УДК 621.311

К.М. РЕЙМОВ, ассистент (ТашГТУ)
г. Ташкент

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРУЗКОЙ ЭЛЕКТРОПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Одним из основных путей обеспечения экономичных режимов работ энергосистем при краткосрочном планировании является выравнивания графика нагрузки посредством управления электропотреблением.

Эффективное решение рассматриваемой задачи для различных энергосистем возможно лишь при учете характерных особенностей их функционирования. При этом задача оптимизации краткосрочных режимов энергосистемы должна решаться с учетом возможностей регулирования нагрузок электропотребителей за цикл регулирования.

Решение задачи оптимального управления нагрузкой электропотребителей энергосистемы в условиях нежестких их графиков нагрузок, получаемых в результате использования для их выравнивания административно-экономических мер, может быть осуществлено на основе специально разработанных моделей и алгоритмов.

Следовательно, задача оптимального планирования краткосрочного (например, суточного) режима энергосистемы с учетом регулирования нагрузок потребителей, в условиях отсутствия простых и функциональных ограничений в виде неравенств, математически можно сформулировать следующим образом:

минимизировать целевую функцию, представляющую собой функцию суммарных топливных издержек производства электроэнергии всеми тепловыми электростанции (ТЭС), участвующими в оптимизации, за цикл регулирования

$$B = \sum_{i=1}^{n} \sum_{t=1}^{24} B_i(P_{it}) \qquad (1)$$

с учетом ограничений

- по балансу мощности в каждом интервале цикла регулирования (в данном случае суточного цикла регулирования)

$$W_t = \sum_{i=1}^{n} P_{it} - \sum_{j=1}^{m} P_{jt} = 0, \quad t = 1, 2, \ldots, 24; \tag{2}$$

- по балансу электроэнергии за цикл регулирования

$$\varphi = \sum_{j=1}^{m} \sum_{t=1}^{24} P_{jt} - Э_{сут} = 0, \tag{3}$$

где *n, m*- числа расчетных ТЭС и нагрузочных узлов, соответственно; P_{it}, P_{jt} - мощности *i*- й ТЭС и *j* - го нагрузочного узла в *t*- м интервале цикла регулирования; $B_i(P_{it})$ - топливная издержка *i*- й ТЭС при её нагрузке в *t* - м интервале цикла регулирования P_{it}; W_t, φ - функции небалансов активной мощности в *t*- м интервале и электроэнергии за цикл регулирования.

Данное математическое описание (математическая модель) задачи оптимального планирования краткосрочного режима энергосистемы без учета простых и функциональных ограничений в виде неравенств отличается от существующих моделей наличием интегрального ограничения по балансу электроэнергии в энергосистеме (3). Присутствие такого ограничения возможно в тех случаях, когда в энергосистеме имеются крупные потребители с приемниками, полных или частичных нагрузок которых можно перенести на любое время рассматриваемого периода планирования (например, суток). Соответственно, графики нагрузок таких потребителей являются нежесткими.

Решение этой задачи может быть найдено методом Лагранжа, согласно которому она сводится к определению безусловного минимума функции

(4)

$$L = B + \sum_{t=1}^{24} \mu_t W_t + \lambda\varphi$$

где μ_t, λ - неопределенные множители Лагранжа.

Оптимальных значений регулируемых параметров для каждого интервала P_{it}, P_{jt} можно определить из необходимого условия экстремума функции *L*.

По [1] можно сделать вывод о том, что минимум суммарных топливных издержек в *n* ТЭС обеспечивается при постоянстве суммарной нагрузки энергосистемы за цикл регулирования. Соответственно, для получения такого режима (при отсутствии функциональных ограничений в виде неравенств) график суммарной нагрузки энергосистемы должен быть выровнен за счет соответствующего управления нагрузками электропотребителей за рассматриваемый цикл регулирования.

Для подтверждения полученного вывода рассмотрим пример, заключающийся в оптимальном покрытии суммарного графика нагрузки энергосистемы (таблица 1) за цикл регулирования, состоящий из шести интервалов, тремя ТЭС со следующими расходными характеристиками:

$$B_1 = 82 + 0{,}2P_1 + 0{,}001P_1^2$$

$$B_2 = 75 + 0{,}25P_2 + 0{,}0008P_2^2$$

$$B_3 = 50 + 0{,}12P_3 + 0{,}0015P_3^2, \quad m.y.m./ч.$$

Так как топливные издержки в ТЭС пропорциональны расходам условного топлива в них, здесь вместо характеристик топливных издержек непосредственно приняты расходные характеристики.

Таблица 1. Суммарный график нагрузки энергосистемы.

Интервал	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Время суток, ч	0 - 4	4 - 10	10 - 13	13 - 18	18 - 22	22 - 24
Суммарная нагрузка	360	480	890	600	1200	700

$P_н$, МВт						

Для сравнения результатов и оценки влияния управления нагрузки на оптимальность плана покрытия суточного графика нагрузки энергосистемы сначала осуществляем оптимальное покрытие заданного (жесткого) графика нагрузки энергосистемы тремя расчетными ТЭС. В результате оптимального покрытия графика нагрузки суммарный расход условного топлива в расчетных ТЭС (по энергосистеме) за цикл регулирования составляет 12696,92 т.у.т.

Осуществляем оптимальное покрытие графика нагрузки энергосистемы при его не жесткости:

Целевая функция:

$$B = 4\cdot(0{,}2P_{11} + 0{,}001P_{11}^2) + 6\cdot(0{,}2P_{12} + 0{,}001P_{12}^2) + 3\cdot(0{,}2P_{13} + 0{,}001P_{13}^2) +$$
$$+ 5\cdot(0{,}2P_{14} + 0{,}001P_{14}^2) + 4\cdot(0{,}2P_{15} + 0{,}001P_{15}^2) + 2\cdot(0{,}2P_{16} + 0{,}001P_{16}^2) +$$
$$+ 4\cdot(0{,}25P_{21} + 0{,}0008P_{21}^2) + 6\cdot(0{,}25P_{22} + 0{,}0008P_{22}^2) + 3\cdot(0{,}25P_{23} + 0{,}0008P_{23}^2) +$$
$$+ 5\cdot(0{,}25P_{24} + 0{,}0008P_{24}^2) + 4\cdot(0{,}25P_{25} + 0{,}0008P_{25}^2) + 2\cdot(0{,}25P_{26} + 0{,}0008P_{26}^2) +$$
$$+ 4\cdot(0{,}12P_{31} + 0{,}0015P_{31}^2) + 6\cdot(0{,}12P_{32} + 0{,}0015P_{32}^2) + 3\cdot(0{,}12P_{33} + 0{,}0015P_{33}^2) +$$
$$+ 5\cdot(0{,}12P_{34} + 0{,}0015P_{34}^2) + 4\cdot(0{,}12P_{35} + 0{,}0015P_{35}^2) + 2\cdot(0{,}12P_{36} + 0{,}0015P_{36}^2) \to \min$$

ограничения по балансу мощностей:

$$W_1 = P_{11} + P_{21} + P_{31} - P_{н1} = 0,$$
$$W_2 = P_{12} + P_{22} + P_{32} - P_{н2} = 0,$$
$$W_3 = P_{13} + P_{23} + P_{33} - P_{н3} = 0,$$
$$W_4 = P_{14} + P_{24} + P_{34} - P_{н4} = 0,$$
$$W_5 = P_{15} + P_{25} + P_{35} - P_{н5} = 0,$$
$$W_6 = P_{16} + P_{26} + P_{36} - P_{н6} = 0.$$

ограничение по балансу электроэнергии:

$$\varphi = 4P_{11} + 6P_{12} + 3P_{13} + 5P_{14} + 4P_{15} + 2P_{16} + 4P_{21} + 6P_{22} + 3P_{23} + 5P_{24} +$$
$$+ 4P_{25} + 2P_{26} + 4P_{31} + 6P_{32} + 3P_{33} + 5P_{34} + 4P_{35} + 2P_{36} -$$
$$- (4\cdot 360 + 6\cdot 480 + 3\cdot 890 + 5\cdot 600 + 4\cdot 1200 + 2\cdot 700) = 0.$$

Полученная оптимизационная задача решена градиентным методом, в результате получены оптимальные нагрузки расчетных станций и потребителя по шести интервалам (таблица 2).

Таблица 2. Результаты оптимального планирования режима энергосистемы с управлением нагрузкой.

Интервал, t	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Время суток, ч	0 - 4	4 - 10	10 - 13	13 - 18	18 - 22	22 - 24
$P_{нt}$, МВт	674,58	674,58	674,58	674,58	674,58	674,58
P_{1t}, МВт	232,86	232,86	232,86	232,86	232,86	232,86
P_{2t}, МВт	259,82	259,82	259,82	259,82	259,82	259,82
P_{3t}, МВт	181,90	181,90	181,90	181,90	181,90	181,90

В результате оптимального покрытия такого нежесткого графика нагрузки энергосистемы суммарный расход условного топлива ТЭС за сутки составит 11957,22 т.у.т. Это на 739,7 т.у.т. меньше чем при жестком графике нагрузки.

Таким образом, в рассмотренном примере за счет выравнивания графика нагрузки энергосистемы (при его идеальной не жесткости) суммарный расход условного топлива в ТЭС за сутки уменьшится на 739,7 т.у.т., что составляет 5,8% от суммарного расхода топлива при жесткости графики нагрузки. Это показывает, что выравнивание графика нагрузки приводит к дополнительному уменьшению топливных издержек за цикл регулирования. Также это подтверждает адекватности предлагаемой математической модели задачи оптимального планирования режима энергосистемы с учетом управления нагрузкой электропотребителей.

Список литературы:

1. Гайибов, Т.Ш. Оптимизация краткосрочных режимов энергосистем с управлением электропотребления [Текст] / Т.Ш.Гайибов, К.М.Реймов // Журнал Электрика, 2014. – №6. – С. 2-5.