

УДК 621.4

С.Н.Губарь, доцент;

В.М.Шестаков, доцент

АЛГОРИТМ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

Succession of heat calculation for industrial steam generator is discussed.

На деревообрабатывающих предприятиях парогенераторы являются источниками энергоснабжения. Теплоносители в виде пара и горячей воды покрывают все потребности технологии, отопления и вентиляции, горячего водоснабжения. Высокая стоимость энергоносителей вынуждает искать новые пути улучшения эффективности работы парогенераторов, используя проектные и поверочные методы расчетов.

Задачи проектного и поверочного расчетов парогенератора существенно различаются. Проектный расчет можно рассматривать как поиск наилучших условий работы парогенератора. Громадное практическое значение для находящихся в эксплуатации промышленных парогенераторов имеют поверочные расчеты, когда анализируются возможные отклонения контролируемых параметров. Оба типа расчетов требуют значительных затрат времени на ЭВМ. При выполнении поверочных расчетов неизвестными оказываются все температуры продуктов сгорания на входе и выходе из соответствующих поверхностей нагрева, размещаемых по всему газоздушному тракту парогенератора. Без этой же информации невозможно оценить размеры и условия работы поверхностей нагрева. Вот почему для решения такой задачи используются только итерационные методы. Тогда далее, составляя уравнения теплового баланса и теплопередачи, можно оценить выходные температуры рабочих тел и продуктов сгорания для соответствующих поверхностей нагрева.

Но последовательность расчета меняется, если компоновка теплообменников по газоходу оказывается нетрадиционной: отсутствует пароперегреватель, воздухоподогреватель, есть необходимость многоступенчатой компоновки и т.п. Поэтому существенно изменяются и условия работы других поверхностей нагрева, возникает необходимость в разуклономном распределении тепловых нагрузок не в ущерб стоимости парогенератора. Это, конечно, приводит к эффективному использованию дополнительной информации - базы данных.

Температуры рабочих тел и продуктов сгорания влияют на теплофизические свойства - теплоемкость, плотность, вязкость, числа Прандтля. Эти теплофизические параметры вместе с лучистой составляющей конвективного теплообмена определяют величину коэффициента теплопередачи и размеры поверхности нагрева по газовоздушному тракту парогенератора. Тогда применение, например, интерполяционных полиномов Лагранжа существенно повышает надежность и точность этих теплотехнических расчетов.

Отметим другое важное обстоятельство - точность вычисления промежуточных по газоходу температур продуктов сгорания влияет не только на затраты машинного времени, но и вообще на возможность их правильного вычисления. Поэтому программа ЭВМ для подобных расчетов должна конструироваться как ДИАЛоговая. Только в этом случае удастся правильно решить поставленные задачи с использованием корректирующих эвристик, включая методы интерполяции и аппроксимации. При таком подходе программа ЭВМ перестает быть просто инструментом расчета, но также выполняет и обучающие функции. Последнее обстоятельство в равной степени важно не только для проектировщика, но и для инженера-эксплуатационника. Умелое использование такого подхода позволяет проектировать энерготехнологическое оборудование с хорошими технико-экономическими показателями. Значение базы данных и на этом этапе также велико.

В программе ЭВМ значительное внимание уделено нами учету влияния температуры уходящих газов. Как известно, эта температура определяет экономичность работы парогенератора: чем она ниже, тем меньше тепловые потери с уходящими газами и тем выше КПД парогенератора.

Рассмотрим температурные условия работы хвостовых поверхностей нагрева: экономайзера и воздухоподогревателя (соответственно индексы "э" и "в"). Из анализа работы этих поверхностей вытекает следующее обстоятельство. На "холодном" конце экономайзера температура $T_{г}$ продуктов сгорания связана с температурой $T_{пв}$ питательной воды соотношением (1). Температура горячего воздуха $T_{гв}$ и разность температур $\Delta T_{в}$ на "горячем" конце воздухоподогревателя подчиняется уравнению (2):

$$T_{г} = T_{пв} + \Delta T_{э} \quad (1)$$

$$T_{гв} = T_{г} - \Delta T_{в} \quad (2)$$

Из уравнения теплового баланса воздухоподогревателя следует

$$(T_{гв} - T_{хв}) * W_{в} = (T_{г} - T_{уг}) * W_{г} * E_{в}, \quad (3)$$

где $W_{в}, W_{г}$ - тепловые эквиваленты воздуха и дымовых газов соответственно, Вт/К; $T_{хв}, E_{в}$ - температура холодного воздуха и КПД воздухоподогревателя; $\Delta T_{э}, \Delta T_{в}$ - минимальные разности температур на холодном и горячем конце соответственно для экономайзера и воздухоподогревателя; $T_{уг}$ - температура уходящих продуктов сгорания.

Из уравнений (2) и (3) вытекает, что

$$T_{уг} = (T_{пв} + T_{э}) * (1 - W_{в}/W_{г}) + (T_{хв} + T_{в}) * W_{в}/W_{г}. \quad (4)$$

Это значит, что снижение $T_{уг}$ можно обеспечить за счет уменьшения $T_{пв}, T_{хв}, \Delta T_{э}, \Delta T_{в}$. Однако уменьшение $T_{пв}$ означает СНИЖЕНИЕ экономичности парогенератора. Таким образом, уменьшение величины $T_{уг}$, с одной стороны, увеличивает экономичность (уменьшаются теплопотери), с другой - понижение температуры питательной воды $T_{пв}$, связанной по уравнению (4) с $T_{уг}$, экономичность парогенератора уменьшает.

Чем ниже температура $T_{уг}$, тем МЕНЬШЕ интенсивность коррозионных явлений. В особенности это относится к поверхности воздухоподогревателя, стоимость ремонта (или даже замена) которого вызывает дополнительные расходы. Вообще избежать коррозии нельзя, можно обеспечить только допустимую скорость коррозии порядка 150-200 мкм/год [1]. Ясно поэтому, что в программе ЭВМ расчет температуры за последней поверхностью нагрева увязывается с величиной температуры $T_{уг}$. Сопоставляются предварительно принятая и затем определенная из условий допустимой скорости коррозии температуры.

Если в результате выполненного теплового расчета парогенератора установлены требуемые условия компоновки и размещения поверхностей нагрева, можно ставить вопрос об оптимизации его работы.

КПД парогенератора непосредственно связан с паропроизводительностью, энтальпией перегретого пара, питательной и котловой воды, расходом топлива. В качестве критерия оптимизации удобнее брать величину паропроизводительности D парогенератора. Как нами было показано ранее [2], паропроизводительность D зависит от расходов топлива $G_{т}$ и воздуха $G_{в}$.

Поэтому задачу оптимизации можно сформулировать в виде

$$D = f(G_t, G_v) \longrightarrow \text{MAX} \quad (5)$$

Это значит, что решение задачи (5) сводится к вычислению таких значений расхода топлива G_t и воздуха G_v , при которых обеспечиваются требуемые параметры: перегретого пара (давление P_p , температура T_p), величина температуры уходящих газов $T_{уг}$ и габаритной характеристики Q_v . Указанные параметры выступают в качестве ограничений:

$$\begin{aligned} P_{п1} &\leq P_p \leq P_{п2} \\ T_{п1} &\leq T_p \leq T_{п2} \end{aligned} \quad (6)$$

$$T_{уг1} \leq T_{уг} \leq T_{уг2}$$

$$Q_{v1} \leq Q_v \leq Q_{v2}$$

Кроме того, ограничения для области факторов:

$$G_{t1} \leq G_t \leq G_{t2}$$

$$G_{v1} \leq G_v \leq G_{v2} \quad (7)$$

Величина габаритной характеристики может быть вычислена из системы дифференциальных уравнений [3]. Для решения задачи (5) можно воспользоваться методом интервальных оценок в условиях неопределенности [2] или методом случайного поиска.

Имея оптимальное значение паропроизводительности, нетрудно перейти к такому технико-экономическому показателю, как удельный расход топлива, т/МДж.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод): - Изд. 2-е, М.: Энергия, 1973.
2. Шестаков В.М., Губарь С.Н. Методологические вопросы применения ЭВМ в техническом вузе. - Учебное пособие, ч.1. Минск, БТИ, 1993.
3. Шестаков В.М. Оценка величины топочного объема теплогенератора по результатам вычислительного эксперимента. - Труды БТИ, вып.1. Минск, 1993.