыгодная с точки зрения энергетических затрат, но необходимая в некоторых случаях;
- утилизация теплоты отходящих газов и снижение тепловых потерь.

В настоящее время наиболее важным является усовершенствование существующих котлоагрегатов, а не строительство новых, поэтому из названных направлений оптимизации перспективным является технологическое, ориентированное на причины и механизмы неэкономичного сжигания топлива и образования вредных веществ. Ряд технологий позволяет добиться значительного эффекта при весьма ограниченных капиталовложениях с помощью автоматизации управления сжиганием топлива. В данной статье приведены некоторые результаты практической реализации мероприятий по повышению экономичности сжигания топлива в котлах, достигнутые ЗАО Научно-производственной фирмой «УРАН-СПб».

С учетом состояния действующего парка отопительных котельных, имеющих физически и морально устаревшие, часто неработоспособные системы автоматики регулирования, составной частью или начальным шагом комплексного решения может быть усовершенствование, с целью повышения экономич-

ности сжигания топлива, штатных систем автоматики или, в некоторых случаях при значительном износе, их полная замена. Следующим шагом по энергосбережению является уменьшение расхода электроэнергии тягодутьевыми машинами котлоагрегатов.

Характерной особенностью внедрения энергосберегающих и природоохранных технологий на действующих котлах малой и средней мощности является жесткое их ограничение по капитальным затратам. В соответствии с этим целесообразны решения, предусматривающие не замену существующего технологического оборудования новым, а максимально возможное его использование при условии достижения современных показателей по эффективности сжигания топлива и охране воздушного бассейна. Исключение составляют только небольшие усовершенствования некоторых узлов горелочных устройств в ходе внедрения какого-либо технологического метода. По сути, такие действия являются **энергоэкологической реабилитацией** действующего теплотехнического оборудования.

Эффективность работы котлоагрегата складывается из эффективности работы его узлов: горелочных устройств, поверхностей нагрева, теплообменников (экономайзеров, воздухоподогревателей), тягодутьевых машин и других устройств. В данной статье акцент делается на эффективность сжигания топлива, т. е. экономичность работы непосредственно горелочных устройств и связанного с ними оборудования (вентиляторов и дымососов).

Экономичность сжигания топлива характеризуется коэффициентом полезного действия (КПД) или величиной полезно используемого тепла, которая, в свою очередь, представляет разность между тепловой энергией сгоревшего топлива и потерями энергии. Основные потери – это потери тепла с уходящими газами (q_2) и потери, связанные с недожогом топлива (q_3).

Потери q_2 зависят: от разности температур дымовых газов и входящего воздуха; содержания остаточного кислорода (O_2) в дымовых газах или от соотношения «топливо – воздух» подаваемого на горение, т. е. от коэффициента избытка воздуха (α). Эти потери очень значительны, и их необходимо уменьшать.

Потери q_3 также зависят от избытка воздуха, но главным образом они определяются: качеством перемешивания топлива и воздуха; полноты сжигания топлива и содержанием горючих остатков в дымовых газах ($CO + H_2 + CH$). Сумму концентрации представляют либо в виде эквивалентной концентрации оксида углерода (CO), либо просто оксидом углерода (CO) из-за малости остальных составляющих. Эти потери должны быть минимальными при правильно организованном горении.

Влияние изменения коэффициента избытка воздуха (α) на концентрацию основных компонентов дымовых

газов (O_2 , CO_2 , CO , NO_x) и КПД (η) при определенной нагрузке котлоагрегата показывают графики *рис. 1*.

Рисунок 1

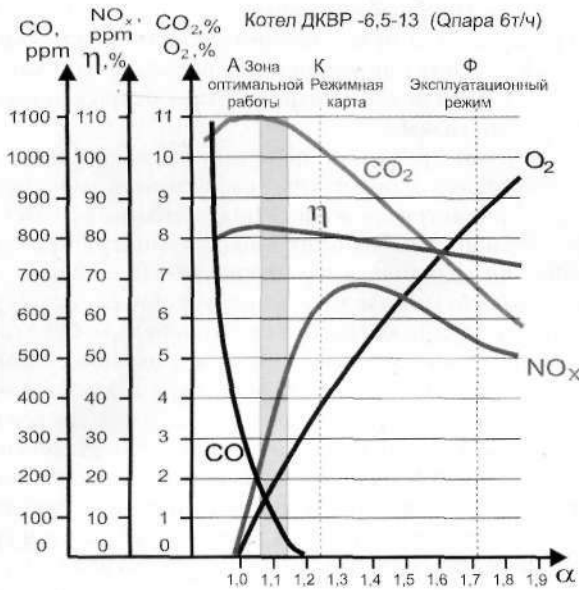
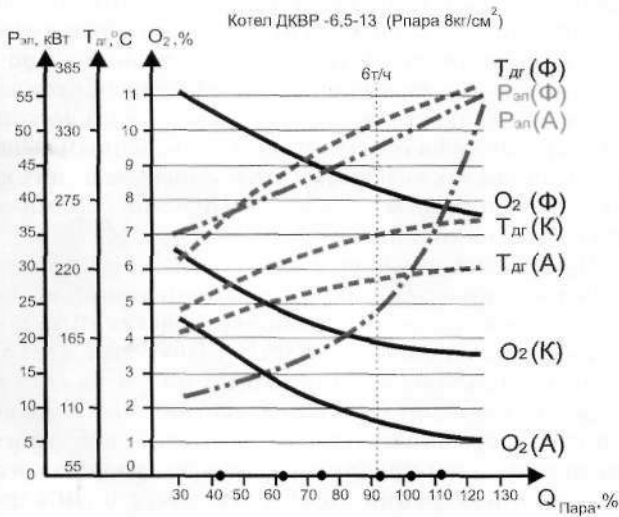


Рисунок 2



Из приведенных кривых видно, что уменьшение коэффициента избытка воздуха способствует: снижению содержания кислорода, повышению КПД и, как следствие, снижению температуры дымовых газов и потребления электроэнергии вентилятором и дымососом. Одновременно с этим уменьшается выход вредных окислов азота (NO_x), т.е. улучшается экологическая обстановка. Появление химического недожога (CO) определяет границу допустимого воздействия на уменьшение подачи воздуха. Эта граница является гибкой и зависит как от характеристик горелочных устройств, так и от нагрузки котла. На её положение влияет также: состав топлива (теплота его сгорания); климатические условия; температура топлива и воздуха; техническое состояние оборудования и много других текущих факторов. Область экономически выгодного режима сжигания топлива соответствует малым значениям содержания кислорода (0,5 – 1,5 %)

и появлению «следов» химического недожога, т.е. содержанию оксида углерода на уровне 100 – 300 ppm. Работа в этой зоне (А), выделенной на *рис. 1* штриховкой, может быть обеспечена только автоматической коррекцией работы горелочных устройств. На этом же рисунке показаны линии (пунктирные), соответствующие работе котла по режимной карте (К) и фактическому режиму (Ф), когда со временем за счет негерметичности топочно-дымового тракта ухудшаются экономические показатели котла. Поэтому очень важно поддерживать работу котлоагрегата по режимной карте.

На *рис. 2* приведены графики зависимостей от нагрузки котла (например, расхода пара $Q_{пара}$); содержания кислорода в дымовых газах (O_2); электрической мощности ($P_{эл}$), потребляемой из сети вентилятором и дымососом; температуры дымовых газов ($T_{дг}$) для различных систем автоматики котла и вариантов их настройки. Так новая оптимизированная автоматика котла с автоматической коррекцией коэффициента α на графиках обозначена как - (А). Существующая автоматика котла с дополнительными приборами контроля качества сжигания топлива и ручной регулировкой α по режимной карте - (К). Существующая автоматика котла без переделок схемы, которая работает фактически не по режимной карте - (Ф), в результате длительной эксплуатации после наладки.

Вторая составляющая, влияющая на экономичность работы котлоагрегата, это величина потерь электроэнергии двигателями вентиляторов и дымососов. При проектировании номинальная производительность этих машин и, соответственно, мощность электродвигателей выбираются из расчета максимально-возможной тепловой мощности котла. Фактически потребляемая мощность котла, в соответствии с изменяющимися условиями, значительно меньше расчетной. Регулирование осуществляется в сторону уменьшения – дросселирования с помощью заслонки. Этот способ регулирования очень неэкономичен, так как значительная часть энергии расходуется на преодоление сопротивления заслонки. Альтернативным, экономичным является способ регулирования производительности при полностью открытой заслонке изменением скорости вращения электродвигателя, питающегося от преобразователя частоты (ЧРП).

В связи с появлением относительно недорогих и надежных ЧРП предлагается, с целью повышения эффективности работы котлоагрегатов, устанавливать к электродвигателям вентиляторов, дымососов, а иногда и питательных насосов, регулируемые преобразователи частоты, которые обеспечивают дополнительную экономию электроэнергии и плавное и точное регулирование производительности этих машин. На *рис. 2* показаны кривые мощности потребляемой из сети всеми электродвигателями котлоагрегата: $P_{эл}$ (А) - для новой предлагаемой системы автоматики с энергосбережением, т.е. с анализаторами дымовых газов, корректором и ЧРП; $P_{эл}$ (Ф) – для существующей системы автоматики без нововведений и ее длительной эксплуатации без наладки.

На сегодняшний день большинство отопительных котельных работают по режимным картам, которые обновляются через три года. В этих картах расход подаваемого на горение воздуха не зависит от изменения характеристик топлива и состояния оборудования. При

составлении режимной карты наладчики сознательно увеличивают расход воздуха, подаваемого на горение, для исключения химического недожога, вызванного отсутствием стационарных приборов контроля состава отходящих газов и тем, что котлы нередко работают с ручным регулированием подачи топлива и воздуха. Кроме этого, отсутствие контроля герметичности топки и дымоходов приводит к увеличению производительности дымососа из-за «присосов» воздуха из котельной. В процессе эксплуатации оператор визуально определяет качество горения, в результате чего расход воздуха может увеличиться еще больше и рабочая точка сместится в область больших α . Все это ведет к перерасходу топлива и повышенному выбросу загрязняющих веществ в атмосферу.

Приблизить работу котла к показателям режимно-наладочной карты можно, имея информацию о содержании свободного кислорода и оксида углерода в уходящих газах. Такую информацию можно получить от стационарных анализаторов дымовых газов, например, разработанных и выпускаемых фирмой «УРАН-СПб». Для этой цели подойдут: анализатор кислорода O_2 -МАДГ-2 совместно с анализатором оксида углерода СО-МАДГ-1; комбинированный анализатор КАДГ-2; интеллектуальный анализатор качества горения ИАКГ-2. Приборы изготавливаются в двух модификациях (Б) и (М), рассчитанные на применение в больших и малых котлоагрегатах. Установка этих приборов позволяет оператору получать от них непрерывно данные и вручную корректировать режим согласно наладочной карте. При этом оператор может своевременно обнаруживать серьезные неисправности в газоздушном тракте технологического оборудования по расхождению параметров — заданных в режимной карте и измеренных анализаторами. Возможность оперативного контроля технического состояния котла и ручная коррекция позволяют существенно повысить эффективность, надежность и экономичность работы теплогенерирующей установки.

Следующим логичным этапом энергоэкологической оптимизации сжигания топлива является внедрение технологических решений, направленных на организацию горения с низким или предельно низким коэффициентом избытка воздуха. Положительного эффекта можно достичь даже на существующем газогорелочном оборудовании, только при использовании систем непрерывного автоматического контроля и регулирования соотношения «топливо – воздух». Это — наиболее малозатратный и эффективный способ экономии топлива с одновременным уменьшением образования вредных веществ в топке. При этом необходимо поддерживать подачу воздуха так, чтобы значение коэффициента α находилось в довольно узкой области (зона А на рис.1), нижнюю границу которой определяет появление следов оксида углерода (на уровне 100 - 300 ppm), а верхнюю — рост потерь теплоты с уходящими газами и повышение интенсивности образования оксидов азота, сопутствующее росту концентрации свободного кислорода.

К проблемам применения данного способа стоит отнести сложность получения высококачественной топливо-воздушной смеси для исключения химического недожога. Особенно это важно при небольших нагрузках котла, когда в целях регулирования расхода давление воздуха снижают до критического значения,

при котором горелочное устройство не может обеспечить аэродинамические условия интенсивного смесеобразования в корпе факела. Это может вызывать увеличение потерь теплоты от химического недожога топлива и снижение экологичности работы котлоагрегата вследствие выбросов высокотоксичного оксида углерода (СО). Для исключения подобных ситуаций при наладке идут на увеличение расхода воздуха, что в свою очередь ведет к возрастанию потерь теплоты с уходящими газами.

Основной причиной, ограничивающей сжигание топлива с предельно низким коэффициентом избытка воздуха, является сложность поддержания оптимального соотношения «топливо-воздух» на границе возникновения химического недожога. Обеспечить это можно только на базе микропроцессорных систем регулирования, для которых в свою очередь необходима оперативная информация о составе уходящих газов.

Таким образом, требуется применение надежных, легких в управлении и быстро окупающихся систем регулирования подачи воздуха в топку котла. Известные системы такого типа можно классифицировать в соответствии с применяемыми корректирующими сигналами. В системах, получивших наибольшее распространение на мощных котлах энергетического назначения, в качестве корректирующего используется сигнал по содержанию свободного кислорода в дымовых газах. Однако результаты работы данных систем позволяют сделать вывод о недостаточной представительности такого корректирующего сигнала для условий отопительных и производственно-отопительных котлов, работающих в условиях часто и резко меняющихся нагрузок. Анализ других известных схем автоматического регулирования на соответствие их отмеченным выше требованиям также показывает, что ни одна из них не отвечает принципам энергоэкологической оптимизации сжигания топлива.

Принципиально новый подход к решению рассматриваемой проблемы заложен в концепции систем автоматического регулирования семейства «Факел», разработанных фирмой «УРАН-СПб». Этот подход базируется на утверждении, что для получения оптимального регулирующего воздействия необходимо иметь информацию о содержании как свободного кислорода, так и продуктов химического недожога. Диапазон измерения по O_2 составляет 0...10%, по СО — 0...2000 ppm.

Только имея комплексную информацию о содержании O_2 и СО в продуктах сгорания, можно добиться экологически чистого и экономичного сжигания топлива с учетом технологического изменения нагрузки, состава топлива, температуры топлива и воздуха, климатических параметров и других условий, определяющих процесс горения.

Для автоматизации процесса коррекции НПФ «УРАН-СПб» предлагает оснащать существующую автоматику котлов кроме анализаторов O_2 и СО в дымовых газах еще дополнительным корректирующим регулятором, воздействующим на штатный регулятор воздуха. Такие, запрограммированные по заданию этой фирмы, микропроцессорные корректирующие регуляторы типа «МИНИТЕРМ-400.07» выпускает ОАО «МЗТА». Комплект данных приборов входит в проектно-компонованную энергосберегающую систему «Факел-2», которая может быть легко адаптирована к любой системе автоматики котла.

Подобными функциями энергосбережения обладает специально разработанный для котлов малой и средней мощности корректор-анализатор качества горения КАКГ-1. В корпусе данного прибора размещены: анализатор кислорода; измерители температуры и давления дымовых газов; вычислитель КПД горения; регулятор, корректирующий подачу воздуха на горение. На базе этого прибора могут быть построены различные проектно-компоуемые энергосберегающие системы автоматики. Примером может служить разработанная применительно для блочных газовых горелок с локальным регулированием воздушной заслонки типа ГБЛ ОАО «Завод "Старорусприбор"», проектно-компоуемая система энергосбережения «Факел-3». Данная система, кроме корректора-анализатора КАКГ-1, содержит еще ЧРП, питающий электродвигатель вентилятора горелки и осуществляющий плавное регулирование подачи воздуха на горение в зависимости от содержания кислорода в дымовых газах.

Завершающий этап оптимизации горения — создание автоматизированной системы «Факел-2000» управления всем топливосжигающим агрегатом, внедренной на котлоагрегатах типа ДКВР без изменения конструкции горелочных и топочных устройств, т.е. без удорожания технологического оборудования. Предлагаемая система заменяет типовую схему автоматики котлов со щитами типа ЦК-2М, имеющими устаревшие и снятые с производства регуляторы типа Р-25 (регулирование расходов топлива и воздуха, разряжения в топке и уровня воды в барабане котла), на регуляторы типа «МИНИТЕРМ-400». Автоматическую коррекцию в данной системе осуществляет дополнительно установленный регулятор соотношения «топливо – воздух», который получает сигналы от анализаторов остаточного кислорода типа O_2 -МАДГ-2 и продуктов химического недожога в дымовых газах типа СО-МАДГ-1. Газоанализаторы устанавливаются непосредственно в газоход за котлом в наиболее представительных точках. Выход корректирующего регулятора соединяется с третьим входом регулятора воздуха, осуществлявшего в прежней системе «грубое» регулирование подачи воздуха по сигналам от датчиков давления топлива и воздуха. По желанию заказчика микропроцессорные регуляторы «МИНИТЕРМ-400» и многоканальный самописец типа «Ф-1771» (ОАО «Завод "Вибратор"») могут быть объединены в кольцо интерфейсного обмена информации с управляющим персональным компьютером, который устанавливается в помещении для операторов. На экране монитора компьютера отображаются: функциональная схема котлоагрегата; значения технологических параметров в определенных точках. По программе, заложенной в компьютер, осуществляется: архивирование данных, поступающих из шкафа управления котла; их обработка; построение различных графиков и дистанционное управление котлом с клавиатуры компьютера. Компьютер может быть отключен от шкафа управления котлом, при этом не нарушится нормальная работа котла. Котлом можно будет управлять вручную с лицевой панели шкафа.

Предлагаемые ЗАО НПФ «УРАН-СПБ» газоаналитические приборы, системы коррекции соотношения «топливо-воздух» и комплексные системы автоматизации котлоагрегатов с функцией энергосбережения позволяют:

- реализовать общую концепцию энергосберегающей работы котлоагрегатов в непрерывном режиме;

- экономить до 6-10% топлива в течение года;
- сократить, на 30 - 40 % выбросы оксидов азота в атмосферу;
- уменьшить на 20 - 55 % потребление электроэнергии вентиляторами и дымососами;
- повысить надежность работы теплотехнического и механического оборудования за счет диагностики и контроля работы газовоздушных трактов, датчиков, исполнительных механизмов и др.

Анализ полученных результатов показывает, что полная окупаемость затрат на внедрение систем «Факел-2», «Факел-3» и «Факел-2000», которая зависит от мощности котлоагрегатов и от исходного технического состояния, составляет от 4 до 24 месяцев.

В последнее время на рынке появилось много систем автоматизации котлоагрегатов, как зарубежных, так и отечественных, построенных на микропроцессорных контроллерах. В большинстве своем в них либо полностью отсутствуют, либо присутствуют, но частично, функции энергосбережения на основе анализаторов O_2 и СО в дымовых газах. Для устранения этого существенно недостатка ЗАО НПФ «УРАН-СПБ» рекомендует и самостоятельно внедряет свои разработки по экономному сжиганию топлива в виде отдельных энергосберегающих приборов и системы на их основе, которые гармонично адаптируются к существующим и проектируемым системам автоматизации котлоагрегатов, при этом удается обеспечивать быструю окупаемость средств, затраченных на их внедрение. В этом отношении, на наш взгляд, заслуживает внимания перспективная и выгодная по показателю «цена/качество» отечественная комплексная котельная автоматика, выпускаемая ООО КБ «АГАВА»: контроллеры типа КС-6432; многопредельные измерители давления АДН/АДР; измерители-регуляторы уровня АДУ; датчики-реле контроля пламени АДП; преобразователи частоты типа ERMAN и другие приборы. На основе котельной автоматики КБ «АГАВА» и газоаналитических приборов НПФ «УРАН-СПБ» можно решать проблему экономного сжигания топлива в котлах, при этом затраты на внедрение автоматических систем окупятся в короткие сроки.

Литература

1. Воликов А. Н. Сжигание газового и жидкого топлива в котлах малой мощности. – Недра, 1989 г.
2. Новиков О. Н., Артамонов Д. Г., Шкаровский А. Л., Кочергин М. А., Окатьев А. Н. Энергоэкологическая оптимизация сжигания топлива в котлах и печах регулированием соотношения «топливо-воздух». – Промышленная энергетика, № 5, 2000 г.
3. www.npfuran.spb.ru



ЗАО НПФ «УРАН-СПБ»

Контактный телефон (812) 369-05-93,
E-mail: npf_uran@mail.ru