

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА РАБОТЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН ПО ТЕПЛОВОМУ ГРАФИКУ

*Канд. техн. наук, доц. ПАЩЕНКО А. В.,
инж. ПОПОВА Ю. Б., студ. ГОРБАЧЕВ М. В.*

Белорусский национальный технический университет

Повышение эффективности теплофикации за счет оптимизации технологических схем, состава и режимов работы оборудования электростанций и энергосистем является в настоящее время в Беларуси важнейшей задачей, позволяющей обеспечить существенную экономию топлива в энергосистеме при минимальных капитальных вложениях.

Решение задачи оптимизации режимов работы теплофикационных турбин осуществляется по следующим этапам:

- 1) формализация задачи оптимального управления режимами работы теплофикационных турбин;
- 2) построение расходных характеристик турбоагрегатов ТЭЦ;
- 3) выбор и обоснование метода оптимального распределения электрической и тепловой нагрузок между турбоагрегатами ТЭЦ;
- 4) разработка алгоритма и программного обеспечения для решения задачи внутростанционной оптимизации.

Задача распределения нагрузок при работе турбин по тепловому графику становится двумерной и может быть представлена в виде следующей математической модели:

$$K = \sum_{i=1}^m F_i(Q_{ni}, Q_{\tau i}) \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m Q_{ni} = Q_{n\Sigma}; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m Q_{\tau i} = Q_{\tau\Sigma}; \quad (3)$$

$$Q_{ni} \in [Q_{ni}^{\min}, Q_{ni}^{\max}], \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (4)$$

$$Q_{\tau i} \in [Q_{\tau i}^{\min}, Q_{\tau i}^{\max}], \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (5)$$

где K – критерий оптимизации, являющийся функцией $\sum_{i=1}^m F_i(Q_{ni}, Q_{\tau i})$; $Q_{n\Sigma}, Q_{\tau\Sigma}$ – заданные про-

изводственная и теплофикационная нагрузки; $Q_{ni}^{\min}, Q_{ni}^{\max}, Q_{\tau i}^{\min}, Q_{\tau i}^{\max}$ – соответственно минимально и максимально возможные производственная и теплофикационная мощности i -го агрегата; m – количество работающих агрегатов на станции.

Для идентификации расходной характеристики теплофикационной турбины предлагается воспользоваться тепловым эквивалентом диаграммы режимов, т. е. зависимостью расхода теплоты от электрической мощности турбины и тепловых нагрузок отборов или зависимостью удельного расхода теплоты брутто от электрической мощности и отпуска теплоты в отборы. При фиксированных номинальных параметрах температуры и давления свежего пара, а также давлений в производственном (П-отборе) и теплофикационном (Т-отборе) отборах такая зависимость в графическом виде состоит из двух частей (квадрантов). На рис. 1, 2 приведена нормативная энергетическая характеристика турбины ПТ-25-90/10, построенная БЭРН для одного из турбоагрегатов МТЭЦ-3.

Для получения аналитической зависимости расходной характеристики теплофикационных турбин авторами предлагается провести аппроксимацию тепловой диаграммы с помощью математической среды MathCAD 2000 PRO.

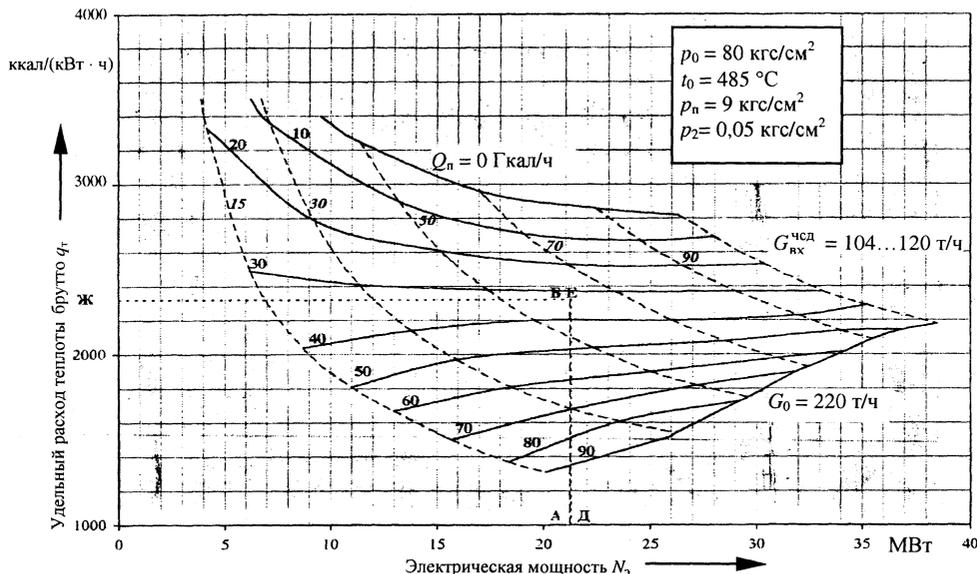


Рис. 1. Зависимость удельного расхода теплоты бруто от электрической мощности и отпуска теплоты в П-отбор

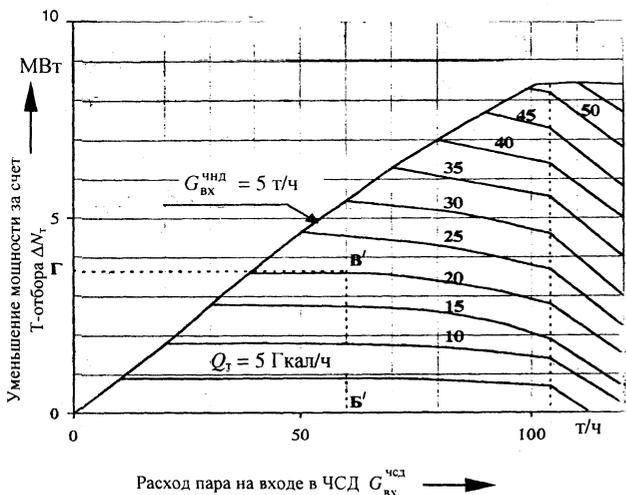


Рис. 2. График для определения уменьшения мощности турбины при включении Т-отбора

При работе турбин по тепловому графику со значениями давлений в производственном и теплофикационном отборах, отличными от номинальных, происходит изменение мощностей ЧВД (части высокого давления), ЧСД (части среднего давления) и соответствующим образом расхода теплоты и пара на входе в турбины. Тогда уточненные мощность и расход теплоты на турбину можно определить как:

$$N^{УТ} = N + \Delta N_{\text{чвд}} + \Delta N_{\text{чсд}}; \quad (6)$$

$$Q_0^{УТ} = Q_0 + 0,86(\Delta N_{\text{чвд}} + \Delta N_{\text{чсд}}), \quad (7)$$

где $\Delta N_{\text{чвд}}$ – поправка к мощности ЧВД, которую можно определить через относительную поправку к мощности по универсальной кривой для ЧВД турбин при фиксированном для НЭХ значении p_n и фактическом давлении в П-отборе p_n^Φ ; $\Delta N_{\text{чсд}}$ – поправка к мощности ЧСД, которую можно определить через функцию изменения мощности ЧСД турбины в зависимости от относительного давления в отопительном отборе.

Решение задачи (1) – (5) предлагается осуществлять методом двумерного динамического программирования [1]. В качестве критерия оптимизации можно использовать критерий экономии расхода теплоты на турбины против варианта раздельного производства электроэнергии и теплоты [2]

$$K = -\Delta Q_{\text{эк}} = -(Q_{\text{п}\Sigma} + Q_{\text{т}\Sigma} + q_{\text{зам}} N_{\Sigma} - Q_{0\Sigma}), \quad (8)$$

где $\Delta Q_{\text{эк}}$ – критерий экономии расхода теплоты на турбины против варианта раздельного производства электроэнергии и теплоты; $q_{\text{зам}}$ – удельный расход теплоты на выработку электроэнергии на замещающей КЭС (принимая в качестве замещающей Лукомльскую ГРЭС, $q_{\text{зам}} = 1,9$ Гкал/(МВт·ч)); N_{Σ} – суммарная мощность турбоустановок; $Q_{0\Sigma}$ – суммарный расход теплоты на турбоустановки.

Метод динамического программирования представляет собой упорядоченный перебор возможных решений и разбивается на два этапа:

прямой ход динамического программирования и обратный [3].

На первом этапе динамического программирования для любого фиксированного $i \in [1, m]$ строится функция Беллмана $Bel^i(X^i, Y^i)$ и определяются ее решения $Q_{ni}^{opt}(X^i, Y^i), Q_{\tau i}^{opt}(X^i, Y^i)$. X^i, Y^i – введенные в [1] вспомогательные переменные, которые изменяются в определенных пределах, указанных ниже, и являются соответственно возможной суммарной производственной и теплофикационной мощностью станции при i работающих агрегатах (верхние индексы указывают на количество совместно работающих агрегатов, а нижние – на порядковый номер рассматриваемого агрегата). Величина функции Беллмана для некоторой пары X^i, Y^i равна значению экономии теплоты при i работающих агрегатах при условии, что суммарные нагрузки X^i, Y^i распределяются между этими агрегатами оптимально.

Для $i = 1$:

$$Bel^1(X^1, Y^1) = F_1(X^1, Y^1); \quad (9)$$

$$Q_{n1}^{opt}(X^1, Y^1) = X^1; \quad (10)$$

$$Q_{\tau 1}^{opt}(X^1, Y^1) = Y^1, \quad (11)$$

где X^1, Y^1 изменяются с некоторыми заданными шагами в интервалах:

$$X^1 \in [Q_{n1}^{min}, \min(Q_{n1}^{max}, Q_{n\Sigma})]; \quad (12)$$

при фиксированном X^1 из (12)

$$Y^1 \in [Q_{\tau 1}^{min}, \min(Q_{\tau 1}^{max}, Q_{\tau\Sigma})]. \quad (13)$$

При любом фиксированном $i \in (1, m)$

$$Bel^i(X^i, Y^i) = \min_{Q_{ni}, Q_{\tau i}} [F_i(Q_{ni}, Q_{\tau i}) + \quad (14)$$

$$+ Bel^{i-1}(X^i - Q_{ni}, Y^i - Q_{\tau i})],$$

где

$$X^i \in \left[\min_{1 \leq \tau \leq i} (Q_{n\tau}^{min}), \min \left(\sum_{\tau=1}^i Q_{n\tau}^{max}, Q_{n\Sigma} \right) \right]; \quad (15)$$

при фиксированном X^i из (15)

$$Y^i \in \left[\min_{1 \leq \tau \leq i} (Q_{\tau\tau}^{min}), \min \left(\sum_{\tau=1}^i Q_{\tau\tau}^{max}, Q_{\tau\Sigma} \right) \right]; \quad (16)$$

при фиксированных X^i, Y^i из (15), (16)

$$Q_{ni} \in [Q_{ni}^{min}, \min(Q_{ni}^{max}, X^i)]; \quad (17)$$

при фиксированных X^i, Y^i, Q_{ni} из (15)–(17)

$$Q_{\tau i} \in [Q_{\tau i}^{min}, \min(Q_{\tau i}^{max}, Y^i)]. \quad (18)$$

На обратном ходе двумерного динамического программирования определяются искомые оптимальные значения производственной и теплофикационной мощностей каждого турбоагрегата в обратном порядке:

$$Q_{nm}^* = Q_{nm}^{opt}(Q_{n\Sigma}, Q_{\tau\Sigma}), \dots$$

$$Q_{n1}^* = Q_{n1}^{opt}(Q_{n\Sigma} - \sum_{i=2}^m Q_{ni}^*, Q_{\tau\Sigma} - \sum_{i=2}^m Q_{\tau i}^*); \quad (19)$$

$$Q_{\tau m}^* = Q_{\tau m}^{opt}(Q_{n\Sigma}, Q_{\tau\Sigma}), \dots$$

$$Q_{\tau 1}^* = Q_{\tau 1}^{opt}(Q_{n\Sigma} - \sum_{i=2}^m Q_{ni}^*, Q_{\tau\Sigma} - \sum_{i=2}^m Q_{\tau i}^*). \quad (20)$$

Описанная выше методика решения задачи оптимизации режима работы теплофикационных турбин по тепловому графику реализована в виде программного обеспечения (ПО). ПО создано на языке программирования Delphi v. 5.0 с использованием Borland Data Base Engine.

Созданное ПО позволяет решить задачу оптимизации как для заданных значений производственной и теплофикационной нагрузок, так и для интервала нагрузок. В программе также предусмотрено распределение нагрузки между турбинами при производственном отборе пара разных давлений.

Время расчета программы при работе турбин с одинаковым давлением в производственном отборе зависит от количества агрегатов и заданных нагрузок и для реальных нагрузок колеблется от нескольких секунд до 10 минут (для ЭВМ с процессором Intel Pentium-III-500 МГц).

Разработанное ПО может быть использовано для ведения оптимального режима работы агрегатов диспетчером ТЭС, а также для разработки рекомендаций по оптимальному ведению режима энергосистемы ее диспетчером. Результаты работы внедрены на Минской ТЭЦ-3. Экономический эффект использования программы зависит от режима работы и может достигать 4...8 % от суммарного расхода теплоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Попова Ю. Б.** Математическое и программное обеспечение для оптимизации режима ТЭЦ // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2000. – № 6. – С. 79–87.
2. **Качан А. Д.** Оптимизация режимов и повышение эффективности работы паротурбинных установок ТЭС. – Мн.: Выш. шк., 1985. – 176 с.
3. **Беллман Р.** Динамическое программирование. – М.: Наука, 1960.

*Рецензент докт. техн. наук,
проф. КАЧАН А. Д.*