

### Нечеткая оптимизация эргатических электроэнергетических систем

*Рассмотрены оптимизационные задачи сложных электроэнергетических систем, энергоэффективное решение которых реализуется методами нечеткой оптимизации.*

Энергетическую систему можно рассматривать как большую сложную систему кибернетического типа.

В электроэнергетике осуществляется поиск решения задач, реализующих не только математические модели, алгоритм которых не предусматривает жесткого выполнения программы, но и модели эргатической задачи. Алгоритм решения эргатической задачи предусматривает в процессе исследования непосредственное участие человека – оператора. В эргатической модели отклонение от предусмотренной алгоритмом ситуации корректируется человеком – оператором.

В энергетике в процессе исследования сложных электроэнергетических систем при оптимизирующем регулировании применяется метод кибернетического моделирования. В основу данного метода положен один из фундаментальных принципов кибернетики, который состоит в следующем: изучение системы основывается на исследовании ее поведения, то есть на наблюдении за состоянием выхода системы при воздействиях на входах, заданных внешней средой. Кибернетическое моделирование является актуальным методом энергоэффективного решения оптимизационных задач электроэнергетики.

Таким образом, кибернетическое моделирование раскрывает функциональную зависимость системы от воздействий внешней среды. При этом анализируются прежде всего открытые системы, которые находятся под воздействием внешней среды и реагируют на это воздействие. При данном виде моделирования процессы, происходящие внутри системы, не рассматриваются, влияние реакции системы на внешнюю среду не учитывается.

Решение оптимизационной задачи принятия решений в сложных системах требует решения следующих подзадач:

- 1) определения критерия оптимальности;
- 2) адекватного формализованного представления процесса электропотребления;
- 3) выбор способа реализации математической модели.

В оптимизационной задаче электроэнергетики в качестве уравнений - ограничений составляется баланс мощности. Нарушение баланса активной мощности приводит к нарушению качества электрической энергии.

Для каждой установки имеется номинальное значение частоты и напряжения, оптимальное их значение, которое соответствует минимуму

затрат потребителя, а также технические пределы отклонений от номинального значения. Чем больше допустимые отклонения качественных показателей от оптимальных значений, тем меньше затраты в энергосистеме, но тем больше ущерб потребителей.

Оптимизационные задачи, рассматриваемые при проектировании и эксплуатации сложных технических систем, решаются методами математического программирования.

С эргономической точки зрения, информационная подготовка принятия решений в сложных системах состоит из внешнего и внутреннего информационного обеспечения. Задачей внешнего информационного обеспечения является отбор необходимой информации и выбор способов ее оптимального представления. Внутреннее информационное обеспечение представляет процедуры классификации и обобщения информации о текущих ситуациях, построение оперативных моделей деятельности. Таким образом, внешнее информационное обеспечение осуществляется при априорной подготовке принятия решения, внутреннее – при решении конкретных оперативных задач [1].

Особенностью принятия решений являются неопределенности, проявляющиеся в отсутствии априорной информации о возможности реализации состояний системы. Основой поиска эффективного решения в условиях неопределенности является определение компромисса между эффективностью и устойчивостью решения.

Оптимизационные задачи электроэнергетики являются конечномерными задачами оптимизации.

Оптимизационная задача минимизации решается при проектировании системы электроснабжения по минимуму финансовых затрат. Как следствие, ставится задача определения оптимальной мощности компенсирующих устройств, которые соответствуют минимуму суммарных затрат. В настоящее время предлагаются градиентные методы решения данной задачи.

На высших иерархических уровнях электроэнергетической системы поиск оптимального решения целесообразно моделировать при помощи эвристических схем градиентного спуска, что является эвристическими модификациями градиентных методов.

Сходимость численных методов поиска экстремума функций многих переменных вследствие их эвристического характера не достаточно исследована, однако, эти методы целесообразно применять для решения задач безусловной оптимизации. Отмечено, что они обладают более высокой вычислительной эффективностью в сравнении с классическими градиентными методами [2].

Математическая модель транспортной задачи реализуется при решении оптимизационных задач электроэнергетики, в которых оптимизируются затраты на реализацию схемы электрической сети. В транспортной задаче электроэнергетики под продуктом подразумевается электрическая мощность, передаваемая от источников питания к потребителям по линиям электропередачи. Источниками питания являются электрические станции или подстанции, потребителями – промышленные, городские,



сельскохозяйственные потребители электроэнергии. Допустимое решение транспортной задачи электроэнергетики может быть получено в соответствии с методом потенциалов. Реализацией алгоритма решения транспортной задачи является оптимальная схема электрической сети [ 5].

Алгоритм выбора компромиссного решения может быть представлен как [ 2 ]:

$$x^0 = \arg \max_{x \in X} \sum_{i=1}^2 a_i k_i(x);$$

$$\sum_{i=1}^2 a_i = 1,$$

где  $x^0$  – опорное решение;

$X$  – допустимое множество решений;

$k_1(x)$ ,  $k_2(x)$  – критерии, характеризующие эффект и устойчивость решений соответственно.

Выбор значений весовых коэффициентов  $a_i$  в виде интервальных значений и нечетких множеств определяет вид критерия принятия решений.

Для поиска оптимального решения задачи принятия решений в условиях неопределенности целесообразно применять методы нечеткого математического программирования и эвристического программирования [2-4].

При математическом моделировании задач принятия решений в условиях неопределенности нечеткость выражается в форме нечеткого описания целевой функции, ограничений и параметров, от которых они зависят.

Нечеткий вариант задачи НМП:

$$\max f(x), g_j(x) \leq 0, x \in X$$

может быть реализован при:

- 1) смягчении ограничений;
- 2)  $f(x) \geq z_0, g_j \leq 0, x \in X$ ,

где знак  $\sim$  означает нечеткое выполнение ограничений.

То есть, вместо максимизации целевой функции следует стремиться достичь некоторого заданного значения  $z_0$  данной функции.

Адаптивной математической моделью принятия решений в условиях неопределенности является алгоритм многокритериального нелинейного программирования (МКНП) с нечеткими параметрами.

В общем случае задача МКНП представляет собой задачу векторной оптимизации, которая может быть представлена как [ 3 ]:

$$\text{минимизировать } f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)]$$

$$\text{при ограничениях } x \in X = \{x \in R^n, g_j(x) \leq 0, j = \overline{1, m}\},$$

где  $X$  –  $n$ - мерный вектор переменных решения;

$[f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)]$  –  $k$  разных целевых функций;

$[g_1(x), g_2(x), \dots, g_m(x) \leq 0]$  – множество допустимых решений.

Оптимизационная задача распределения суммарной активной мощности потребителей энергосистемы между электрическими станциями является задачей нелинейного программирования, которая решается методом Лагранжа.

Поиск оптимального решения в условиях неопределенности применительно к оптимизационным задачам электроэнергетики осуществляется применением вычислительного аппарата теории игр. Неопределенной информацией является перспективный рост мощностей в развивающейся электроэнергетической системе, для которой требуется определить оптимальный объем ввода генерирующих мощностей электростанций [ 5 ].

### Выводы

1. Адаптивной математической моделью принятия решений в условиях неопределенности является алгоритм многокритериального нелинейного программирования (МКНП) с нечеткими параметрами.

2. При оптимизации режима электрической сети за счет наличия степеней свободы параметров режима выбирают такие их значения, которые обеспечивают минимум потерь активной мощности в сети.

### Список литературы

1. Б.М. Герасимов, М.М. Дивизинюк, И.Ю. Субач. Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности. – Монография. Севастополь, 2004. – 318 с.
2. Е.Г. Петров, М.В. Новожилова, І.З. Гребеннік. Методи і засоби прийняття рішень у соціально – економічних системах. Навч. посібник./ За ред. Е.Г. Петрова.- К.: “Техніка”, - 2004, 256 с.
3. Ю.П. Зайченко. Исследование операций: нечеткая оптимизация.- Вища школа, 1991. – 120 с.
4. А.В. Кофман. Введение в теорию нечетких множеств.- М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
5. В.Н. Костин. Оптимизационные задачи электроэнергетики: Учеб. пособие.- СПб.: СЗТУ, 2003 – 120 с.