

УДК 65.012

Е.А. Плаксиенко

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ МЕЖДУ  
ИСТОЧНИКАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

**Введение.** Отличительной особенностью электрической энергии является то, что она должна быть потреблена в момент её производства. Другими словами, если к электростанции подключена нагрузка в 50 МгВт, то эта электростанция вырабатывает электроэнергию только 50 МгВт плюс потери энергии в сетях передачи от электростанции до потребителя. С другой стороны, суммарная проектная мощность, которую могут выработать электростанции в некотором регионе, больше обычно потребляемой. Это необходимо для компенсации кратковременных выбросов потребляемой электроэнергии, по тем или иным причинам. Однако в обычном режиме этот запас мощности не используется, что приводит к существенному снижению экономической эффективности систем электроснабжения [1].

С целью уменьшения указанного запаса и повышению экономической эффективности энергосетей предпринимаются различные меры. В частности, генерирующие предприятия предлагают дифференцированную систему тарифов, которая стимулирует потребителей работать в часы минимального потребления электроэнергии, например, ночью. Эта задача решается диспетчерской службой. При этом оборудование станций и сетей должно быть готово к необходимым переключениям потребителей в течение суток или года.

В настоящее время предполагается, что персонал диспетчерских служб энергосистемы имеет план выработки и распределения электроэнергии в течение суток или месяца. На основе этого плана персонал может подготовить включение или отключение необходимого числа генераторов. Однако в действительности план выработки и распределения электроэнергии часто нарушается, в связи с чем возникает задача оптимального оперативного распределения потребителей между электростанциями, при котором нагрузка каждой из них приближается к номинальной. Техническая сторона решения этой задачи в настоящее время хорошо обеспечена, так как современные системы управления электроэнергетикой строятся на базе электронных вычислительных машин. Задача оперативного распределения потребителей между электростанциями относится к классу хорошо известных распределительных задач. Ее особенностью, по сравнению с классической задачей о назначениях, является то, что, как правило, один электрогенератор способен обслужить не одного, а многих потребителей. Для решения классических задач о назначениях применяются различные методы, например «венгерский» метод и т.п.[2]. Однако эти методы с трудом поддаются формализации и имеют ряд существенных ограничений. Кроме них существует ряд эвристических, легко формализуемых методов, которые имеют более широкую область применения, меньшие временные затраты, но дают приближенное решение.

В данной работе предлагается использовать для решения задачи о распределении потребителей между электростанциями метод прямых проходов, описанный в [3]. Этот метод также является эвристическим, но может применяться для решения задач, в которых один электрогенератор способен обслужить не одного, а многих потребителей.

бителей равно  $n$ . Будем предполагать, что число потребителей достаточно велико. Каждый потребитель может быть подключен к любому из имеющихся генераторов. Эффективность подключения  $j$ -го потребителя к  $i$ -му генератору обозначим  $C_{ij}$ . Эта величина принимается равной отношению мощности подключаемого потребителя  $P_i$  к максимальной мощности данного генератора  $P_j$ , т.е.  $C_{ij}=P_i/P_j$ . При известных потребителях и генераторах легко строится матрица эффективностей  $C = \| C_{ij} \|$  ( $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$ ). Требуется определить матрицу подключений потребителей к генераторам  $X = \| x_{ij} \|$ , обеспечивающую выполнение всех работ с наибольшей эффективностью. Элемент  $x_{ij}$  равен 1 если  $j$ -й потребитель подключен к  $i$ -ому генератору и 0 в противном случае. Для изложения метода введем понятие **нагруженности генератора**. В исходном состоянии все генераторы не нагружены. Если к данному  $j$ -му генератору подключено такое число потребителей, что подключение любого следующего приводит к неравенству  $M_j \geq 1$ , то  $j$ -й генератор называется нагруженным и исключается из дальнейшего рассмотрения. Рассматриваемый метод разработан на основе следующих эвристик:

1. К каждому из имеющихся генераторов может быть подключен любой потребитель.
2. Если потребитель подключен к генератору, то он выбывает из дальнейшего рассмотрения.
3. Если генератор после подключения очередного потребителя оказывается нагруженным, то он исключается из дальнейшего рассмотрения.

**Алгоритм метода прямых проходов:**

1. Рассматривается первая строка матрицы эффективности и выбирается тот потребитель, для которого эффективность максимальна:

- если у нескольких потребителей окажется одинаковая максимальная эффективность, то подключение осуществляется для первого поочередности потребителя.

2. Для выбранного потребителя просматриваются эффективности по отношению к остальным генераторам:

- если у рассматриваемого генератора она наибольшая, то рассматриваемый потребитель подключается к этому генератору и выбывает из дальнейшего рассмотрения, в противном случае подключение откладывается и осуществляется переход к п. 4;

- если у другого генератора окажется такая же эффективность, то текущий потребитель подключается к первому из рассматриваемых генераторов. Далее переход к п. 3.

3. Производится корректировка таблицы исходных данных путем исключения подключенных потребителей и нагруженных генераторов.

4. Далее шаги 2 и 3 повторяются для всех, не подключенных потребителей и не нагруженных генераторов.

5. Алгоритм заканчивает работу, когда все потребители окажутся подключенными.

Для иллюстрации описанного метода рассмотрим численный пример.

**Пример 1.** Пусть матрица эффективностей  $C = \| C_{ij} \|$  имеет следующий вид:

$$C = \begin{bmatrix} I & 0,21 & 0,32 & 0,27 & 0,38 & 0,37 & 0,29 & 0,45 & 0,44 \\ II & 0,35 & 0,40 & 0,34 & 0,33 & 0,40 & 0,42 & 0,39 & 0,48 \\ III & 0,36 & 0,28 & 0,33 & 0,30 & 0,38 & 0,37 & 0,34 & 0,40 \\ IV & 0,32 & 0,38 & 0,29 & 0,37 & 0,41 & 0,35 & 0,38 & 0,44 \end{bmatrix}.$$

Здесь и далее  $in$  – номер потребителя, а римскими цифрами обозначены номера генераторов. Опишем работу алгоритма по шагам.

1. Рассматривается первая строка матрицы эффективностей:

$(0,21 \ 0,32 \ 0,27 \ 0,38 \ 0,37 \ 0,29 \ 0,45 \ 0,44)$ . Максимальная эффективность в ней равна 0,45, что соответствует потребителю 7. Далее рассматривается столбец эффективностей  $(0,45 \ 0,39 \ 0,34 \ 0,38)^T$  соответствующих подключению этого потребителя к другим генераторам. Так как в рассматриваемом столбце число 0,45 является наибольшим, то 7-ой потребитель подключается к I генератору. В результате этот генератор окажется нагруженным на 45%, а столбец  $7n$  исключается из рассмотрения.

2. Рассматривается вторая строка матрицы эффективностей:

$(0,35 \ 0,40 \ 0,34 \ 0,33 \ 0,40 \ 0,42 \ \_ \ 0,48)$ . Максимальная эффективность в ней равна 0,48, что соответствует потребителю 8. Далее рассматривается восьмой столбец эффективностей  $(0,44 \ 0,48 \ 0,40 \ 0,44)^T$  соответствующих подключению этого потребителя к другим генераторам. В рассматриваемом столбце число 0,48 является наибольшим, поэтому 8-ой потребитель подключается к II генератору. Следовательно, II генератор будет нагружен на 48%; столбец  $8n$  исключается из рассмотрения.

3. Рассматривается третья строка матрицы эффективностей:

$(0,36 \ 0,28 \ 0,33 \ 0,30 \ 0,38 \ 0,37 \ \_ \ \_)$ . Максимальная эффективность в ней равна 0,38, что соответствует потребителю 5. Рассмотрев столбец эффективностей этого потребителя  $(0,37 \ 0,40 \ 0,38 \ 0,41)^T$  видно, что в рассматриваемом столбце число 0,48 не является наибольшим, следовательно подключение откладывается.

4. Рассматривается четвертая строка матрицы эффективностей:

$(0,32 \ 0,38 \ 0,29 \ 0,37 \ 0,41 \ 0,35 \ \_ \ \_)$ . Максимальная эффективность в ней равна 0,41, что соответствует потребителю 5. Соответствующий (пятый) столбец эффективностей  $(0,37 \ 0,40 \ 0,38 \ 0,41)^T$ . Находим, что наибольшим в нем является число 0,41, поэтому 5-й потребитель подключается к IV генератору. Тогда IV генератор будет нагружен на 41%; столбец  $5n$  исключается из рассмотрения.

Так как последовательно были пройдены все генераторы, то первый проход алгоритма считается завершенным. Далее возобновляется работа алгоритма с первой строки матрицы эффективностей:

5. Первая строка:  $(0,21 \ 0,32 \ 0,27 \ 0,38 \ \_ \ 0,29 \ \_ \ \_)$ . Максимальная эффективность в ней равна 0,38, что соответствует потребителю 4. Соответствующий столбец эффективностей имеет вид:  $(0,38 \ 0,33 \ 0,30 \ 0,37)^T$ . Так как в рассматриваемом столбце число 0,38 является наибольшим, а на данный момент I генератор нагружен только на 45%, то 4-го потребителя так же можно подключить к I генератору. Тогда I генератор будет нагружен на 83%, а столбец  $4n$  исключается из рассмотрения.

6. Вторая строка:  $(0,35 \ 0,40 \ 0,34 \ \_ \ \_ \ 0,42 \ \_ \ \_)$ . Максимальная эффективность в ней равна 0,42, что соответствует потребителю 6. Соответ-

мент II генератор загружен только на 48%, то 6-го потребителя так же можно подключить к II генератору. Тогда II генератор будет нагружен на 90%, а столбец  $6n$  можно исключить из рассмотрения.

7. Третья строка:  $(0,36 \ 0,28 \ 0,33 \ \_ \ \_ \ \_ \ \_ \ \_)$ . Максимальная эффективность в ней равна 0,36, что соответствует потребителю 1. Соответствующий столбец эффективностей имеет вид:  $(0,21 \ 0,35 \ 0,36 \ 0,32)^T$ . Так как в рассматриваемом столбце число 0,36 является наибольшим, то 1-й потребитель подключается к III генератору. Тогда III генератор будет нагружен на 36%, а столбец  $1n$  исключен из рассмотрения.

8. Четвертая строка:  $(\_ \ 0,38 \ 0,29 \ \_ \ \_ \ \_ \ \_ \ \_)$ . Максимальная эффективность в ней равна 0,38, что соответствует потребителю 2. Соответствующий столбец эффективностей имеет вид:  $(0,32 \ 0,40 \ 0,28 \ 0,38)^T$ . Так как в рассматриваемом столбце число 0,38 не является наибольшим, следовательно подключение откладывается.

9. Первая строка:  $(\_ \ 0,32 \ 0,27 \ \_ \ \_ \ \_ \ \_ \ \_)$ . Максимальная эффективность в ней равна 0,32, что соответствует потребителю 2. Соответствующий столбец эффективностей имеет вид:  $(0,32 \ 0,40 \ 0,28 \ 0,38)^T$ . Так как в рассматриваемом столбце число 0,32 также не является наибольшим, следовательно, подключение откладывается.

10. Вторая строка:  $(\_ \ 0,40 \ 0,34 \ \_ \ \_ \ \_ \ \_ \ \_)$ . Максимальная эффективность в ней равна 0,40, что соответствует потребителю 2. Соответствующий столбец эффективностей имеет вид:  $(0,32 \ 0,40 \ 0,28 \ 0,38)^T$ . Так как в рассматриваемом столбце число 0,40 является наибольшим, то 2-го потребителя следовало бы подключить к II генератору, но на данный момент II генератор уже нагружен на 90%, следовательно это невозможно. Поэтому II генератор исключается на этом этапе из рассмотрения.

11. Третья строка:  $(\_ \ 0,28 \ 0,33 \ \_ \ \_ \ \_ \ \_ \ \_)$ . Максимальная эффективность в ней равна 0,33, что соответствует потребителю 3. Соответствующий столбец эффективностей имеет вид  $(0,27 \ \_ \ 0,33 \ 0,29)^T$ . Так как в рассматриваемом столбце число 0,33 является наибольшим, то 3-й потребитель подключается к III генератору, так как III генератор на данный момент всего на 36%. Что в результате нагрузка III генератора будет 69%; столбец  $3n$  исключен из рассмотрения.

12. В четвертой строке остался всего один элемент (0,38), который соответствует потребителю 2, поэтому он подключается к IV генератору. Тогда IV генератор будет нагружен на 79%.

По результатам действия алгоритма можно составить матрицу  $X$ , отражающую наиболее эффективные подключения потребителей к генераторам и матрицу результирующих нагрузок генераторов  $P$ :

$$X = \begin{bmatrix} & 1n & 2n & 3n & 4n & 5n & 6n & 7n & 8n \\ I & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ II & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ III & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ IV & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad P = \begin{bmatrix} 0,83 \\ 0,90 \\ 0,69 \\ 0,79 \end{bmatrix}$$

Таким образом, решение, полученное методом прямых проходов не всегда является оптимальным. Основное достоинство метода заключается в высокой скорости получения решений, кроме того метод легко программируется, так как все операции производятся с элементами матриц.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Конюхова Е. А.* Электроснабжение объектов: Учеб. пособие. – М.: Изд-во «Мастерство», 2002. – 320 с.
2. *Шихин Е.В., Чхартушвили А.Г.* Математические методы и модели в управлении: Учеб. пособие. – М.: Дело, 2000. – 688 с.
3. *Плаксиенко Е.А.* Решение задачи о назначениях методом прямых проходов: Сборник докладов IV междунар. н.п.к. Проблемы регионального управления, экономики, права, и инновационных процессов в образовании. Т. 2. – Таганрог: Изд-во ТИУиЭ, 2004. – 294 с.

УДК 657.012.011.56

**Е.Н. Павленко**

#### **ФОРМАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПАРОВЫХ КОТЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ**

Формализация функционирования объектов в энергетике необходима для нахождения адекватных математических моделей. Математические модели затем применяются для синтеза автоматических и автоматизированных систем управления процессами производства энергии.

Наибольшее распространение при производстве энергии и тепла имеют барабанные и прямоточные паровые котлы.

Автоматизация водно-химического режима (ВХР) – одна из основных задач АСУ ТП тепловых электростанций (ТЭС). Автоматизация позволяет уменьшить число возможных ошибок технологов-операторов при выполнении трудоемких операций непрерывной и периодической очистки воды, эффективно использовать оборудование, в частности, за счет увеличения срока безремонтной службы поверхностей нагрева, сократить расходы реагентов.

Так как найти аналитические модели получения питательной воды высокого качества достаточно, то нельзя утверждать, что схемы регулирования совершенны, а задача разработки моделей ВХР остается актуальной. Так как помимо получения данных химического анализа, результатов показаний датчиков, немаловажное значение имеет опыт экспертов, поэтому целесообразно разрабатывать системы автоматического регулирования с элементами искусственного интеллекта.

Барабанный паровой котел состоит из барабана, пароперегревателей, парохладителей, водяного экономайзера и воздухоподогревателя.

Топливо сжигается в топке факельным способом. Нагретый воздух обеспечивает эффективный процесс горения. Дымовые газы вытягиваются дымососом. Питательная вода через экономайзер проходит по трубам циркуляционного контура. Пар образуется в подъемных трубах. Насыщенный пар из барабана посту-