

УДК 004.896

МОДИФИКАЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ НА ЭНЕРГОБЛОКИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Качура И.С., Ткаченко В.Н.

Донецкий национальный технический университет

Энергетика является одним из ключевых секторов экономики Украины. Одной из главных задач электроэнергетики является экономия энергоресурсов.

Производство электроэнергии в любой момент времени должно совпадать с ее потреблением. Часть потребителей электрической энергии работают круглосуточно, часть только днем, а часть – только в определенные часы суток. В результате при суммировании всех нагрузок получается зависимость электрической энергии от времени суток, которую называют суточным графиком электрической нагрузки.

График суточной нагрузки (рис. 1) делится на три зоны: базовую, пиковую и полупиковую. Пиковая зона наблюдается в утренний и вечерний периоды, полупиковая зона – днем, базовая зона графика присутствует в течение суток, ее уровень виден в ночное время, когда нет пиковой и полупиковой составляющей.

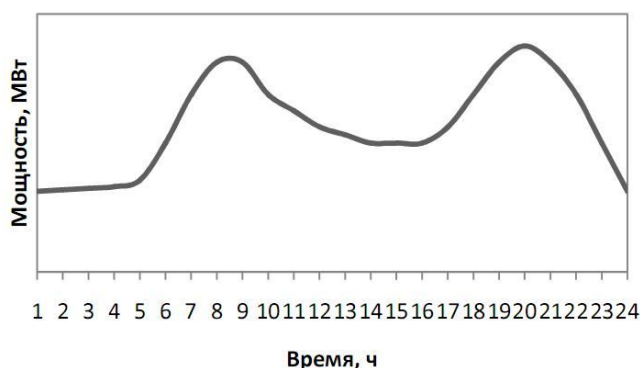


Рисунок 1 – пример графика суточной нагрузки в течение дня (по часам)

Основными источниками электрической энергии в Украине являются тепловые и атомные электростанции, которые в сумме вырабатывают свыше 90% электроэнергии. Атомные электростанции и гидроэлектростанции в энергетике служат для покрытия в основном базовой зоны суточной нагрузки, поскольку не позволяют в короткие сроки набирать и снижать мощность. Энергоблоки же тепловых электростанций являются более маневренными и позволяют покрывать пиковую и полупиковую зоны графика электрической нагрузки.

Для регулирования работы электростанций и распределения нагрузок на энергоблоки в Украине действует государственное предприятие «Энергорынок», задачей которого состоит в том, чтобы на основе ценовых заявок электростанций определить какие энергоблоки конкурентоспособны, т.е. способны получить суточную нагрузку с минимальной затратой топливных и денежных ресурсов, а какие – нет.

В результате анализа ситуации на энергорынке Украины и определения конкурентоспособности происходит разбиение энергоблоков тепловых электростанций на три группы:

- первую группу составляют энергоблоки, которые получают нагрузку полностью на сутки;
- вторую группу составляют энергоблоки, которые будут загружены частично в течение суток (например, в часы пик);
- третью группу составляют энергоблоки, которые не войдут в план на сутки.

Задача оптимизации суточного графика нагрузки состоит в следующем.

Заданы энергоблоки, входящие в энергосистему, ценовые заявки каждого энергоблока в виде зависимости стоимости производства электроэнергии в тоннах условного топлива (ТУТ) для выработки 1 МВтч для каждого вида топлива, начальное (текущее) состояние энергоблока и наличие топлива на складе.

Известны технические параметры энергоблоков. С системной точки зрения для реализации задачи распределения нагрузки важны следующие параметры энергоблоков:

- максимальная и минимальная мощность работы энергоблока;
- регулировочный диапазон нагрузок в виде точек зависимости ТУТ для выработки мощности (рис. 2); для точек строится аппроксимирующая функция, совпадающая в узлах с заданными точками, такой способ называется интерполяцией;
- скорость набора и сброса мощности для энергоблоков в рабочем режиме;
- скорость запуска блока из режима полного останова;
- скорость запуска энергоблока из режима холостого хода;
- скорость останова энергоблока.

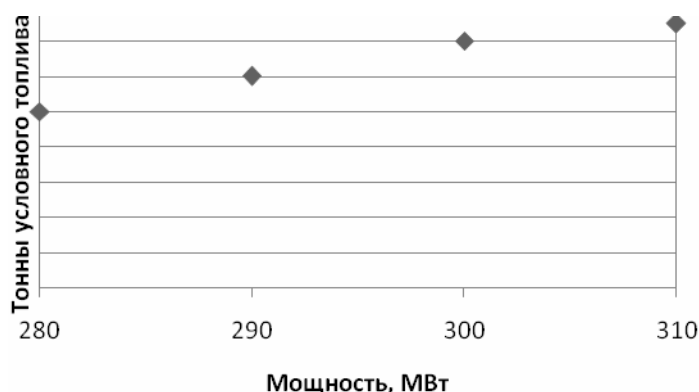


Рисунок 2 – пример задания точек зависимости ТУТ от мощности работы энергоблока для энергоблока с номинальной мощностью 300 МВт

Для решения задачи планирования для короткого периода времени – на 7 дней (24 часа в день) необходимо составить математическую модель системы распределения нагрузки на энергоблоки электростанций. В случае выхода из строя какого-либо энергоблока в течение короткого периода времени (5–10 мин) необходимо восполнить мощность, вырабатываемую вышедшим из строя блоком, за счет увеличения мощности уже работающих энергоблоков (преимущественно за счет энергоблоков, составляющих вторую группу) или включить в работу энергоблоки, находящиеся в третьей группе.

Рассмотрим символичные обозначения:

N – количество энергоблоков;

T – общий период времени, в течение которого строится график (24*7 часов);
 i – индекс энергоблока ($i = 1, 2 \dots N$);
 j – индекс времени ($j = 1, 2 \dots T$);
 P^j – сумма мощностей в энергосистеме в момент времени j ;
 X_i^j – мощность энергоблока в момент времени j ;
 $C_i(X_i)$ – функция стоимости 1 единицы ТУТ от мощности для энергоблока в режиме работы;
 $CS_i(X_i)$ – стоимость 1 единицы ТУТ для энергоблока в режиме набора мощности из режима останова;
 $CSD_i(X_i)$ – стоимость 1 единицы ТУТ для энергоблока в режиме сброса мощности;
 P_i^{max} – максимальная мощность энергоблока;
 P_i^{min} – минимальная мощность энергоблока;
 dPU_i – скорость набора мощности энергоблоком;
 dPD_i – скорость сброса мощности энергоблоком.

Рассмотрим процесс оперативного планирования распределения нагрузки на энергоблоки тепловых электростанций. В состав энергосистемы входит N энергоблоков.

Составим математическую модель распределения нагрузки на энергоблоки ТЭС. Целью планирования является уменьшение экономических затрат на выработку нагрузки энергоблоком:

$$\min \sum_{i=1}^n C_i(X_i) \quad (1)$$

Режимы пуска и останова энергоблока являются сложными технологическими задачами. Эти режимы отличаются от режима работы на номинальной мощности. С учетом этих режимов и времени планирования составим целевую функцию. Она имеет вид:

$$\min \sum_{j=1}^T \sum_{i=1}^N (C_i(X_i) + CS_i(X_i) + CSD_i(X_i)) \quad (2)$$

Все электростанции в энергосистеме должны выполнить задачу обеспечения необходимой нагрузкой в момент времени j :

$$\sum_{i=1}^N X_i^j = P^j \quad (3)$$

Учтем предельные условия работы энергоблока:

$$X_i \leq P_i^{max} \quad (4)$$

$$X_i \geq P_i^{min} \quad (5)$$

Ограничение на скорость набора и сброса мощности энергоблоком:

$$X_i^{j+1} - X_i^j \leq dPU_i \quad (6)$$

$$X_i^j - X_i^{j+1} \leq dPD_i \quad (7)$$

Для решения поставленной задачи рассмотрена реализация генетического алгоритма. Этот алгоритм применяется для решения задач оптимизации путем случайного подбора. В основе генетического алгоритма лежит теорема схем, дающая обоснование эффективности и сходимости. Принцип работы генетического алгоритма основан на механизмах естественной эволюции. Первый принцип основан на концепции выживания сильнейших, согласно которой лучшие особи, способные решать задачу в своей среде, выживают и больше размножаются (репродуцируют). Второй принцип обусловлен тем фактом, что хромосома потомка состоит из частей, полученных из хромосом родителей. Третий принцип основан на концепции мутации. Эти три принципа составляют ядро генетического алгоритма [3].

В классическом генетическом алгоритме особь кодируется строкой двоичных символов, называемой хромосомой. Множество особей составляет популяцию.

Сам генетический алгоритм представляется следующей последовательностью действий:

1. Установка параметров эволюции.
2. Инициализация начальной популяции.
3. Оценка особей, входящих в популяцию.
4. Отбор родителей.
5. Выполнение оператора кроссинговера – создание потомков выбранных пар родителей.
6. Мутация новых особей.
7. Добавление в популяцию новых порожденных особей.
8. Сокращение популяции до исходного размера.
9. Если критерий останова алгоритма выполнен, то переход на шаг 10, иначе – переход на шаг 3.
10. Выбор лучшей особи в конечной популяции – результат работы алгоритма.

Рассмотрим основные особенности реализации генетического алгоритма.

Начальная популяция формируется из множества случайных решений. Для представления вещественного вида числа в двоичной форме в работе применяются следующие методы:

1. Простое кодирование с заданной точностью. Количество хромосом в таком случае равняется $L * 10^n$, где L – длина отрезка, на котором ведется поиск, n – точность (количество знаков после запятой), с которой выполняется расчет.
2. Код Грея. Рассмотрение двоичного представления чисел с помощью простого кодирования имеет один недостаток, поскольку расстояние между соседними числами часто не соответствуют расстоянию по Хеммингу между их двоичными представлениями. Поэтому желательно получить двоичное представление, где близкие расстояния между хромосомами соответствуют близким расстояниям в проблемной области. В таком случае применяется кодирование с помощью кода Грея.

Также применяется логарифмическое кодирование. Данный вид кодирования позволяет сократить длину хромосом. Двоичный код представляется вещественным числом, которое вычисляется по формуле $(-1)^b e^{(-1)^a X_{10}}$, где a – первый бит кодовой последовательности, b – второй бит кодовой последовательности, X_{10} – остальные биты кодовой последовательности, представленные в десятичной форме [3]

Для отбора особей, входящих в популяцию, используется пропорциональный отбор. При таком подходе для каждой особи строятся отрезки в области $[0,1]$, длины которых пропорциональны приспособленности особи. Затем генерируются случайные числа в диапазоне $[0,1]$. Таким образом, более приспособленная особь, т.е. особь с лучшим значением целевой функции, имеет большие шансы перейти в следующее поколение, вытесняя при этом особи с меньшей приспособленностью.

Для выполнения кроссинговера случайным образом выбирается точка скрещивания и 2 хромосомы, затем производится обмен фрагментами хромосом после точки скрещивания. Такой подход называется одноточечным кроссинговером. Помимо одноточечного кроссинговера существует еще большое количество подходов: многоточечный, однородный, ограниченный, плоский, арифметический, геометрический кроссинговеры и др.

В качестве оператора мутации наибольшее распространение имеет оператор случайной мутации. В этом случае ген принимает случайное значение из интервала своего изменения. Также существуют и другие операторы мутации: неравномерная и инверсная.

Для решения задачи с помощью генетического программирования также необходимо определить значения параметров, такие как мощность популяции, максимальный размер особи, вероятности кроссинговера, который обычно полагается ≈ 0.5 , и мутации, обычно 0.01 и может быть уменьшена до 0.001.

В работе была выполнена программная реализация вышеописанного алгоритма и его модификаций на языке программирования Java, и проведены экспериментальные тесты с целью определения лучших параметров: вероятности кроссинговера и мутации, размера популяции. В случае выхода из строя одного из энергоблоков для задачи оперативного планирования производится расчет системы без учета этого энергоблока с текущими начальными условиями.

Литература

- [1] Веников В.А., Журавлев В.Г., Филиппова Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. – М.: Энергоиздат, 1981. – 464 с.
- [2] Электрические системы: Электрические расчеты, программирование и оптимизация режимов под ред. В.А. Веникова. – М.: Высшая школа, 1973. – 318 с.
- [3] Скобцов Ю.А. Основы эволюционных вычислений. – Учебное пособие. – Донецк: ДонНТУ, 2008. – 326с.