

Завершающим этапом создания приложения является разработка интерфейса, где объединяются все технологии обработки данных предметной области, которые включают загрузку базы данных, ее сопровождение и решение всего комплекса задач.

Данная информационная система является серьезным нововведением в принятые стандарты документооборота. Она увеличивает производительность учебно-методического управления, а также администрации кафедр, снижая количество человеко-часов на выполнение рутинных операций, связанных с обработкой, хранением и анализом учебных планов. Преимуществом информационной системы является ее расширяемость, то есть возможность подключения в дальнейшем новых модулей для обработки данных для иных направлений. Еще одним достоинством системы является то, что она основана на СУБД SQL Server, являющейся одной из наиболее эффективных и надежных в своем классе.

УДК 621.165:621.311

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЭЦ В СЛУЧАЕ
ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН
С ПРОТИВОДАВЛЕНИЕМ**

Горбачев М.В., Попова Ю.Б., Пащенко А.В.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В данной работе представлен один из способов повышения эффективности использования природных топливных ресурсов. Речь идет об оптимизации режимов работы ТЭЦ. Состоящая из нескольких теплофикационных турбин тепловая электрическая централь в общем случае распределяет суммарные производственную, теплофикационную и электрическую нагрузки между турбинами. Для каждого набора суммарных нагрузок существует множество допустимых распределений (режимов работы ТЭЦ). Среди этих распределений существует такое, которое обеспечивает минимум топливно-энергетических затрат ТЭЦ. Задача оптимизации режима работы ТЭЦ состоит в том, чтобы найти оптимальное распределение суммарных нагрузок станции между ее турбинами. Решение данной задачи позволит более эффективно использовать имеющиеся топливно-энергетические ресурсы республики.

Каждая теплофикационная турбина ТЭЦ с двумя регулируемыми отборами обладает семейством расходных характеристик, в том числе невыпуклых и негладких. Расходная характеристика представляет собой функцию, описывающую расход теплоты (или топлива) данной турбиной, в зависимости от трех переменных — производственной, теплофикационной и электрической нагрузок. Решение задачи оптимизации режима работы станции требует одновременного и взаимосвязанного распределения производственной, теплофикационной и электрической нагрузок. Это делает методы относительных приростов и градиентный неэффективными для решения задачи. Метод относительных приростов может быть использован для распределения нагрузки, если расходные характеристики турбин являются непрерывными и обращены выпуклостью вниз (т. е. при росте нагрузки наклон характеристики возрастает). Это условие не всегда выполняется, поскольку в некоторых случаях на характеристиках имеются падающие участки, что соответствует уменьшению наклона расходной характеристики с ростом нагрузки. Метод трехмерного динамического программирования позволяет решить данную задачу [1].

Метод динамического программирования [2, 3]. от простого перебора отличается использованием некоторых приемов, повышающих эффективность отыскания решения:

- для получения частного значения решения вначале отыскивается общая зависимость решения от исходных данных, тогда определяется и требуемое решение для заданных исходных данных;
- процесс поиска решения разбивается на ряд этапов, содержанием каждого из которых является перебор возможных решений, причем на последующих этапах используются результаты предыдущих;
- для уменьшения количества перебираемых решений выбирается заданный шаг изменения переменных величин, каждая из которых может при этом принимать только ограниченное число значений.

Метод разделен на прямой и обратный ходы. При прямом ходе динамического программирования суммарная нагрузка ТЭЦ некоторым образом распределяется между ее турбинами, и для заданного распределения находится функция Беллмана. Для единственной работающей турбины функция Беллмана — это расходная характеристика данной турбины. Для нескольких турбин функция Беллмана равна суммарному расходу теплоты при условии, что суммарная нагрузка между турбинами распределена оптимально. Сначала нагружается одна турбина, затем две, и так далее (до максимального числа одновременно работающих турбин). Возможна ситуация, когда экономичнее использовать не все рассматриваемые турбины, поэтому при каждом добав-

лении турбины в расчет учитывается возможность отсутствия нагрузок на ней. При включении в работу каждой следующей турбины используется найденное на предыдущем шаге оптимальное распределение суммарных нагрузок. Здесь возможны различные варианты реализации метода (например, реализация с хранением промежуточных данных на внешнем носителе, рекурсивная реализация). После завершения прямого хода динамического программирования известны функция Беллмана для всех работающих турбин и оптимальные производственная, теплофикационная и электрическая нагрузки последней вступившей в расчет турбины.

При обратном ходе динамического программирования из полученных ранее (в прямом ходе метода) значений определяются нагрузки на каждую из турбин ТЭЦ. Для этого вновь находится функция Беллмана, но уже для меньшего числа турбин и с учетом той части суммарной нагрузки станции, которая приходится на уже «оптимизированную» турбину. Соответствующие оптимальному режиму нагрузки последней вступившей в расчет турбины определены в прямом ходе метода. Работа метода заканчивается, когда будут найдены оптимальные нагрузки каждой из турбин.

Задача оптимизации режима работы ТЭЦ в случае применения турбин с противодавлением накладывает дополнительные ограничения на условия оптимального режима. Особенностью теплофикационных турбин с противодавлением является тот факт, что мощность, развиваемая турбиной, целиком определяется нагрузкой тепловых потребителей [4]. Тогда методика распределения нагрузок на ТЭЦ, в составе которых имеются турбины с противодавлением, для режимов работы по тепловому графику будет полностью совпадать с описанной в [5].

При работе ТЭЦ по электрическому графику параллельно с турбиной с противодавлением должны быть включены конденсационные или турбины с регулируемыми отборами, которые воспринимают изменения электрической нагрузки. В данном случае методика оптимизации будет несколько отличаться от рассмотренной выше. Главное отличие заключается в том, что при решении задачи методом динамического программирования турбину с противодавлением необходимо нагружать в первую очередь (т. е. $i=m$). Такой подход позволит для суммарных тепловых нагрузок X^m и Y^m перебирать возможные варианты нагрузок Q_{pm} и Q_{tm} турбины с противодавлением и определять соответствующую им электрическую нагрузку $N_m(Q_{pm}, Q_{tm})$. Тогда остальные $m-1$ турбины будут распределять между собой нагрузки, равные разности суммарных и вырабатываемых турбиной с противодавлением, т. е. $X^m - Q_{pm}$, $Y^m - Q_{tm}$; $Z^m - N_m(Q_{pm}, Q_{tm})$.

Если же в составе ТЭЦ имеется s турбин с противодавлением (1 J s J m-1), то они также должны вводиться в рассмотрение в первую очередь по одной до распределения нагрузок между $m-s$ агрегатами. Такое разделение позволит сочетать двумерное динамическое программирование для турбин с противодавлением с трехмерным для остальных. Поэтому функция Беллмана для s турбин с противодавлением запишется в виде:

$$Bel^i(X^i, Y^i) = \max_{Q_{ni}, Q_{\tau i}} [F_i(Q_{ni}, Q_{\tau i}) + Bel^{i-1}(X^i - Q_{ni}, Y^i - Q_{\tau i})], \quad (1)$$

где $i \in [m-s+1; m]$.

Функция Беллмана (1) справедлива при следующих ограничениях:

$$X^i \in [0; \min(\sum_{\tau=1}^i Q_{n\tau}^{\max}, Q_{n\Sigma})], \quad (2)$$

при фиксированном X^i из (2)

$$Y^i \in [0; \min(\sum_{\tau=1}^i Q_{\tau\tau}^{\max}, Q_{\tau\Sigma})], \quad (3)$$

при фиксированных X^i, Y^i из (2), (3)

$$Q_{ni} \in [0, \min(Q_{ni}^{\max}, X^i)], \quad (4)$$

при фиксированных X^i, Y^i, Q_{ni} из (2), (3), (4)

$$Q_{\tau i} \in [Q_{\tau i}^{\min}, \min(Q_{\tau i}^{\max}, Y^i)], \quad (5)$$

Функция Беллмана для $m-s$ турбин запишется в виде:

$$Bel^i(X^i, Y^i, Z^i) = \max_{Q_{ni}, Q_{\tau i}, N_i} [F_i(Q_{ni}, Q_{\tau i}, N_i) + Bel^{i-1}(X^i - Q_{ni}, Y^i - Q_{\tau i}, Z^i - N_i)], \quad (6)$$

где $X^i \in [0; \min(\sum_{\tau=1}^i Q_{n\tau}^{\max}, Q_{n\Sigma})], \quad (7)$

при фиксированном X^i из (7)

$$Y^i \in [0; \min(\sum_{\tau=1}^i Q_{\tau\tau}^{\max}, Q_{\tau\Sigma})], \quad (8)$$

при фиксированных X^i, Y^i из (7), (8)

$$Z^i \in \begin{cases} 0, \text{ если } X^i = 0 \text{ и } Y^i = 0; \\ \left[\min_{1 \leq \tau \leq i} (N_{\tau}^{\min}(X^i, Y^i)); \min \left(\sum_{\tau=1}^i N_{\tau}^{\max}(X^i, Y^i), N_{\Sigma} \right) \right], \end{cases} (9)$$

при фиксированных X^i, Y^i, Z^i из (7), (8), (9)

$$Q_{ni} \in [0; \min(Q_{ni}^{\max}, X^i)], \quad (11)$$

при фиксированных X^i, Y^i, Z^i, Q_{ni} из (8), (9), (10), (11)

$$Q_{\tau i} \in [0; \min(Q_{\tau i}^{\max}, Y^i)], \quad (12)$$

при фиксированных $X^i, Y^i, Z^i, Q_{ni}, Q_{\tau i}$ из (8), (9), (10), (11), (12)

$$N_i(Q_{ni}, Q_{\tau i}) \in \begin{cases} 0, \text{ если } (Z^i < N_i^{\min}) \text{ или } (Q_{ni} = 0, Q_{\tau i} = 0); \\ \left[N_i^{\min}(Q_{ni}, Q_{\tau i}); \min(N_i^{\max}(Q_{ni}, Q_{\tau i}), Z^i) \right]. \end{cases} (13)$$

Необходимо добавить, что рассматриваемый случай распределения нагрузок между агрегатами целесообразно проводить через рекурсивную реализацию метода динамического программирования. Это связано с тем, что шаг оптимизации не всегда может обеспечить совпадение разности $Z^m - N_m(Q_{nm}, Q_{tm})$ с предварительно рассчитанными оптимальными значениями функции Беллмана для $m-l$ турбин.

Описанный выше метод решения задачи оптимизации режимов работы ТЭЦ реализован на языке программирования C++. При решении задачи использована рекурсивная реализация метода динамического программирования. Это позволило существенно ускорить работу метода по сравнению с реализацией, использующей хранящиеся на внешнем носителе данные.

Для практического применения реализации метода создано программное обеспечение — прикладная программа, работающая в среде Win32. Взаимодействие с пользователем реализовано в форме диалога, наглядно представляющего параметры и процесс расчета. Пользователь может задавать участвующие в расчете турбины, давления производственного и теплофикационного отборов, критерий оптимизации (минимум расхода теплоты или максимум экономии теплоты против варианта раздельного производства электроэнергии и теплоты), производственную, теплофикационную и электрическую нагрузки (интервалы нагрузок), шаги расчета. Результат расчета отображается на листе Microsoft Excel (предполагается, что он установлен на машине пользователя),

что позволяет далее обрабатывать полученные данные. Приложение написано и отлажено в Microsoft Visual C++ 6.0 с использованием библиотек Microsoft Foundation Classes. Тестирование показало, что приложение достаточно быстро и эффективно решает поставленную задачу. При тестировании использовались аналитические расходные характеристики турбоагрегатов первой очереди Минской ТЭЦ-3, полученные по методике [6].

Предварительные оценки показывают, что оптимизация позволит повысить эффективность работы ТЭЦ на 2–4%. При этом следует учесть, что по абсолютной величине эти 2–4% составят десятки тонн сэкономленного топлива, поскольку речь идет об электростанции.

Литература

1. Попова Ю. Б. Математическое и программное обеспечение для оптимизации режима ТЭЦ // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. – 2000. – № 6. – С. 79 – 87.
2. Беллман Р. Динамическое программирование. М.: изд-во иностр. литературы. – 1960. – 400 с.
3. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. – М.: Наука, 1965. – 457 с.
4. Щегляев А. В. Паровые турбины (теория теплового процесса и конструкции турбин). – М.: Энергия, 1976. – 368 с.
5. Пашенко А. В., Попова Ю. Б., Горбачев М. В. Программное обеспечение для оптимизации режима работы теплофикационных турбин по тепловому графику // Вестник БГПА. – 2002. – № 3. – С. 68–70.
6. Качан А. Д., Попова Ю. Б., Пашенко А. В. Построение аналитических моделей нормативных энергетических характеристик теплофикационных турбин // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2002. – № 5. – С. 84–93.