

УДК. 681.3

СИНТЕЗ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ЭНЕРГОБЛОКАМИ ТЭС

В.С. Михайленко, Р.Ю. Харченко

Одесская государственная академия холода

e-mail: vlad_mihailenko@mail.ru

Задача оптимального распределения нагрузки является одной из важнейших задач в энергетике. Оптимальное управление режимами работы электростанций - традиционно одна из сложных научных и практических задач, обусловленная неопределенностью исходной информации, многовариантностью решений, трудностью учета реального технического состояния оборудования и другими факторами. Тем не менее, на их основе в настоящее время разработаны различные методики и программные комплексы для внутристанционной оптимизации режимов работы оборудования. Причиной сложности использования программных комплексов оптимального управления режимами работы электростанции является значительная доля ручного ввода исходных данных для выбора оптимального режима при каждом изменении задания. Это обусловлено отсутствием адаптивных технологий на программных комплексах распределения нагрузки, установленных на электростанциях.

Суть решаемой задачи в следующем: диспетчера энергосистем для каждой электрической станции задают суточный график нагрузки, то есть задают значение активной мощности, которую станция должна генерировать в течении суток. Возникает проблема распределения заданной мощности между всеми работоспособными блоками электрической станции. Причем распределение должно быть оптимальным, то есть суммарные затраты на производство заданной электрической энергии должны быть наименьшими.

Таким образом, поиск эффективных методов распределения нагрузки между энергоблоками в пиковых режимах работы энергосистемы является актуальным. Так если показатель качества функционирования объекта (например, удельного расхода топлива электростанции или энергосистемы) представляет собой выпуклую непрерывную функцию $x_1, x_2, \dots, x_n$ (например, нагрузок каждого из n параллельно работающих энергоблоков), поиск оптимального значения этого показателя и значений $x_{1\text{опт}}, x_{2\text{опт}}, \dots, x_{n\text{опт}}$, при которых он достигается, осуществляется путем решения системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \partial Q_{\text{об}} / \partial x_1 &= 0; \\ \partial Q_{\text{об}} / \partial x_2 &= 0; \\ &\dots\dots\dots \\ \partial Q_{\text{об}} / \partial x_n &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Практически эта задача всегда усложняется наличием тех или иных ограничений. Когда ограничения имеют характер связей между $x_1, x_2, \dots, x_n$: $f_k(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$, ($k = 1, 2, \dots, m$), а функция $Q(x_1, x_2, \dots, x_n)$ непрерывна, решение задачи может быть выполнено с использованием *метода неопределенных множителей Лагранжа*. Подобная задача, известная как задача на условный экстремум, подробно рассматривается в работах [1,2] по статической оптимизации. Ее решение может быть осуществлено в следующем порядке:

Составляется новая функция

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = Q(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum_{k=1}^m \lambda_k f_k(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ — неопределенные коэффициенты, называемые множителями Лагранжа) и частные производные этой функции по $x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ приравняются к нулю.

Из полученной системы $n + m$ уравнений могут быть найдены значения $x_1, x_2, \dots, x_n$, которые и дают экстремум целевой функции $Q(x_1, x_2, \dots, x_n)$ при учете связей.

Применим полученный результат к задаче оптимального распределения нагрузок между параллельно работающими энергоблоками. В качестве целевой функции управления системой из n энергоблоков выберем требование минимизации удельных затрат топлива всех энергоблоков на производство электроэнергии

$$Q = \sum_{k=1}^n B / N_{\Sigma}.$$

Переменными $x_1, x_2, \dots, x_n$ в рассматриваемом случае являются нагрузки отдельных энергоблоков — $N_1, N_2, \dots, N_n$, уравнение связи требует, чтобы сумма нагрузок всех энергоблоков была равна заданному значению $N_{\Sigma \text{эд}}$

$$\sum_{k=1}^n N_k - N_{\Sigma \text{эд}} = 0.$$

Функция Лагранжа (1) для такой постановки задачи имеет следующий вид:

$$F(N_1, N_2, \dots, N_n) = \frac{1}{N_{\Sigma}} \sum_{k=1}^n B_k(N_k) + \lambda \left[\sum_{k=1}^n N_k - N_{\Sigma \text{эд}} \right],$$

а система уравнений, определяющих условный экстремум:

$$-N_{\Sigma} \lambda = \frac{\partial B_1(N_1)}{\partial N_1} = \frac{\partial B_2(N_2)}{\partial N_2} = \dots = \frac{\partial B_n(N_n)}{\partial N_n}. \quad (2)$$

Производная $\partial B_k(N_k) / \partial N_k$, получила название удельного или относительного прироста расхода топлива.

Из (2) следует, что оптимальным с точки зрения минимума удельного расхода топлива будет такое распределение нагрузок между энергоблоками, при котором удельные приросты расходов топлива на каждом энергоблоке будут одинаковы.

Рассмотрим пример [1], пусть необходимо оптимизировать распределение нагрузки между тремя энергоблоками; допустим, что их заданная суммарная нагрузка $N_{\Sigma} = 850$ МВт, а зависимости расхода топлива от нагрузки каждого отдельного энергоблока определяются формулами:

$$B_1(N_1) = aN_1^2 + B_{1,0}; \quad B_2(N_2) = 1,1aN_2^2 + B_{2,0}; \quad B_3(N_3) = 1,2aN_3^2 + B_{3,0},$$

где a — постоянный коэффициент; B_0 — расход холостого хода.

Удельные приросты топлива для каждого энергоблока определяются формулами:

$$\frac{\partial B_1(N_1)}{\partial N_1} = 2aN_1; \quad \frac{\partial B_2(N_2)}{\partial N_2} = 2,2aN_2; \quad \frac{\partial B_3(N_3)}{\partial N_3} = 2,4aN_3,$$

подставив которые в (2), получим $N_1 = 310$ МВт, $N_2 = 281$ МВт, $N_3 = 259$ МВт.

Удельный расход топлива при таком распределении будет минимально возможным и равным $Q_{0\text{min}}(310; 281; 259) = 309,95$ а. Если бы энергоблоки были нагружены одинаково, удельный расход оказался бы равным $Q_0(283,3; 283,3; 283,3) = 311,6$ а, т.е. возник бы перерасход, равный 0,55 %.

Применение рассмотренного метода оптимизации осложняется в тех часто встречающихся случаях, когда на переменные, от которых зависит показатель оптимальности, накладываются ограничения в виде неравенств. Так, в рассмотренном примере должны быть наложены ограничения на максимальную мощность энергоблоков: если максимальная мощность каждого из энергоблоков будет равна 300 МВт, найденное решение не сможет быть реализовано (так как в соответствии с этим решением один из энергоблоков должен нести нагрузку 310 МВт). При этом известно, что объекты подверженные частым сменам нагрузки обладают существенной нелинейностью, что не может быть учтено традиционными подходами теории оптимизации. Также традиционно применяемый метод динамического программирования Беллмана также обладает недостатком связанным с проблемой выбора дискретности изменения (мощности) для составления таблиц [2]. Поэтому, по нашему мнению, для решения оптимизационных задач подобного типа может оказаться более эффективным использование *методов теории нейронных сетей* [3,4].

Исходя из решений метода Лагранжа (пример) и известных значений условного расхода топлива для каждого из энергоблоков, была получена обучающая выборка. На ее основании нейронная сеть совершает оптимальный прогноз распределения нагрузки между тремя энергоблоками ТЭС с минимальными затратами топлива. В качестве дополнительной выборки можно использовать экспериментальные данные. Таким образом, если ТЭС имеет энергоблоки разной мощности с разным видом топлива, то использование нейронной сети НС позволяет получить рекомендации оперативному персоналу станции по выбору наилучших режимов работы энергоблоков т.е. их мощности с учетом нелинейности нагрузки энергосистемы и времени нахождения в состоянии останова. Исходя из расчетов приведенного примера была разработана НС определяющая оптимальные распределения нагрузки между энергоблоками в зависимости от значений коэффициента расхода a принимающего значения в диапазоне [1.2-1.6] (рис.1).

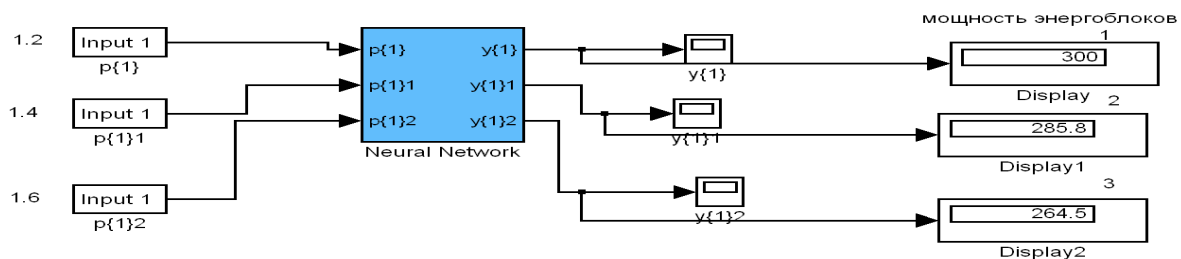


Рис. 1 Компьютерная модель нейросетевого распределения нагрузки энергоблоков

Разработанная компьютерная модель структуры НС, выполненная в программе MatLab представлена на рис. 2.

Интеграция предложенной структуры в СППР ТЭС позволит оперативному персоналу электростанции оперативно принимать оптимальные решения о распределении нагрузки между энергоблоками с учетом нелинейных характеристик объектов.

Реализация процедуры идентификации выходных данных в большей мере определяет качество предложенной модели. Особенное значение данный этап имеет при идентификации нелинейных систем.

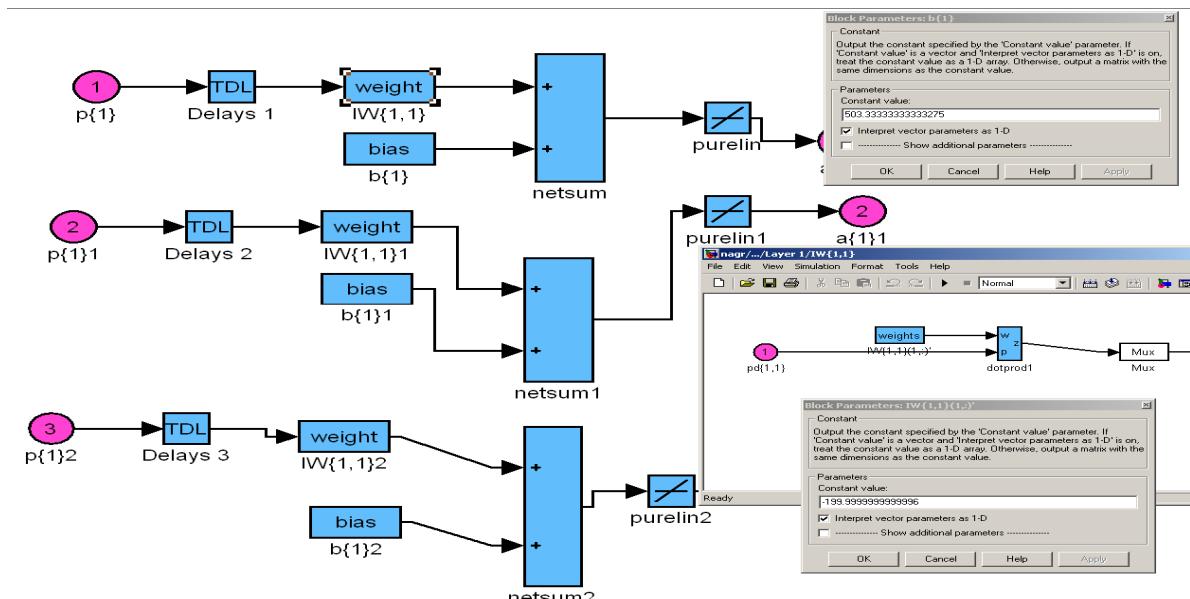


Рис. 2 Компьютерная структура НС с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки в программе NNT (MatLab)

Несмотря на тот факт, что разработка и размещение датчиков на реальном объекте также являются составной частью проведения эксперимента, в настоящей работе предполагается, что система изначально оснащена необходимыми датчиками и, таким образом, входные и выходные последовательности являются доступными. Кроме того, предполагается наличие возможности управления входными сигналами в соответствии с выбранным законом их изменения. В большинстве случаев данные предположения вполне допустимы. В случае, когда процедура идентификации проводится с целью получить модель реального объекта, пригодную для дальнейшего синтеза регулятора нагрузки, достаточно часто пользуются линейными моделями, несмотря на нелинейность реальной системы [4]. Основной причиной является значительная простота синтеза систем управления по линейным моделям. По нашему мнению, в случаях АСУ ТП ТЭС использование линейных моделей НС обоснованно.

Еще одним перспективным научным подходом в оптимальном управлении можно считать генетические алгоритмы (ГА) [4], получающие широкое распространение в последнее время. Использование генетических регуляторов нагрузки энергоблоков позволяет достичь оптимальных показателей (минимального расхода топлива на ТЭС) без попадания функций объекта в локальный минимум. Однако эффективность данного математического аппарата существенно зависит от размера популяции и при усложнении функции объекта (три полинома и более), настройка параметров ГА становится сложной задачей, требующей большого количества экспериментов и проверок.

Литература

1. Ротач В.Я. Теория автоматического управления / В.Я. Ротач. – М.: МЭИ, 2008. – 396 с.
2. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций / Г.П. Плетнев. – М.: Энергоиздат, 1986. – 368 с.
3. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, Н.Н. Борисов. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2001. – 382 с.
4. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2006. – 452 с.