

E-mail: salouma1@mail.ru  
44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928. Phone: 88634-371-689

**Beloglazov Denis Alexandrovich**

E-mail: salouma1@mail.ru  
Phone: 8951-838-21-31

УДК 621.31:681.51

**А.Ю.Молчанов, Д.И.Султанова**

**ОСОБЕННОСТИ АЛГОРИТМОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ В  
ЭНЕРГОСИСТЕМЕ ПРИ НЕТОЧНЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ**

*Рассматривается алгоритм распределения нагрузки между энергоблоками генерирующего узла электроэнергетической системы при задании характеристик энергоблоков, ограничений задачи и целевой функции нечеткими интервальными оценками.*

*Распределение нагрузки; нечеткий интервал.*

**A.Y.Moltchanov, D.I.Sultanova**

**ON THE FEATURES OF POWER SYSTEM LOAD DISTRIBUTION  
ALGORITHMS WITH FUZZY INPUT DATA**

*Power system load distribution algorithm for a system of power plants in power system node with defining plant characteristics, task restrictions and goal function as fuzzy intervals is described.*

*Load distribution; fuzzy interval.*

Задачи оптимального распределения нагрузки в произвольной энергосистеме относятся к сложным задачам многомерной оптимизации с нелинейными целевыми функциями и обычно решаются по принципу иерархической декомпозиции на подзадачи, связанные с оптимизацией потоков мощности между укрупненными узлами энергосистемы. Мы будем рассматривать решение задачи оптимизации распределения нагрузки между энергоблоками одной или нескольких электростанций энергосистемы, при допущении, что потери, связанные с потоками мощности, не учитываются при распределении нагрузки.

Задача распределения нагрузки между энергоблоками должна учитывать дискретность характеристик агрегатов, неопределенность относительно режимных параметров энергосистемы, связанную с ограниченной точностью прогнозирования нагрузки, неточность определения расходных характеристик агрегатов, а также ограничения, связанные с режимом работы отдельных энергоблоков и наличием резерва мощности в узле энергосистемы [1, 2].

Метод относительных приростов [1], используемый для распределения нагрузки между энергоблоками предполагает, что расходные характеристики энергоблоков представляют собой гладкие дифференцируемые функции и полностью известны. В действительности эти характеристики определяются в результате режимных испытаний и поэтому практически не обновляются. Предложено использование динамического программирования для распределения нагрузки [2], но при этом также необходимо точно знать расходные характеристики агрегатов. В работе [3] предложена модель оптимизации распределения на-

грузки между энергоблоками, позволяющая выполнять оперативную идентификацию характеристик энергоблока с применением пассивного и активного эксперимента (при условии, что эксперимент не приводит к изменению суммарной генерируемой мощности или изменения режима работы энергоблоков). Таким образом, имеется возможность определять в реальном масштабе времени характеристику энергоблока, которая представляется нечеткой функцией мощности (нагрузки) энергоблока, т.е. учитывает возможный разброс значений характеристики и связанные с этим потери. Для модели распределения нагрузки [3] требуется алгоритм расчета распределения нагрузки при нечетких исходных данных.

В общем случае, решение задачи распределения нагрузки в системе из произвольного числа энергетических блоков состоит в решении двух базовых подзадач: выбора состава генерирующего оборудования и оптимальном распределении нагрузки между работающими энергоблоками.

Задача выбора оптимального состава агрегатов решается различными методами оптимизации: методом множителей Лагранжа, методом ветвей и границ, методом динамического программирования, а также различными эвристическими методами [2]. Для всех методов общим является использование точной информации при оптимизации, в том числе информации о графиках нагрузок, необходимой для проведения краткосрочной оптимизации методом динамического программирования. Для распределения мощности между параллельно работающими агрегатами обычно пользуются методом относительных приростов или его модификациями. Недостаток этого метода – чувствительность к погрешностям определения расходных характеристик агрегатов – не позволяет во многих случаях его использовать без дополнительной эвристической обработки результатов. Представление исходных данных нечеткими интервалами позволяет использовать информацию о возможных отклонениях параметров в рассмотренных в [1, 2] алгоритмах расчетов.

Рассмотрим нечеткую модификацию метода относительных приростов. Пусть  $N_1, N_2, \dots, N_k$  – мощность, генерируемая каждым  $i$ -м энергоблоком ( $i = \overline{1..k}$ ),  $N_{\Sigma} = N_1 + N_2 + \dots + N_k$  – суммарная мощность группы. Пусть известна нечеткая расходная характеристика энергоблока – функция затрат, представляющая собой нечеткую функцию четкого аргумента, которая может быть определена, например, в результате работы модели [3] или задана экспертом по данным о функционировании объекта. При некотором фиксированном значении мощности энергоблока значением функции затрат является нечеткий интервал возможных значений затрат, как показано на рис. 1.

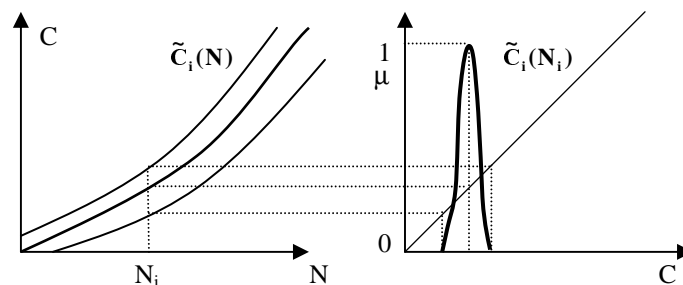


Рис. 1. Нечеткая функция затрат и ее значение в точке  $N_i$

Нечеткий относительный прирост  $\partial \tilde{C}_i / \partial N_i$  определим как нечеткий интервал, содержащий возможные значения величины относительного прироста  $\partial C_i / \partial N_i$  при заданном значении мощности  $N_i$ . Составляется таблица состава генерирующего оборудования, в которую вносятся комбинации работающих энергоблоков и диапазоны изменения суммарной мощности с учетом технологических ограничений и ограничений режима (рекомендуемый диапазон изменения мощности), задаваемых нечеткими интервалами  $\tilde{G}_i$ .

Для каждой  $j$ -й комбинации агрегатов  $K_j$ ,  $j = \overline{1..r}$ , определяется нечеткий интервал суммарной генерируемой мощности

$$\tilde{G}_{\Sigma j} = \sum_{i \in K_j} \tilde{G}_i.$$

Для каждого энергоблока определяется нечеткий интервал затрат  $\tilde{C}_i(\tilde{G}_i)$ . Возможные затраты по комбинации агрегатов определяются как сумма возможных затрат по агрегатам.

$$\tilde{C}_{\Sigma j} = \sum_{i \in K_j} \tilde{C}_i(\tilde{G}_i).$$

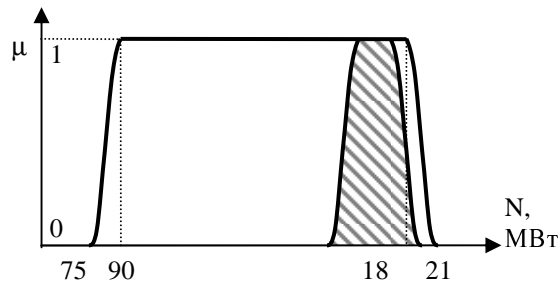


Рис. 2. Нечеткие интервальные ограничения генерируемой мощности

Для выбора оптимального по затратам состава агрегатов необходимо упорядочить интервалы  $\tilde{C}_{\Sigma j}$  с применением одной из функций сравнения нечетких интервалов [4]. Таким образом, мы получаем нечеткое разбиение генерируемой мощности по агрегатам с оценкой затрат по каждому варианту.

Далее определяется текущая нагрузка энергосистемы как нечеткий интервал  $\tilde{N}_{\Sigma}$ . Представление нагрузки нечетким интервалом позволяет учесть при планировании не только наиболее возможный диапазон изменения нагрузки, но и предельные отклонения нагрузки, при которых не требуется существенного изменения режима энергоблоков. Тогда для выбора состава генерирующего оборудования необходимо выбрать такую комбинацию агрегатов, которая бы обеспечивала работу энергоблоков в базовом режиме в наиболее возможном диапазоне изменения нагрузок и необходимый запас мощности на регулирующих энергоблоках для компенсации возможных провалов и пиков мощности без разгрузки или нагрузки базовых блоков.

Оценить состав генерирующего оборудования можно путем определения пересечения заданной нагрузки  $\tilde{N}_\Sigma$  и возможной нагрузки по каждому из вариантов  $\tilde{G}_{\Sigma j}$ ,  $j = \overline{1..r}$ . Если степень пересечения нечетких множеств [5]  $\tilde{N}_\Sigma \cap \tilde{G}_{\Sigma j}$  превышает заданный порог  $\mu > 0,5$ , то данный вариант учитывается при сравнении по критерию стоимости, иначе вариант отбрасывается как не удовлетворяющий ограничениям. Это позволяет ограничить множество анализируемых вариантов в задаче оптимизации.

Текущее распределение нагрузки может быть получено путем поиска нечеткой области  $(\tilde{N}_1, \tilde{N}_2, \dots, \tilde{N}_k)$ , в которой суммарная мощность нечетко равна  $\tilde{N}_\Sigma$  и степень равенства нечетких относительных приростов достигает максимума. Возможно возникновение ситуации, когда найденная точка не удовлетворяет ограничениям для одного или нескольких энергоблоков. В этом случае для энергоблоков, не удовлетворяющих ограничениям, принимаются предельные, удовлетворяющие ограничениям, значения мощности, данные блоки исключаются из задачи оптимизации и их мощность принимается фиксированной [2].

Для того чтобы учесть различные режимы работы энергоблока, при решении задачи для него вводится набор состояний с различными ограничениями  $\tilde{G}_i$ . Если задан набор частных ограничений для энергоблока (технологические, режимные, требуемый резерв и т.п.), то результирующее ограничение  $\tilde{G}_i$  определяется как пересечение нечетких множеств, определяющих частные ограничения. Выбор состояний (множеств) осуществляется таким образом, чтобы множества, соответствующие различным режимам (включение дополнительных установок собственных нужд, изменение тепловой схемы и т.п.) нечетко не пересекались. Дальнейший ход алгоритма сохраняется, увеличивается лишь число возможных состояний, подлежащих анализу.

Рассмотрен один из возможных алгоритмов оптимизации распределения нагрузки между энергоблоками узла энергосистемы, предназначенный для применения совместно с моделью адаптивной идентификации и автоматической оптимизации характеристик энергоблока [3]. На основе приведенной схемы может быть построена экспертная система оптимизации режима генерирующего узла энергосистемы. Реализация расчетной схемы предложенного алгоритма требует проведения дополнительных исследований, связанных с выбором процедуры прогнозирования нагрузки узла энергосистемы в различных ситуациях, а также с построением эффективных расчетных алгоритмов на нечетких исходных данных. Мы намеренно ограничили рассмотрение алгоритмов выбора оптимального состава оборудования статическими задачами, не учитывающими текущее состояние оборудования, так как рассмотрение системы в динамике порождает отдельный класс сложных задач [2], требующий применения комбинированных методов, сочетающих эвристические алгоритмы и метод динамического программирования, модифицированные для применения на нечетких исходных данных. Дальнейшее развитие предлагаемых методов планирования нагрузки связано с переходом к уровню энергосистемы, учету перетоков мощности, режимов линий электропередачи и связанных с энергосистемой ограничений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горништейн В.М. и др. Методы оптимизации режимов энергосистем. – М.: Энергия, 1981. – 336 с.
2. Коэн А.И., Шеркат В.Р. Методы оптимизации распределения нагрузки // ТИИЭР. Т.75. – № 12, 1987.
3. Молчанов А.Ю. Финаев В.И. Модель автоматической оптимизации распределения нагрузки между энергетическими блоками тепловой электростанции // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Современные энергетические проблемы и управление ими». Ч. 2. – Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2007. – С.10-12.
4. Дилигенский Н.В. и др. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. – М: «Издательство Машиностроение-1», 2004.
5. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С. Конечные четкие и расплывчатые множества. Часть II. Расплывчатые множества. – Таганрог: Изд-во ТРТИ, 1981. – 90 с.

**Молчанов Артем Юрьевич**

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге  
E-mail: amned@list.ru  
347928, Таганрог, ГСП 17А, Некрасовский, 44. Тел: 88634-371-689

**Султанова Дарья Ильдаровна**

E-mail: amned@list.ru  
Тел.: 37-17-73

**Moltchanov Artem Yurjevich**

Taganrog Institute of Technology - Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education "Southern Federal University.  
E-mail: amned@list.ru  
44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928. Phone: 88634-371-689

**Sultanova Darya Idarovna**

E-mail: amned@list.ru  
Phone: 37-17-73

УДК 519.71

**Е. Д. Синявская**

**МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ ЭНЕРГИИ ПРИ  
ПОДОГРЕВЕ ВОДЫ**

*Рассматриваются принципы построения нечеткой модели управления.  
Уделено внимание построению базы нечетких лингвистических правил.  
Нечеткая логика; расход воды.*