

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ ТЭЦ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ¹

А.М.Карнеенко, В.А.Широченко

Предложена методика поиска оптимальных параметров управления работой тепловых агрегатов Могилевской ТЭЦ – 2. Построена модель, разработана программа, позволяющие на основе метода динамического программирования оптимизировать параметры агрегатов.

Ключевые слова: оптимизация параметров, динамическое программирование, тепловые агрегаты

В настоящее время проблема экономии потребляемой энергии имеет для Беларуси гораздо более важное значение, чем для любой другой из стран СНГ. Во-первых, потому, что мы выпускаем огромное количество промышленной продукции, энергоёмкость которой выше мировых аналогов. Во-вторых, Беларусь около 90% всей потребности в энергоресурсах обеспечивает за счет их импорта. К ним относятся импортируемые из России природный газ и нефть, а также электроэнергия, получаемая из России и Литвы. Годовые затраты на импорт энергоресурсов составляют примерно 15% валового внутреннего продукта республики. Все это негативно сказывается на себестоимости электроэнергии, а, следовательно, и на себестоимости других товаров.

Поэтому одна из важнейших задач является повышение эффективности работы тепловых электростанций. Критерий эффективности их работы можно сформулировать следующим образом: удовлетворение потребности в энергии при минимально возможном расходе топлива.

В качестве объекта исследования в данной работе была выбрана Могилевская ТЭЦ – 2. На основе сведений о законах функционирования данного объекта была разработана его математическая модель.

Пусть в каждый конкретный момент времени t потребность в электроэнергии составляет P_{et} , в паре 50 ата – P_{50t} , в паре 20 ата – P_{20t} , в паре 8 ата – P_{8t} , в энергии на подогрев сетевой воды – $P_{гt}$.

Для каждой i -й турбины заданы: максимальная электрическая мощность (P_{maxi}); величина предельной нагрузки (N_{maxi}); величина максимального отбора пара из турбины (O_{maxi}); минимально необходимый пар на выхлоп в конденсатор (K_{mini}); величина максимального выхлопа в конденсатор (K_{maxi}); расход пара для поддержания турбины в работоспособном состоянии и потери пара (S_i); время пуска турбины из горячего резерва ($T_{гi}$); расход пара на пуск турбины (R_i); процент увеличения нагрузки на турбину в единицу времени (r_i).

Для каждого i -го парового котла заданы: максимальная производительность пара (KTP_{maxi}); минимальная производительность пара (KTP_{mini}); расход условного топлива на производство 1 тонны пара (KTR_i).

¹ Работа выполнена на кафедре «Экономическая информатика» в ходе дипломного проектирования

Для каждого i -го водогрейного котла задана максимальная производительность (KV_{maxi}) и расход условного топлива на производство 1Гкал (KVR_i). Также известна максимальная нагрузка на пиковые бойлеры (BP_{max}).

В каждый конкретный момент времени t i -ая турбина описывается вектором состояния ($N_{it}, P_{2it}, P_{8it}, P_{20it}, K_{it}, P_{it}$), где N_i – нагрузка на турбину, P_{2it} – величина теплофикационного отбора, P_{8it} – величина отбора (выход для турбины типа P) пара 8ата, P_{20it} – величина отбора (выход для турбины типа P) пара 20ата, P_{it} – вырабатываемая электрическая мощность, K_{it} – величина выхлопа в конденсатор.

Исходя из закона сохранения энергии необходимо выполнение равенства:

$$N_{it}=P_{2it}+P_{8it}+P_{20it}+K_{it}+P_{it}+S_{it}. \quad (1)$$

При этом должны выполняться следующие условия:

$$P_{2it}+P_{8it}+P_{20it} \leq O_{maxi} (i=1..5, i \neq 4), \quad (2)$$

$$P_{2it} \geq 0, P_{8it} \geq 0, P_{20it} \geq 0, \quad (3)$$

$$0 \leq P_{it} \leq P_{maxi}, \quad (4)$$

$$K_{mini} \leq K_{it} \leq K_{maxi}, \quad (5)$$

$$N_{it1} \leq N_{it0} + r \cdot (t1 - t0) \leq N_{maxi}. \quad (6)$$

Кроме того для турбины типа P ($i=4$) существуют следующие зависимости:

$$K_{it} = 0, \quad (7)$$

$$P_{it} = k \cdot \text{sgn}(P_{8it}) + k \cdot \text{sgn}(P_{20it}), \quad (8)$$

$$\text{sgn}(P_{8it}) \cdot \text{sgn}(P_{20it}) = 0, \quad (9)$$

$$k = \frac{N_{maxi} - S_i - P_{maxi}}{P_{maxi}}. \quad (10)$$

Состояние i -го котла в момент времени t описывается переменной KT_{it} , при этом

$$\text{sgn}(KT_{it}) \cdot KPT_{mini} \leq KT_{it} \leq \text{sgn}(KT_{it}) \cdot KPT_{maxi}. \quad (11)$$

Нагрузка на пиковые бойлеры в момент времени t описывается переменной PB_t .

$$PB_t \leq PB_{max}. \quad (12)$$

Состояние i -го водогрейного котла в момент времени t описывается переменной KV_{it} , при этом

$$KV_{it} \leq KV_{maxi}. \quad (13)$$

Для обеспечения потребности в паре 20ата и 8ата, электроэнергии и горячей воде должны выполняться следующие условия:

$$\sum_{i=1}^5 P_{2it} + PB_t + KV_{it} \geq \Pi_{rt}, \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^5 P_{8it} \geq \Pi_{8t}, \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^5 P_{20it} \geq \Pi_{20t}, \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^5 P_{it} \geq \text{Пет.} \quad (17)$$

Для покрытия потребности в остром паре и паре 50ата необходимо выполнение условия:

$$\sum_{i=1}^8 KT_{it} \geq \sum_{i=1}^5 N_{it} + P_{50t} \quad (18)$$

Условие оптимальности запишется в виде:

$$\int_0^T (\sum_{i=1}^8 KT_{it} * KTR_i + \sum_{i=1}^9 KV_i * KVR_i) dt \longrightarrow \min. \quad (19)$$

Объединяя условия исходную задачу можно сформулировать следующим образом: необходимо найти параметры агрегатов N_i , P_{2i} , P_{8i} , P_{20i} , K_i , KT_j , PV , KV_l ($i=1..5$; $j=1..8$; $l=1..6$) в каждый конкретный момент времени t , которые доставляли бы минимум целевой функции (19) при ограничениях (1) - (18).

Задача (1)-(19) относится к области задач динамического программирования, поскольку, во-первых, потребность в энергии не является стационарной на всем рассматриваемом промежутке, а изменяется во времени, во-вторых, состояние агрегатов в данный момент зависит от состояния в предыдущий момент времени.

Решение поставленной задачи основано на идее проведения поэтапной оптимизации. Поэтапность не предполагает изолированности в оптимизации этапов. Наоборот, управление на каждом шаге выбирается с учетом всех последствий. Такой способ является более экономичным, особенно при большом числе шагов. Оптимизация одного шага, как правило, проще оптимизации всего процесса в целом.

Одним из условий применимости метода динамического программирования является возможность разбиения процесса оптимизации решения на ряд однотипных шагов (этапов), каждый из которых планируется отдельно, но с учетом состояния системы на начало этапа и последствий принятого решения. Среди всех шагов существует один, который может планироваться без оглядки на будущее. Это последний шаг. Он может быть изучен и спланирован сам по себе наилучшим (в смысле выбранного критерия) образом, поскольку за ним нет больше этапов. Отсюда вытекает одна из специфических особенностей динамического программирования: вся вычислительная процедура разворачивается от конца к началу. Раньше всех планируется последний N – й шаг, за ним $N-1$ – й и т.д. Оптимальное управление на N – м шаге определяется на основе предположении об ожидаемых исходах предшествующего, но еще не исследованного этапа. Для каждого возможного исхода на $N-1$ – м шаге находится управление на N – м этапе. Такой набор оптимальных управлений, зависящих от возможных исходов предыдущего этапа, является условно – оптимальным решением. Завершив анализ конечного, рассматривается аналогичная задача на двух последних этапах вместе. Это дает условно – оптимальное решение на предпоследнем этапе, т. е. делаются все возможные предположения о том, чем кончился предыдущий $N-2$ – й шаг, и для каждого из предположений находится такое управление на $N-1$ – м шаге, при котором эффект за последние два шага (из них последний уже оптимизирован) будет максимален.

Проделав такой поиск условно – оптимальных управлений для каждого шага получается последовательность условно – оптимальных решений.

Условно–оптимальные решения дают возможность найти оптимальное решение на каждом шаге. Пусть начальное состояние системы известно. Тогда, проделав процеду-

ру движения от конца к началу, находится условно - оптимальное управление на первом шаге. Так как начальное состояние системы определяется однозначно, то это оптимальное управление для первого шага. Вместе с тем находится экстремальное значение целевой функции для всего процесса. Зная оптимальное действие (с точки зрения всего процесса) для первого шага, выявляется, к какому состоянию перейдет система в результате этого действия, т. е. находится оптимальное состояние системы на начало второго шага. Но для всех возможных состояний на начало второго этапа выявлены оптимальные управления. Таким образом, устанавливается оптимальное управление для второго этапа и т.д. Прodelывая обратное движение по условно – оптимальным управлениям от начала к концу, находится просто оптимальное решение для всех этапов.

В ходе решения поставленной задачи описанным выше методом были получены следующие результаты.

- возможно увеличение коэффициента полезного использования пара с 40% до 52% в летний период и с 33% до 40% в весенний. Увеличение коэффициента полезного использования пара говорит о возможности снижения выработки пара для покрытия требуемой нагрузки. А так как выработка пара напрямую зависит от количества сжигаемого топлива, то нужно говорить об экономии топливных ресурсов. Так, если в весенний период среднeдневной расход топлива составляет порядка 2500 т.у.т, то экономия на 5-7% составит 125-175 т.у.т;

- наиболее экономичным является комбинированный режим производства электроэнергии и пара;

- при увеличении потребности в электроэнергии коэффициент полезного действия станции уменьшается. Поэтому существует необходимость альтернативного выбора: купить ли электроэнергию у кого – то или произвести ее самому.

Естественно предложенный вариант не единственный путь снижения расхода топлива для ТЭЦ-2. Так, возможна модернизация или покупка нового более экономичного оборудования, снижение длительности ремонтных циклов, перевод котлов на сжигание других видов топлива и т.д. Однако все эти пути требуют тщательной проработки и в отличие от предложенного варианта приводят к денежным и временным затратам.

Литература

1. *Анчарова Т.В.* Экономия электроэнергии на промышленных предприятиях/ Т.В.Анчарова, С.И.Гамазин, В.В.Шевченко. - М.: Высшая школа, 1990. – 143с.
2. *Горшков А.П.* Технико-экономические показатели тепловых электростанций. – М.: Энергия, 1974. – 237с.
3. *Максимей И.В.* Математическое моделирование больших систем: Учеб. пособие для спец. «Прикладная математика». – Мн.: Высшэйшая школа, 1985.-119с.
4. *Мелентьев С.Г.* Оптимизация развития и управления больших систем энергетики. –М.: Высшая школа, 1976.-243с.
5. Экономико-математические методы и модели: Учеб. пособие/ *Н.И.Холод, А.В.Кузнецов, Я.Н.Жихар и др.*; Под общ. ред. *А.В.Кузнецова*. 2-е изд. – Мн.: БГЭУ, 2000. – 412 с.

Карнеенко Александр Михайлович

Выпускник 2005 года экономического факультета
Белорусско-Российский университет, г. Могилев
Тел.: +375(222) 45-49-96

Широченко Виктор Александрович

Заведующий кафедрой «Экономическая информатика», канд. техн. наук, доцент.
Белорусско-Российский университет, г. Могилев
Тел.: +375(222) 24-51-96
E-mail: innov@tut.by