

ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЖИГАНИЯ ГАЗОВОГО И ЖИДКОГО ТОПЛИВА В КОТЛАХ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Воликов А.Н.¹, Новиков О.Н.², Окатьев А.Н.²

¹ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия (190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4)

²ЗАО НПФ «УРАН-СПб», Санкт-Петербург, Россия (198005, Санкт-Петербург, ул. Варшавская, 5а, лит. Л, оф. 109), e-mail: npf_uran@mail.ru

В работе предложено решение проблемы в области совершенствования сжигания топлива в отопительных котельных с котлами мощностью 2-20 МВт. При этом решаются задачи повышения экономичности сжигания, снижения выбросов вредных веществ в атмосферу и затраты на их осуществление. Совместное решение этих задач называется энергоэкологической оптимизацией сжигания топлива. Основные её направления заключаются в автоматизации работы котла, режимных мероприятиях: ступенчатом сжигании топлива, рециркуляции дымовых газов, совершенствовании узлов и элементов котла, очистке продуктов сгорания, утилизации теплоты уходящих газов, снижении теплопотерь. Для получения оптимального регулирующего воздействия на работу котла необходимо иметь информацию о содержании как свободного кислорода, так и продуктов химического недожога в дымовых газах. Сумму их концентраций удобно представлять как эквивалентную концентрацию оксида углерода. Только имея комплексную информацию о содержании оксида и диоксида углерода в продуктах сгорания, можно добиться экологически чистого, экономичного сжигания топлива с учетом технологического изменения нагрузки, состава, температуры топлива и воздуха, параметров климата и т.д. Для автоматизации процесса коррекции предложено оснащать автоматику котлов кроме анализаторов оксида и диоксида углерода дополнительным корректирующим регулятором, воздействующим на штатный регулятор воздуха.

Ключевые слова: Энергоэкологическая эффективность, газовое топливо, жидкое топливо, котёл

ENERGY-ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF BURNING OF GAS AND LIQUID FUELS IN THE BOILERS OF SMALL AND AVERAGE CAPACITY

Volikov A.N.¹, Novikov O.N.¹, Okatiev A.N.¹

¹Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education "Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering ", Saint-Petersburg, Russia (190005, Saint- Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya Street, 4)

²Closed joint-stock company scientific production firm «URAN- Saint-Petersburg», Saint-Petersburg, Russia (198005, Saint-Petersburg, Varshavskaya Street, 5A, lit. L, office 109), e-mail: npf_uran@mail.ru

In the work of the proposed solution in the field of improvement of the combustion of fuel in the heating boiler-houses with boilers with a capacity of 2 to 20 MW. If this solves the tasks of increasing the efficiency of combustion, the reduction of emissions of harmful substances into the atmosphere and the costs of their implementation. The joint solution of these tasks is called the energy-ecological optimization of combustion of fuel. The main directions are in the automation of the work of the boiler operating activities: a step-like fuel combustion, flue gas recirculation, the improvement of nodes and elements of the boiler cleaning of combustion products, utilization of heat of the flue gases, reducing heat losses. To obtain the optimal regulatory impact on the operation of the boiler it is necessary to have information about the content as free oxygen, and products of chemical underburning in the flue gases. The sum of their concentrations can be represented as equivalent to the concentration of carbon oxide. Only with comprehensive information on the content of nitric oxide and carbon dioxide in combustion products, you can achieve an environmentally friendly, cost-effective combustion of fuel with the technological change of the load, the temperature of the fuel and air, the climate, etc. For automation of the process of correction requested to be equipped with an automatic boilers except analyzers oxide and carbon dioxide additional corrective regulator, acting on the standard air regulator.

Key words: Energy efficiency, environmental efficiency, gas fuel, liquid fuel, boiler

Введение

Повышение эффективности сжигания газового и жидкого топлива, уменьшение выбросов вредных веществ весьма актуальны в топливо-потребляющих системах, где сжигание больших количеств топлива происходит с недостаточной полнотой и относительно низким КПД. К этой группе потребителей относятся отопительные котельные ЖКХ и промышленных предприятий с котлами мощностью от 2 до 20 МВт.

Цель данной статьи – решение проблемы совершенствования сжигания топлива. Для этого необходимо одновременное решение часто взаимоисключающих задач: повышения экономичности сжигания, уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу и капитальные затраты 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 газо-мазутных котлах;
- конструктивное направление: совершенствование узлов и элементов котла, топочных и горелочных устройств;
- очистка продуктов сгорания, невыгодная с точки зрения энергетических затрат, но необходимая в некоторых случаях;
- утилизация теплоты уходящих газов, снижение тепловых потерь.

В первую очередь, предприятий-заказчиков интересует усовершенствование установленных котлов, а не строительство новых. Поэтому перспективным направлением оптимизации 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 НПФ «УРАН-СПб» совместно с СПбГАСУ.

С учетом состояния действующего парка отопительных и промышленных котельных, имеющих физически и морально устаревшие, часто не работоспособные системы автоматики регулирования, составной частью или начальным шагом комплексного решения может быть усовершенствование, с целью повышения экономичности сжигания топлива, штатных систем автоматики или, в некоторых случаях – при значительном износе, их полная замена. Следующим шагом энергосбережения 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 горелочного устройства в ходе внедрения какого-либо технологического метода. Поэтому такие действия являются энергоэкологической реабилитацией действующего теплотехнического оборудования.

Эффективность работы котлоагрегатов складывается из эффективности работы его компонентов: 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).

КПД котла, при сжигании газового и жидкого топлива, зависит от трех видов потерь – q_2 (потери с уходящими газами); q_3 (потери с химической неполной сжигания); q_5 (потери в окружающую среду). Потери тепла с уходящими газами q_2 зависят: от температуры и объема дымовых газов, т.е. от коэффициента избытка воздуха α . Потери q_3 также зависят от избытка воздуха, но главным образом они определяются качеством перемешивания топлива и воздуха. Эти потери должны быть близкими к нулю при правильно организованном горении. Потери q_5 в окружающую среду зависят от конструктивных особенностей котла, но главным образом от состояния обмуровки котла. Эти потери относительно невелики и обычно не уменьшаются при ремонте в процессе проведения РНИ.

Влияние коэффициента избытка воздуха α на концентрацию основных компонентов дымовых газов (O_2 , CO_2 , CO , NO_x) и КПД η при определенной тепловой нагрузке котла показывают графики рис.1.

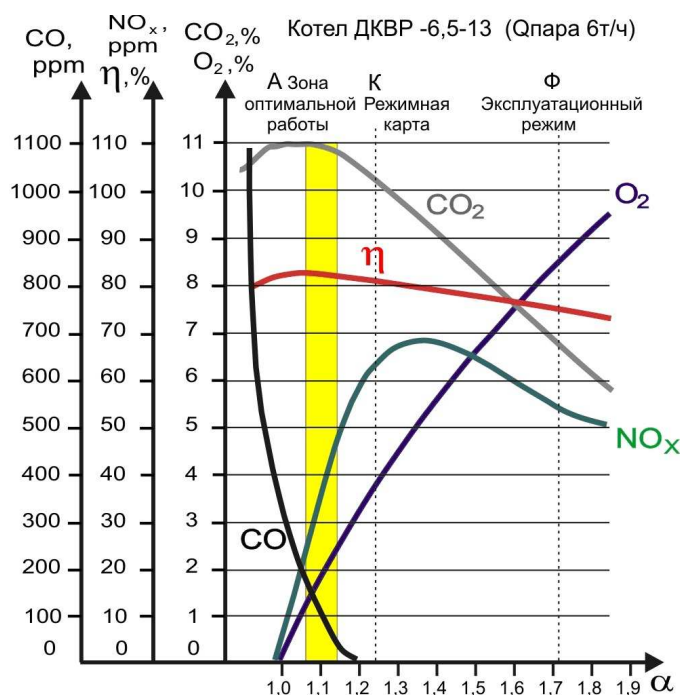


Рис. 1. Влияние коэффициента избытка воздуха на концентрацию основных компонентов дымовых газов и КПД при определенной тепловой нагрузке котла

Из приведенных кривых видно, что уменьшение коэффициента избытка воздуха способствует: снижению содержания кислорода (O_2), повышению КПД и, как следствие, снижению температуры дымовых газов и потребления электроэнергии вентилятором и дымососом. При этом уменьшается выход вредных окислов азота (NO_x). Появление химического недожога (CO) определяет границу допустимого воздействия на уменьшение подачи воздуха. Эта граница является гибкой и зависит от характеристик горелочных устройств, тепловой нагрузки котла. Область экономически выгодного режима сжигания топлива соответствует малым значениям кислорода (0,5–1,5%) и появлению «следов» q_3 , т.е. содержанию оксида углерода на уровне 120–600 мг/м³. 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, соответствующие работе котла по режимной карте (К) и фактическому режиму (Ф), когда за счет негерметичности топочно-дымового тракта со временем ухудшаются экономические показатели котла.

На рис. 2 приведены графики зависимостей от паропроизводительности парового котла ($Q_{пара}$): 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. Новая оптимизированная автоматика котла с автоматической коррекцией коэффициента α на графиках обозначена как (А). Существующая автоматика котла с дополнительно установленными 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 в результате длительной эксплуатации после наладки – (Ф).

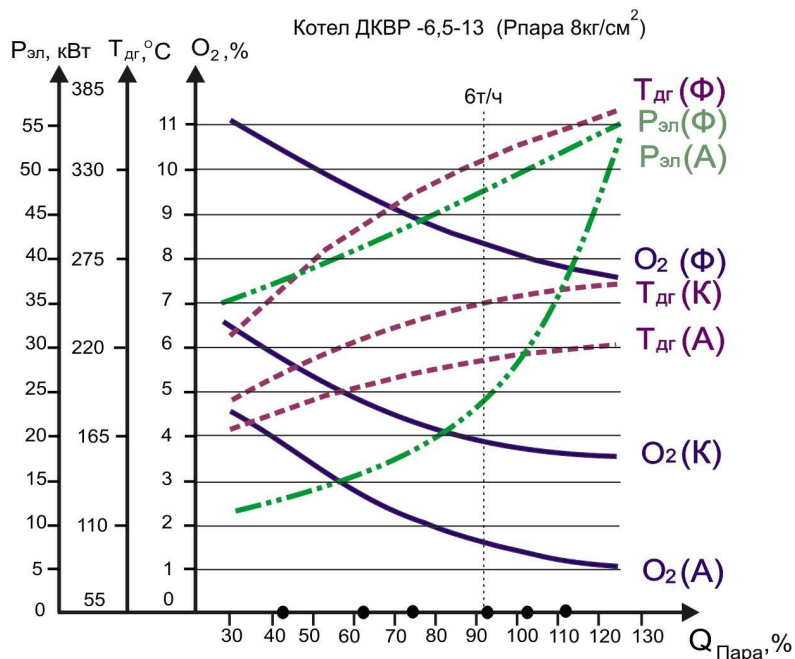


Рис. 2. Графики зависимостей от паропроизводительности котла: электрической мощности вентилятора и дымососа; содержания кислорода и температуры дымовых газов.

Вторая составляющая, влияющая на экономичность работы котлоагрегата, – это величина расхода электроэнергии двигателями вентиляторов и дымососов. Электрическая мощность двигателей рассчитана на номинальную теплопроизводительность котлов. Фактически тепловая мощность котла может быть 40–110% от номинальной, в соответствии с изменяющимися условиями потребления теплоты (пара). Регулирование производительности вентилятора и дымососа в сторону уменьшения обычно осуществляется дросселированием с помощью заслонки, которая устанавливалась на входе этих машин. Этот способ регулирования крайне неэкономичен. Альтернативным является способ регулирования производительности тягодутьевых машин изменением скорости вращения электродвигателя, с использованием преобразователя частоты (ПРЧ). На рис. 3 представлены зависимости мощности P , потребляемой из сети центробежным вентилятором (дымососом), от величины расхода L для двух способов регулирования, и зависимость экономии мощности P при питании электродвигателя от ПРЧ. Из рис. 3 видно, что потребляемая мощность при регулировании производительности изменением скорости вращения составляет меньше половины мощности, потребляемой из сети при регулировании дроссельными заслонками. С помощью ЧРП можно значительно снизить мощность, потребляемую электродвигателем, а

тем самым и расход электроэнергии за счет отсутствия потерь в заслонке. Использование ПРЧ обеспечивает дополнительную экономию электроэнергии и позволят получить плавное и точное регулирование производительности этих машин.

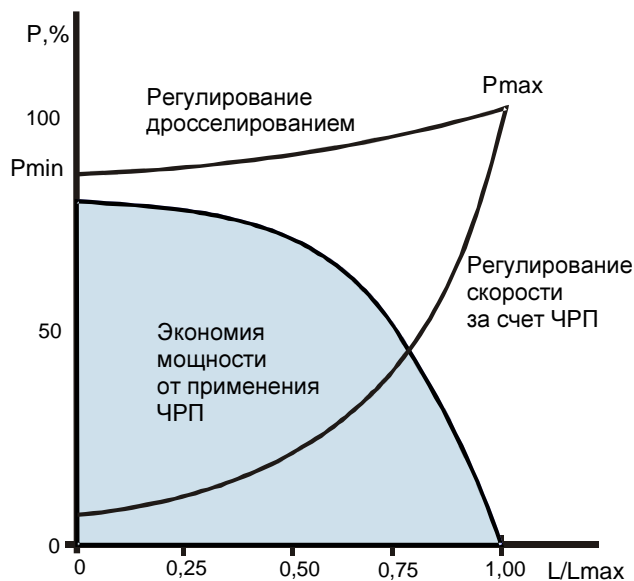


Рис. 3. Зависимость экономии мощности от расхода вентилятора (дымонасоса)

На рис. 2 показаны кривые мощности, потребляемой электродвигателями котлоагрегата: $P_{эл}(A)$ – для новой предлагаемой системы автоматики с функцией энергосбережения за счет анализаторов дымовых газов, корректора и ЧРП; $P_{эл}(Ф)$ – для существующей системы автоматики без нововведений и после ее длительной эксплуатации без наладки.

Сегодня в большинстве котельных Санкт-Петербурга и Ленинградской области работают системы автоматики, не оборудованные приборами контроля состава отходящих газов, а котлы работают с ручным регулированием подачи топлива и воздуха. При составлении режимной карты наладчики сознательно увеличивают расход воздуха, подаваемого на горение, для исключения химического недожога, вызываемого изменением теплоты сгорания топлива, температуры воздуха и др. В процессе эксплуатации оператор визуально определяет качество горения, в результате чего расход воздуха может увеличиться еще больше. Все это ведет к перерасходу топлива и повышенному выбросу загрязняющих веществ в атмосферу.

Приблизить работу котла к показателям режимно-наладочной карты, обеспечить максимальную эффективность работы котла 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 можно использовать: анализатор кислорода O_2 - МАДГ-2 и анализатор оксида углерода CO -МАДГ-1, или комбинированный

анализатор КАДГ-2, или интеллектуальный анализатор качества горения ИАКГ-2. Установка этих приборов позволяет оператору получать непрерывно данные от анализаторов. При этом оператор может своевременно обнаруживать серьезные неисправности в газо-воздушном 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. Это 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, а верхнюю – рост потерь теплоты с уходящими газами и повышение интенсивности образования оксидов азота, сопутствующее росту концентрации свободного кислорода.

Высокой эффективности сжигания топлива с низкими значениями α можно достичь, даже на существующем газогорелочном оборудовании, только при использовании систем непрерывного контроля и регулирования соотношения «топливо–воздух». Это требует разработки надежных, легких в управлении и быстро окупающихся систем регулирования подачи воздуха в топку котла. Принципиально новый подход к решению рассматриваемой проблемы заложен в концепции систем автоматического регулирования семейства «Факел», разработанных НПФ «УРАН-СПб». Этот подход базируется на утверждении, что для получения оптимального регулирующего воздействия необходимо иметь информацию о содержании как свободного кислорода O_2 так и продуктов химического недожога $CO+H_2+CH_4$ в дымовых газах, сумму концентраций которых удобно представлять в виде эквивалентной концентрации оксида углерода $(CO)_Э$. Диапазон измерения по O_2 составляет 0-10 %, по $(CO)_Э$ 0-2850 мг/м³. 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 НПФ «УРАН-СПб» предлагает существующую автоматику котлов оснащать кроме анализаторов O_2 и CO в дымовых газах еще дополнительным корректирующим регулятором, воздействующим на штатный регулятор воздуха. Такие запрограммированные микропроцессорные корректирующие

регуляторы типа «МИНИТЕРМ-400.07» выпускает ОАО «МЗТА». Комплект данных приборов представляет проектно-компонуюемую энергосберегающую систему автоматики «Факел-2», которая может быть легко адаптирована к любой системе автоматики котла.

В качестве **заключения** отметим, что полная окупаемость затрат на внедрение систем «Факел-2», «Факел-3» и «Факел-2000», зависящая от тепловой мощности котла, достигается за 4–24 месяца. Предложенные газоаналитические приборы, системы коррекции соотношения «топливо–воздух» и системы автоматизации котлоагрегатов позволяют:

- реализовать концепцию энергосберегающей работы котлоагрегатов в непрерывном режиме;
- экономить до 6–10 % топлива в течение года;
- сократить, на 3–40 % выбросы оксидов азота в атмосферу;
- уменьшить на 20–55 % потребление электроэнергии вентиляторами и дымососами;
- повысить надежность работы оборудования за счет диагностики и контроля работы газовоздушных трактов, датчиков, исполнительных механизмов и др.

Список литературы

1. Борщов Д.Я., Воликов А.Н. Защита окружающей среды при эксплуатации котлов малой мощности. – М.; Стройиздат, 1987 г.
2. Воликов А.Н. «Сжигание газового и жидкого топлива в котлах малой мощности». – Л., Недра, 1989 г.
3. Воликов А.Н. Совершенствование энергосберегающих и природоохранных технологий и конструкций отопительно-коммунальных котельных малой мощности. Автореферат диссертации доктора технических наук / СПбГАСУ. – СПб., 2001. – 50 с.
4. Воликов А.Н., Шкаровский А.Л. Методы подавления выбросов оксидов азота при сжигании газа и мазута в котлах малой и средней мощности. – М.; ИРЦ Газпром, 1993 г.
5. Воликов А.Н., Новиков О.Н., Окадьев А.Н. Повышение эффективности сжигания топлива в котлоагрегатах // ж. «Энергонадзор-Информ», №1(43), 2010. – С. 54-57.

Рецензенты:

Дацюк Тамара Александровна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой общей и строительной физики, декан факультета инженерно-экологических систем. ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург.

Юрманов Борис Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург.