

## **МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ ПРИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ КРУПНЫХ ПРОИЗВОДСТ С ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ БЕЛОРУССКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

Одна из основных задач, решаемых при оптимизации управления электропотреблением, выравнивание (сглаживание) совмещенных и индивидуальных графиков нагрузки электроприемников.

Традиционный подход к проблеме оптимизации учитывает, прежде всего, экономичное распределение нагрузок между генерирующими источниками энергии. Вместе с тем решение полной задачи оптимизации должно быть получено с учетом оптимальной нагрузки потребителей, т.е. необходимо более правильно учитывать влияние выбранного оптимального режима на работу потребителей. Такой подход к проблеме оптимизации обеспечивает наибольшую эффективность работы одновременно всех звеньев энергохозяйства, включающих производство, передачу и распределение энергий с учетом интересов потребителей. Таким образом, полное решение всей проблемы возможно при переходе от отдельных режимно-экономических и организационно-технических мероприятий к их системному взаимодействию на основе создания динамической информационной модели. Согласно имеющимся сведениям, почерпнутым в различных зарубежных источниках информации, решение подобных задач в комплексной постановке отсутствует, хотя необходимость этого решения очевидна.

Поставленная задача не только не решается, но даже не сформулирована в полном объеме, оптимизационные расчеты выполняются группами режимов энергоуправлений эпизодически в традиционной постановке, без должного учета оптимальных графиков электропотребления промышленных узлов нагрузки.

В силу несовпадения режимных интересов электрогенерирующей и электропотребляющей сфер, организация их взаимодействия сводится к отысканию компромисса, т.е. некоторой системы взаимных уступок сущность которых состоит в допустимых отклонениях каждой из взаимодействующих сторон. В современных условиях слишком явное предпочтение режимных интересов энергосистемы режимным интересам потребителей не может рассчитывать на профессиональную,

общественную и административную поддержку. Тем не менее, представляется очевидным, что следует стремиться к достижению определенного компромисса, учитывающего интересы обеих сторон.

Независимо от выбранного принципа организации режимного взаимодействия эксплуатационный персонал энергосистемы и промышленных предприятий должен иметь достоверную информацию о расходных (энергетических) характеристиках отдельных электроприемников и их технологически, территориально или режимно-обособленных групп. Это даст возможность определять диапазоны регулирования активных нагрузок электропотребляющих объектов и оценивать потенциальные возможности как выравнивания и уплотнения графиков нагрузки, так и среза их пиков.

В качестве одного из основных критериев оценки рационального использования топливно-энергетических ресурсов на всех стадиях производства и совершенствования технических процессов выступают оптимальные удельные нормы энергопотребления, которые являются производными от технологического процесса – его производительности и энергетических показателей. Разработка оптимальных удельных норм является важным фактором повышения производительности труда, снижения себестоимости продукции, обновления технологий. Планирование норм рационального расхода энергоресурсов выполняется на основе официального документа, изданного Комитетом энергосбережения с учетом определения оптимальной технологии с наибольшей производительностью труда, меньшими затратами, высокой степенью автоматизации, экологической безопасности и т.д.

Сформулированная задача в полном объеме пока не решена в связи с необходимостью разработки комплекса взаимосвязанных задач, включающих создание системы мониторинга расходных характеристик промышленных предприятий, в том числе и определение их резервов регулирования с учетом дифференцированных по зонам суток тарифов, создание базы данных расходных характеристик удельного электропотребления и выработку механизма контроля за его соблюдением.

Совместить требования вычислительной эффективности и охвата в моделях оптимизации многих факторов практически удается только при функциональной декомпозиции задачи, в частности, при раздельном решении задач оптимизации активных и реактивных мощностей.

В общем виде задачу комплексной оптимизации режимов ЭЭС с учетом вариации нагрузок можно сформулировать следующим образом. Необходимо минимизировать некоторую функцию, являющую со-

бой эксплуатационные затраты, с учётом соответствующих ограничений в заданном временном интервале  $t$ . Обычно при оптимизации режимов в качестве целевой функции принимаются суммарные эксплуатационные издержки в ЭЭС, зависящие нелинейно и неявно от параметров оптимизации.

Принципы построения алгоритма регулирования электропотребления, основанного на использовании коэффициентов штрафа  $k_{ij}$ , позволяющие сформировать математическую модель, вписываются в классическую схему симплекс-метода. Алгоритм позволяет выполнить сглаживание (выравнивание) графика электропотребления эквивалентного нагрузочного узла. В качестве совмещенного графика нагрузки может выступать график любой режимной энергетической иерархии – от группового графика части цеха энергоемкого промышленного предприятия до эквивалентного графика нагрузки электроэнергетической системы в составе энергообъединения.

Одним из методов энергосбережения, т.е. снижения максимума нагрузки на промышленном предприятии (ПП) может быть оптимизация режимов напряжения в заводской распределительной сети. Результат достигается путем использования регулирующего эффекта нагрузки, который определяется ее статическими и динамическими характеристиками по напряжению и частоте, найденными экспериментально или аналитически (при отсутствии опытных данных). В проектной практике обычно пользуются альбомами типовых характеристик, которые составляются и периодически обновляются. Поскольку само ПП не может целенаправленно воздействовать на частоту сети, статические и динамические характеристики по частоте могут применяться только энергосистемой для регулирования собственной суммарной нагрузки. Что касается использования для регулирования нагрузки динамических характеристик по напряжению, то они жестко связаны с режимно-технологическим процессом и требуют проведения углубленных исследований на конкретном ПП в рамках его взаимодействия с энергосистемой. Поэтому наибольший практический интерес представляет взаимосвязь режимов напряжения и нагрузки, которая определяется статическими характеристиками нагрузок (СХН). СХН обычно получают путем активного или пассивного эксперимента с использованием соответствующих измерительных устройств.

Выбор необходимой величины изменения напряжения зависит от многих факторов, определяемых СХН и степенью надежности работающего оборудования. В детерминированной постановке эффект снижения электропотребления от изменения напряжения можно выразить следующим соотношением:

$$C = \sum_{t=1}^T [1/\tau k_U \Delta P_t(\Delta U) + \xi k_H Y_t(\Delta U)], \quad (1)$$

где  $\tau$  – плата за заявленный максимум;  $k_U$  – регулирующий эффект активной нагрузки по напряжению, выраженный в относительных единицах;  $\Delta P_t(\Delta U)$  – фактическое снижение нагрузки, вызванное изменением напряжения на величину  $\Delta U$  в распределительной сети ПП;  $k_H$  – коэффициент, определяющий надежность работы электрооборудования, в том числе и устойчивость крупных синхронных машин;  $Y_t(\Delta U)$  – величина ущерба, вызванного отклонением уровня надежности от оптимального значения при изменении напряжения  $\Delta U$ ;  $\xi$  – коэффициент приведения стоимости к текущему значению рублевого эквивалента;  $t$  – время работы основного оборудования, для которого определяется ущерб;  $T$  – полный расчетный период времени.

Условие оптимизации режима напряжений получит вид: найти минимум функционала (2) при ограничениях:

$$U_{\min} \leq U \leq U_{\max}, \quad (2)$$

где границы напряжений соответствуют крайним значениям, регламентированными «Инструкцией по проектированию силового и осветительного оборудования промышленных предприятий», которая ограничивает возможный диапазон кратковременных понижений напряжения при управлении электропотреблением десятью процентами.

Сформулированная задача вписывается в математическую модель нелинейного программирования. В результате ее решения находится оптимальный вектор  $\Delta U$ , который в соответствии с СХН дает максимальный эффект снижения активной мощности ПП. Наибольшая сложность при решении – определение вполне правдоподобных значений  $k_H$  и  $Y_t(\Delta U)$ , которые можно найти при достаточно богатом статистическом материале.

Решение выполняется по одному из стандартных алгоритмов теории нелинейного и динамического программирования.