

КРИТЕРИИ ОПТИМАЛЬНОЙ СОВОКУПНОЙ РАБОТЫ ТОПОК НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО КИПЯЩЕГО СЛОЯ НА ТЕПЛОВУЮ СЕТЬ

Токарев О.В., студент; Ткаченко А.Е., ст. преподаватель

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк)

Рассмотрим задачу определения оптимального режима совместной работы группы котлоагрегатов низкотемпературного кипящего слоя (НТКС), которая состоит из двух этапов: определение количества одновременно работающих котлоагрегатов и определения их тепловых нагрузок. В качестве критериев оптимальной работы котлоагрегатов целесообразно принять следующие: максимум КПД топок НТКС; минимум расхода условного топлива; минимум материальных затрат на используемое топливо.

Исходными данными для данной задачи оптимизации работы являются: энергетические характеристики и параметры, полученные при режимно-наладочных испытаниях, статистические показатели работы котлоагрегатов, экономические факторы, а также характеристики используемого топлива, условия эксплуатации и другие необходимые для расчетов параметры. Для получения конкретных значений необходимых исходных данных необходимо собрать и обработать эту разноплановую информацию.

Схема информационных потоков, формирующих состав данных, необходимый для решения задачи рациональной работы котлоагрегатов НТКС, представлена на рисунке 1.

В соответствии со структурой, представленной на рисунке 1 определяется суммарная производительность топок НТКС на основе прогнозов теплового спроса потребителей, нормативных и текущих значений теплотехнических характеристик потребителей и внешних факторов, заявок потребителей с учетом потерь при передаче энергии от производителя к потребителю.

САУ верхнего уровня обрабатывает данные о практической работоспособности котлоагрегатов, их энергетические характеристики (КПД, расход топлива) и др. и определяет рациональные режимы работы котлоагрегатов: находит оптимальный КПД, распределяет заданную тепловую нагрузку между отдельными агрегатами. САУ производительностью отдельного котлоагрегата используя методы управления котлоагрегатами с топками НТКС - по твердому топливу и по дутьевому воздуху обеспечивает заданная тепловая нагрузка каждого котлоагрегата в соответствии с полученным режимом работы.

Для данной задачи, как и для большинства других реальных прикладных задач, существует проблема учета неопределенности исходных данных. Причинами неопределенности является статистический характер исходных данных, полученных в результате натурных испытаний котлоагрегатов, нестабильность характеристик, погрешность приборов и другие, в том числе, субъективные факторы.

Рассмотрим постановку задачи применительно к системе теплоснабжения, в которой установлено m котлоагрегатов топок НТКС с текущей суммарной теплопроизводительностью котлов Q_k (Гкал / час), ограничивается снизу потребностями потребителей.

Выделим следующие параметры, которые должны быть учтены в математической модели расчета энергетических характеристик котлов в зависимости от конструкции оборудования, сжигаемого топлива, условий эксплуатации:

1) вид, марка и характеристики сжигаемого топлива: низшая теплота сгорания Q_n^p , ккал/кг (кДж/кг) или ккал/м³ (кДж/м³); влажность на рабочую массу W_p , %; зольность A , %; температура подаваемого топлива в топку котла T_n , °С; стоимость единицы топлива p , у.е./т или у.е./тыс.мЗ;

2) параметры, определяемые при тепловом расчете котлоагрегатов: теоретический объем сухого воздуха, необходимый для полного сгорания топлива $V_{воз}$, мЗ/кг; нормативная температура холодного воздуха $T_{д.н.}$, °С; нормативные потери тепла с уходящими газами

$q_{y.z.}$, %; нормативные потери тепла на внешнее охлаждение $q_{з.о.}$ и охлаждения циркуляционной системы $q_{охл.}$, %; потери с физической теплотой шлаков $q_{ф.ш.}$, %; нормативные энтальпии нагретой воды и питающей воды $h_{н.в.}$ и $h'_{ж.в.}$, ккал/кг (кДж/кг) [1];

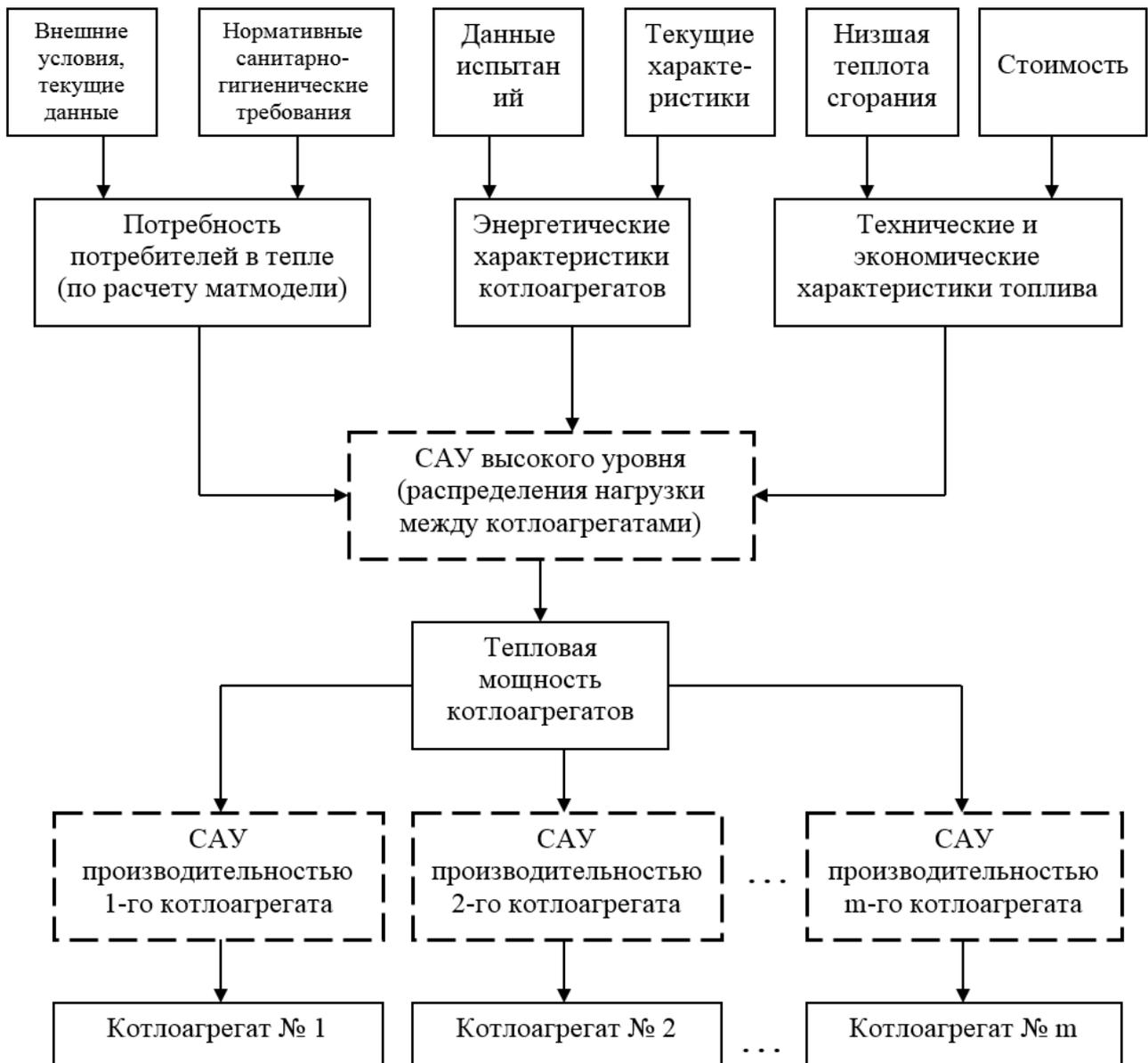


Рисунок 1 - Схема информационных потоков при решении задачи поиска рационального состава и производительности котлоагрегатов

3) нормативные характеристики и параметры, определяемые при режимно-наладочных испытаниях котлоагрегатов; температура уходящих газов, $T_{y.z.}$, °С; потери тепла с уходящими газами $q_{y.z.}$, %; потери тепла на внешнее охлаждение $q_{з.о.}$ и охлаждения циркуляционной системы $q_{охл.}$, %; потери с физической теплотой шлаков $q_{ф.ш.}$, %; потери тепла с химическим недожогом топлива $q_{х.н.}$, %; коэффициент избытка воздуха α ; нормативные энтальпии нагретой воды и питающей воды $h_{н.в.}$ и $h'_{ж.в.}$, ккал/кг (кДж/кг) [1];

4) корректирующие параметры, которые измеряются в процессе эксплуатации при текущем режиме работы: температура уходящих газов, $T_{y.z.}$, °С; температура шлаков $T_{ш.}$, °С; температура наружных ограждений $T_{з.о.}$, °С; температура элементов циркуляционной системы котлоагрегата $T_{ц.с.}$, °С; коэффициент избытка воздуха α ; потери с химическим недожогом $q_{х.н.}$, энтальпии нагретой воды и питающей воды $h_{н.в.}$ и $h'_{ж.в.}$, ккал/кг (кДж/кг); температура холодного воздуха, °С [2].

5) входные управляемые переменные: состав агрегатов, загружаются; тепловая производительность каждого котлоагрегата;

6) исходные параметры: оптимальный состав агрегатов под нагрузкой; оптимальная тепловая нагрузка для каждого агрегата;

7) критерии эффективности функционирования системы: оптимальный КПД котельной установки; оптимальное расходование условного топлива; оптимальные финансовые затраты на обеспечение заданного тепловой нагрузки;

8) другие факторы, характеризующие индивидуальные особенности установок и влияют на экономичность работы котлоагрегата.

Для выделенных характеристик методами регрессионного анализа были установлены их функциональные зависимости от текущей производительности котлоагрегатов. Согласно [3] по критерию остаточной дисперсии наиболее удовлетворительным видом функциональных зависимостей является регрессионные полиномы третьей степени:

$$f_i(D_i) = a_0^i + a_1^i \cdot D_i + a_2^i \cdot D_i^2 + a_3^i \cdot D_i^3 \quad (1)$$

Сформулируем целевую функцию критерия максимума КПД. Коэффициент полезного действия группы котлоагрегатов m определим как средневзвешенную величину КПД всех агрегатов:

$$\eta(\{D_{Ki}\}) = \frac{\sum_{i=1}^m \eta_{\text{бp}}(D_i) Q_{\kappa}^{\text{бp}}(D_i)}{\sum_{i=1}^m Q_{\kappa}^{\text{бp}}(D_i)} \rightarrow \max, \quad (2)$$

где $\{D\} = \{D_1, D_2, \dots, D_m\}$ - вектор производительности всех m агрегатов;

$\eta_{\text{бp}}(D_i)$ - КПД брутто i -го агрегата (независимо от используемого топлива);

$Q_{\kappa}^{\text{бp}}(D_i)$ - теплопроизводительность i -го агрегата.

Обогрев в (2) определяется на основе количества нагреваемой воды следующим соотношением [4]:

$$Q_{\kappa}^{\text{бp}} = D(h_{\text{н.в.}} - h'_{\text{ж.в.}}), \quad (3)$$

где D - выход нагретой воды, кг/с;

$h_{\text{н.в.}}$ и $h'_{\text{ж.в.}}$ - энтальпии нагретой воды и питающей воды.

Энтальпии нагретой и питающей воды определяются по таблицам теплофизических свойств воды и водяного пара в зависимости от давления и температуры воды. Последние находятся из теплового расчета и в процессе работы котлоагрегатов поддерживаются на необходимом уровне для обеспечения на выходе заданных параметров теплоносителя.

Целевую функцию критерия минимума расходы условного топлива определим как:

$$B^{\text{ум}}(\{D_i\}) = \sum_{i=1}^m B_i^{\text{ум}}(D_i) = \sum_{i=1}^m \mathcal{E} \cdot B_i(D_i) \rightarrow \min, \quad (4)$$

где $B_i^{\text{ум}}(D_i)$ - расход условного топлива для обеспечения текущей производительности D_i i -м агрегатом;

$B_i(D_i)$ - затраты натурального топлива (низкокачественное твердое топливо) на обеспечение теплового спроса i -м потребителем;

\mathcal{E} - топливный эквивалент, показывает, какое количество условного топлива эквивалентно единице массы (или объема) того или иного вида натурального топлива.

Топливный эквивалент в (4) находится как отношение низшей теплоты сгорания $Q_{\text{нр}}$ данного топлива к теплоте сгорания условного топлива:

$$\mathcal{E} = \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}{7000}.$$

Целевую функцию критерия минимума материальных затрат на используемое топливо определим следующим образом:

$$f_{M3}(\{D_i\}) = \sum_{i=1}^m B_i(D_i) \cdot p \rightarrow \min, \quad (5)$$

где p - цена используемого данным агрегатом вида топлива.

При постановке задачи учтем ограничения на суммарную производительность:

$$\sum_{i=1}^m D_i = D, \quad (6)$$

и диапазоны рабочей производительности для каждого котла:

$$D_i^{\min} \leq D_i \leq D_i^{\max}, i = 1 \dots m \quad (7)$$

Таким образом, нами была сформулирована задача оптимизации режимов работы котлоагрегатов по одному из критериев (3) - (5) при совокупности ограничений (6) и (7). В процессе определения оптимального режима работы котельной установки необходимо определить $(m-1)$ переменных: D_{Ki} , где $i = 1, \dots, (m-1)$.

Значение D_m , определяются из следующего соотношения:

$$D_m = D - \sum_{i=1}^{m-1} D_i \quad (9)$$

При этом, учитывая разнокачественный характер неопределенностей в описании исходных данных, для математической формализации неопределенностей выбираем методы нечетко-интервальной математики. Таким образом, зависимости КПД $\eta_{\text{бп}}$ и расхода твердого топлива B от производительности топок представляем в виде регрессионных полиномов 3-й степени типа (1), полученных в результате статистической обработки данных испытаний.

В качестве исходного параметра для расчета в данном случае принимается совокупная тепловая производительность котлоагрегатов $Q_K^{\text{бп}}$, которая определяется САУ верхнего уровня в зависимости от параметров окружающей среды, потребителей теплоснабжения и матмодели нестационарного теплового баланса комплекса.

Перечень ссылок

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.Е. Дубовского, Э.С. Карасиной. М.: Энергия, 1973.
2. Трёмбовля В.И. Теплотехнические испытания котельных установок, В.И. Трёмбовля, Е.Д. Фингер, А.А. Авдеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 416 с.: ил.
3. Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. М.: «Издательство Машиностроение-1», 2004, - с.348
4. Канев С.Н. Учет количества теплоты и массы теплоносителя в водяных системах потребителей теплоснабжения. – Хабаровск.: Издательство: «Хабаровск», 2005 г. - 133 с.