

Многопараметрический метод оптимизации избытка воздуха

Н. В. Минчев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

E-mail: minivik@mail.ru

Аннотация. Доклад посвящен описанию решения задачи оптимизации избытка воздуха для процесса горения в котельных установках.

Ключевые слова: котельная установка, оптимизация, эффективность, методика Зигерта

I. ВВЕДЕНИЕ

Под оптимизацией понимается процесс нахождения экстремума определённой функции или выбор наилучшего варианта из множества возможных на основании определенных параметров. В случае котельных установок оптимизация заключается в поддержании на должном уровне и/или повышении эффективности работы, которая зависит от изменений в нагрузке, топливе, окружающей среде, износе оборудования и т. п. Существует большое количество методов, которые позволяют повысить как прямо, так и косвенно эффективность либо всей установки, либо отдельных её блоков. Некоторые из этих методов являются универсальными, т. е. могут применяться к различным котельным установкам, в независимости от того какого типа котел или на каком топливе он работает, другие же могут применяться только к определенным установкам. Одним из универсальных методов является оптимизация избытка воздуха. [1], [2]

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Так как работа котельной установки предполагается на одном виде топлива и при определенном уровне нагрузки, то появляется возможность построения зависимостей концентрации кислорода O_2 и коэффициента избытка воздуха α (КИВ) от тепловой нагрузки D . [1], [2], [3]

На основании этого можно сформулировать задачу оптимизации, как нахождение функции концентрации кислорода от тепловой нагрузки $O_2(D)$ при условии, что коэффициент полезного действия η (КПД) стремится к максимальному значению и для нагрузки более 50 % КИВ стремится к единице. При этом есть функции расхода топлива от тепловой нагрузки $B_T(D)$, расхода воздуха от расхода топлива $B_{вг}(B_T)$ и расхода воздуха от давления воздуха на горение $B_{вг}(P_{вг})$, и они являются линейными, тогда выражения для них записываются в виде:

$$B_T(D) = k_1 \cdot D + b_1, \quad (1.1)$$

$$B_{вг}(B_T) = k_2 \cdot B_T + b_2, \quad (1.2)$$

$$B_{вг}(P_{вг}) = \pi \cdot d^2 \cdot P_{вг} / 4, \quad (1.3)$$

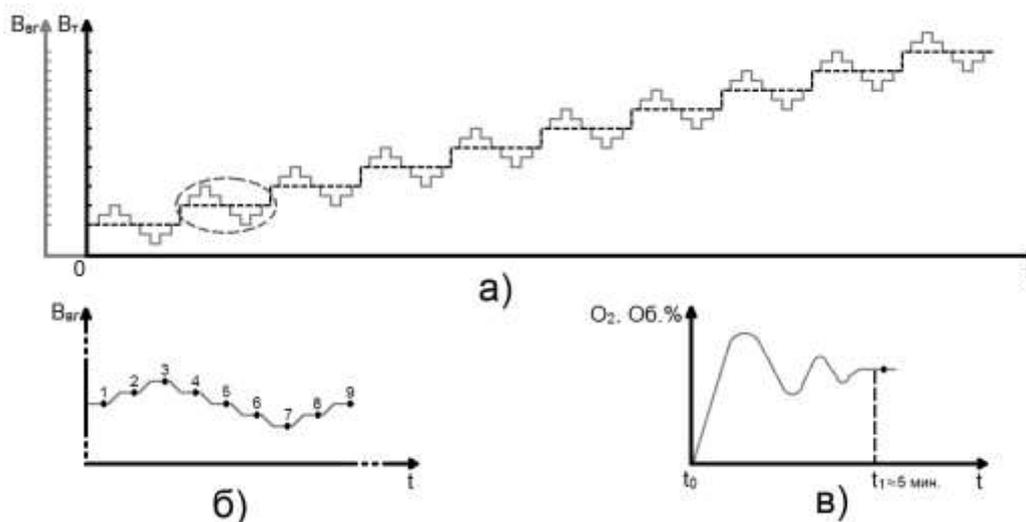


Рис. 1. а) Графики устанавливаемых значений расхода топлива и расхода воздуха; б) Уточненный график расхода воздуха с точками фиксации параметров; в) График переходного процесса концентрации кислорода с точкой фиксации

где k_1 , k_2 , b_1 и b_2 – коэффициенты, зависящие от параметров котельной установки; d – диаметр трубы подачи воздуха на горение.

Предлагаемое решение данной задачи предназначается для использования в информационно-измерительных и управляющих системах (ИИУС)

котельных установок с регуляторами соотношения топлива/воздух. В данном случае корректировка соотношения производится за счет изменения давления воздуха:

$$P_{\text{вз}}^{\text{кор}} = (1 + O_2^{\text{ПДД}}) \cdot P_{\text{вз}},$$

где $P_{\text{вз}}^{\text{кор}}$ – скорректированное давление воздуха на горение, задаваемое для тягодутьевой машины; $P_{\text{вз}}$ – измеряемое давление воздуха на горение; $O_2^{\text{ПДД}}$ – выходное значение ПИД-регулятора концентрации кислорода.

В качестве уставки для ПИД-регулятора предлагается использовать сумму значения смещения, введенного оператором, и значения, получаемого из зависимости $O_2(D)$. [1], [2]

Исходя из выражений (1.1), (1.2) и (1.3) в системе устанавливаются начальные значения параметров, соответствующие началу ступени на рис.1а, а именно точка 1 на рис. 1б. В частности, на тягодутьевой машине устанавливается давление:

$$P_{\text{вз}1} = 4 \cdot B_{\text{вз}1} / \pi \cdot d^2 = (4 \cdot k_2 \cdot (k_1 \cdot D_1 + b_1) + b_2) / \pi \cdot d^2$$

Полученное давление $P_{\text{вз}1}$ является значением, относительного которого происходит смещение расхода воздуха с равномерным шагом $\Delta B_{\text{вз}}(\Delta P_{\text{вз}})$, при этом начальный размер шага давления на практике берется равным 15% от основного значения, т. е. $\Delta P_{\text{вз}} = 0.15 \cdot P_{\text{вз}1}$.

После установления показаний концентрации кислорода (рис. 1в), которое занимает около пяти минут, производится фиксация данного параметра, а так же расчет и фиксация коэффициента α и КПД η по методике Зигерта.

Методика Зигерта является альтернативой обратного нормативного метода для расчета КПД котельных установок. Преимуществом данной методики является возможность расчета КПД в режиме реального времени без использования большого числа справочных таблиц. Расчет осуществляется по следующим формулам:

$$\eta = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5 - q_6,$$

q_2 – удельные потери тепла с уходящими дымовыми газами:

$$q_2 = (T_{\text{дг}} - T_{\text{вз}}) [A_1 / (21 - O_2) + B],$$

где $T_{\text{дг}}$ и $T_{\text{вз}}$ – измеряемые температуры дымовых газов и воздуха, идущего на горение; O_2 – измеряемая концентрация кислорода; A_1 и B – справочные коэффициенты, характерные для определенного вида топлива.

q_3 – удельные потери тепла от химической неполноты сгорания топлива:

$$q_3 = A_2 \cdot CO / (CO + CO_2),$$

где CO – измеряемая концентрация оксида углерода в дымовых газах; CO_2 – вычисляемая концентрация диоксида углерода:

$$CO_2 = CO_2^{\text{max}} / \alpha,$$

где CO_2^{max} – справочная максимальная концентрация диоксида углерода в топливе; α – коэффициент избытка воздуха, вычисляемый по выражению:

$$\alpha = 21 / (21 - O_2)$$

q_4 – удельные потери от механической неполноты сгорания твердого топлива:

$$q_4 = Q_4 \cdot 100 / Q_p^p,$$

где Q_4 – количество тепла, оставшееся на выходе из котла в несгоревшем топливе; Q_p^p – количество тепла, содержащегося в топливе и воздухе, подаваемом на горение.

q_5 – удельные потери тепла на излучение и конвекцию в окружающую среду:

$$q_5 = q_5^{\text{ном}} \cdot D_{\text{ном}} / D,$$

где $q_5^{\text{ном}}$ – нормативные табличные данные для номинальной нагрузки котла; $D_{\text{ном}}$ – номинальная нагрузка котла; D – измеренная фактическая нагрузка котла.

q_6 – удельные потери тепла в шлаке или золе при слоевом и камерном сжигании твердого топлива:

$$q_6 = Q_6 \cdot 100 / Q_p^p,$$

где Q_6 – количество тепла, уносимое со шлаком и золой. [4], [5], [6]

В большинстве случаев для ИИУС котельных установок потери q_4 и q_6 считают постоянными, и корректируют во время пуско-наладочных работ, проводимых раз в три года.

После фиксации значений параметров производится смещение расхода воздуха и этап, описанный выше, повторяется. Данный этап повторяется для всех точек на рис. 1б.

После прохода по всем точкам имеется три массива по девять значений в каждом, а именно $O_2^{D_1}$ [1..9], α^{D_1} [1..9] и η^{D_1} [1..9]. Из массива $O_2^{D_1}$ [1..9] выбирается такое значение, при котором КПД является максимальным относительно других точек массива и для диапазона тепловой нагрузки 50...100 % дополнительно учитывается условие приближенности коэффициента избытка воздуха к единице. После чего происходит запись данного значения в память. При этом если α для диапазона нагрузки 50...100 % превосходит 1.5 или меньше 0.7, то поиск повторяется с уменьшенным шагом.

Затем уровень тепловой нагрузки увеличивается на 10 %, если D_1 меньше 100 %, если же D_1 равен 100 %, то происходит уменьшение на такой же шаг. Данное значение шага было выбрано, потому что функция $O_2(D)$ будет определяться как полином Лагранжа, для которого не рекомендуется использовать степень выше девятой, ввиду сложности расчетов.

После увеличения нагрузки поиск концентрации кислорода с оптимальным КПД повторяется. Данный этап повторяется до тех пор, пока тепловая нагрузка не достигнет 100 %.

На основании полученных значений концентрации кислорода и тепловой нагрузки вычисляется полином функции $O_2(D)$:

$$O_2(D) = \sum_{i=0}^9 \left[O_2(D_i) \cdot \prod_{j=0}^9 (D - D_j) / \prod_{j \neq i}^9 (D_i - D_j) \right]$$

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рассмотрена задача многопараметрической оптимизации избытка воздуха и предложено решение данной задачи, которое может позволить не только автоматизировать оптимизацию

избытка воздуха, но и снизить потери тепла с уходящими газами, за счет приближения к стехиометрическому горению. Это дает возможность повысить эффективность работы котельной установки и снизить выбросы вредных веществ в атмосферу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Bela G. Liptak Process control and optimisation. Volume 2. BocaRaton: Taylor&Francis Group, 2006, 2368 с.
- [2] MacDonald J.A. Optimizing Power Boiler Efficiency Calls for Heat Loss Cuts, System Insulation and Modifications, Energy-Tech, April 2004.
- [3] Завьялова М.Ю., Алабугин А.А. Методы повышения эффективности работы мини и крышных котельных за счет глубокого охлаждения дымовых газов // Южно-Уральский государственный университет, 2017, с. 76-80.
- [4] Новиков О.Н., Окатьев А.Н., Крыжова Н.С. Приборы контроля эффективности и качества промышленного сжигания топлива // Юбилейные чтения, посвященные научной школе измерительных информационных технологий. Сборник научных трудов. Политех-пресс, Санкт-Петербург, 2020, с. 117-131.
- [5] Flue gas analyser GA-40. Madur Electronics. 60 с.
- [6] Портативный газоанализатор Delta 2000CD-IV. Инструкция по эксплуатации. MRUGmbH. 30 с.