

Центр | Юг | Северо-Запад | Дальний Восток | Сибирь | Урал | Приволжье

# ЭНЕРГО**НАДЗОР**

№6 (15), ИЮЛЬ, 2010 год



**Марк ПОТЕРЯЕВ,**  
директор ООО «Проектная организация «Теплоэнергосервис»:

**«Наша миссия —  
внедрение инноваций  
для развития экономики страны»**

**с. 34**

# ЭКОЛОГИЧНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ



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 снижение капитальных затрат на их осуществление.

**Анатолий ВОЛИКОВ,**  
профессор СПбГАСУ,  
заведующий  
кафедрой ТГС  
и ОБВ, доктор  
технических наук

**Олег НОВИКОВ,**  
генеральный  
директор ЗАО НПФ  
«УРАН-СПб»,  
(Санкт-Петербург),  
кандидат  
технических наук

**Алексей ОКАТЬЕВ,**  
технический  
директор ЗАО НПФ  
«УРАН-СПб»,  
кандидат  
технических наук

**О**дновременное решение этих задач принято называть энергоэкологической оптимизацией сжигания топлива.

Можно выделить несколько направлений такой оптимизации:

- технологическое: 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: совершенствование узлов котлоагрегата, топочных и горелочных устройств;

- автоматизация работы котла;

- 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 котло-

агрегатов, а не строительство новых, поэтому из названных выше 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.

С учетом состояния действующего парка отопительных котельных, имеющих физически и морально устаревшие, часто не работоспособные системы автоматики регулирования, составной частью или начальным шагом комплексного решения может быть усовершенствование штатных систем автоматики с целью повышения экономичности сжигания топлива. 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 ограничение по капитальным затратам. В соответствии с этим целесообразны решения, предусматривающие не замену существующего технологического оборудования, 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 так далее.

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, то есть от коэффициента избытка воздуха ( $\alpha$ ). 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 ( $CO_3$ ), либо просто оксидом углерода ( $CO$ ), из-за малости остальных составляющих. Эти потери должны быть минимальными при правильно организованном горении.

Влияние изменения коэффициента избытка воздуха ( $\alpha$ ) на концентрацию основных компонентов дымовых газов ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ) и КПД ( $\eta$ ) при определенной нагрузке котлоагрегата показывают графики (см. рис. 1, 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 ее положение влияет:

- состав топлива (теплота его сгорания);
- климатические условия;
- температура топлива и воздуха;
- техническое состояние оборудования и другие факторы.

Область экономически выгодного режима сжигания топлива соответствует малым значениям содержания кислорода (0,5–1,5%) и появлению «следов» химического недожога, то есть содержанию оксида углерода на уровне 100–300 ppm. Работа в этой зоне (А), выделенной на рис. 1 желтым цветом, 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.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ КОТЛОАГРЕГАТА СКЛАДЫВАЕТСЯ ИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЕГО УЗЛОВ: ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ, ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА, ТЕПЛООБМЕННИКОВ (ЭКОНОМАЙЗЕРОВ, ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ), ТЯГОДУТЬЕВЫХ МАШИН**

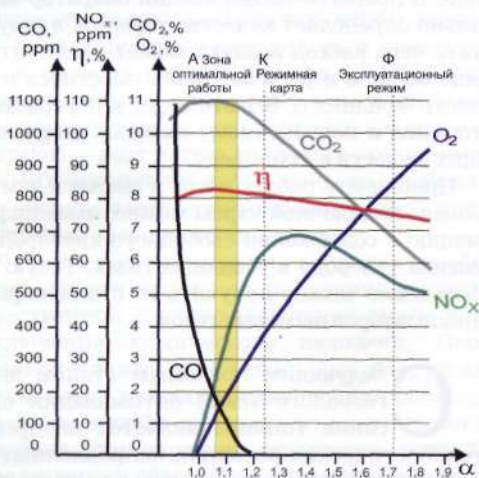


Рис. 1. Котел ДКВР-6,5-13 ( $Q$  пара 6 т/ч)

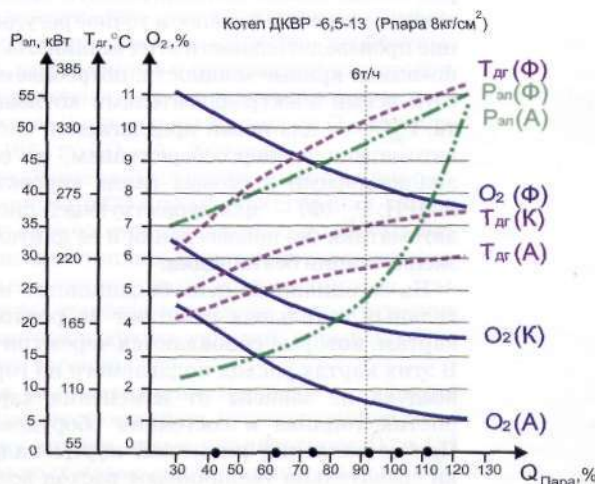


Рис. 2. Котел ДКВР-6,5-13 ( $P$  пара 8 кг/см<sup>2</sup>)

ПРЕДЛАГАЕТСЯ  
УСТАНОВЛИВАТЬ  
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 приведены графики зависимостей от нагрузки котла:

- 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  $\alpha$  на графиках обозначена А. Существующая автоматика котла с дополнительно установленными приборами контроля качества сжигания топлива и ручной регулировкой  $\alpha$  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, — 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, но более 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 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:  $P_{эл}(A)$  — для новой предлагаемой системы автоматики с энергосбережением, то есть 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 отсутстви-



ем 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  $\alpha$ . 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.

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  $\alpha$  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 топливно-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 зоне факела. Это может вызывать увеличе-

ние потерь теплоты от химического недожога топлива и снижение экологичности работы котлоагрегата. 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 его 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 CO — 0...2000 ppm.

Только имея комплексную информацию о содержании  $O_2$  и CO 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 предлагается оснащать существующую автоматику котлов кроме анализаторов  $O_2$  и CO в дымовых газах еще дополнительным корректирующим регулятором, действующим на штатный регулятор воздуха. ■

**ТОЛЬКО ИМЕЯ  
КОМПЛЕКСНУЮ  
ИНФОРМАЦИЮ  
О СОДЕРЖАНИИ  
 $O_2$  И CO  
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**