УДК 621.311

П. Д. Лежнюк, д. т. н., проф.; Е. А. Рубаненко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЭП КРИТЕРИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЁТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Предложен алгоритм расчёта оптимальных значений сечений проводов и напряжений линий электропередачи критериальным методом с использованием нечёткого моделирования в условиях неопределенности.

***Ключевые слова**: критериальный метод, нечёткое моделирование, модель Мамдани, параметры линий электропередачи.*

Актуальность

Перед сооружением новой электрической сети, расширением или реконструкцией существующей, проводятся проектные разработки. При проектировании выбирается наиболее рациональный вариант решения задачи. Для количественной оценки экономичности сегодня используется значение народнохозяйственных затрат на содержание и эксплуатацию ее отдельных элементов. В практике проектирования электрических сетей используется метод вариантного сопоставления. При его применении составляется не один, а несколько возможных вариантов проектного решения, каждый из которых обстоятельно рассматривается с целью выявления его основных технических свойств и технико-экономических характеристик. Важной задачей в проектировании является определение экономически целесообразных напряжений и сечений проводов линий электропередач (ЛЭП) [1, 2].

При решении оптимизационной задачи поиска минимального значения затрат на сооружение и эксплуатацию ЛЭП возникают следующие проблемы [1, 2]:

– необходимость решать системы уравнений со степенью сложности больше нуля;

– очень пологая целевая функция.

Целью работы является разработка алгоритма расчёта оптимальных значений сечений проводов и напряжений линий электропередачи критериальным методом с использованием нечёткого моделирования в условиях неопределенности.

Преобразование функции затрат из абсолютных единиц в относительные и формирование системы критериев подобия

Выбирая оптимальные параметры электропередачи, приведенные затраты можно представить [1, 2]:

$$З = \left[\left(k_1 + k_2 U - k_3 F\right) l + k_4 \left(\frac{P}{l}\right)^2 \frac{1}{F}\right] + \left[k_5 + k_6 P + k_7 PU + k_8 Ul + k_9 \frac{Pl}{U}\right], \qquad (1)$$

где $k_1 ... k_9$ – стоимостные показатели; U – напряжение электропередачи; F – площадь поперечного сечения токоведущих частей; l – длина ЛЕП.

Напряжение U и площадь поперечного сечения проводов F электропередачи являются переменными, которые оптимизируются. Воспользуемся критериальным методом для определения их значений.

Рассмотрев только переменную составляющую и введя такие обозначения:

$$\begin{aligned} a_1 &= k_2 l + k_7 P + k_8 l; \\ a_2 &= k_9 P l; \\ a_3 &= k_4 P^2 l; \\ a_4 &= k_3 l, \end{aligned} \tag{2}$$

перепишем (1):

$$З_* = a_1 U + a_2 U^{-1} + a_3 U^{-2} F^{-1} + a_4 F. \tag{3}$$

Определим минимальное значение этих расходов и соответствующие им оптимальные значения U_0 и F_0, а также вектор критериев подобия π. Степень сложности этой задачи равна единице.

Исходя из условий ортогональности и нормирования, запишем систему уравнений для критериев подобия [2]:

$$\left.\begin{aligned} \pi_1 - \pi_2 - 2\pi_3 = 0; \\ -\pi_3 + \pi_4 = 0; \\ \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1 \end{aligned}\right\}. \tag{4}$$

Формирование двойственной задачи

Функции $d(\pi)$ и $y(x)$ находятся в таком соотношении:

$$y(x) \geq d(\pi).$$

Это значит, что если переменным x и π придать какие-либо значения, то получим y(x) и d(π) такие, что оптимальное решение задачи будет лежать между ними (рис. 1). Указанное свойство двойственных задач может быть использовано для построения итерационного процесса определения оптимального решения.

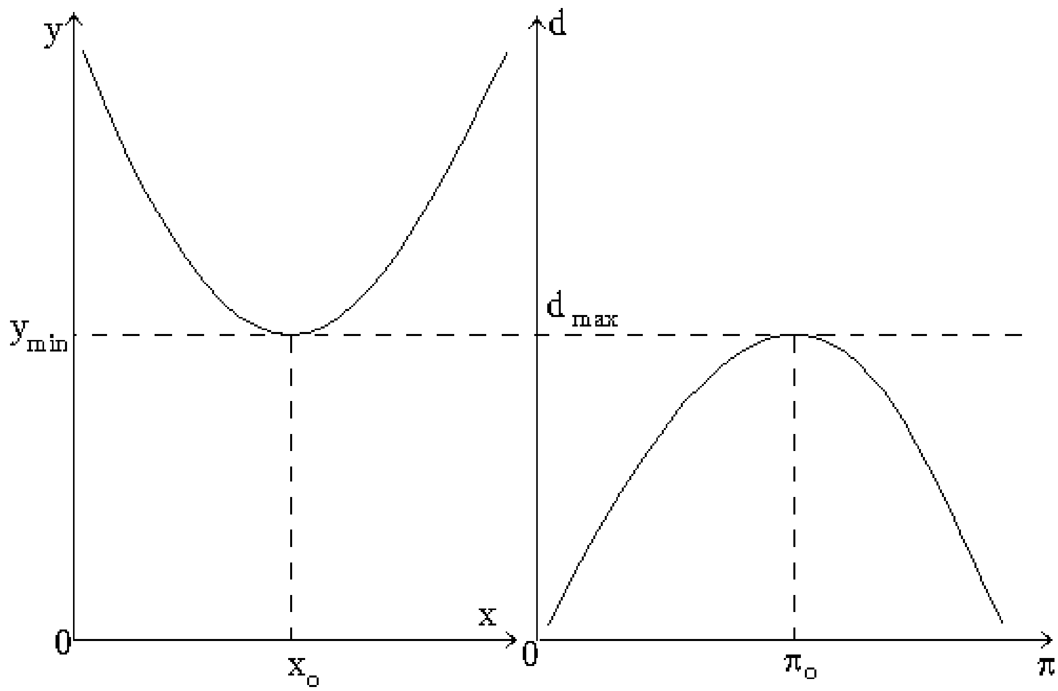

Рис. 1. Принцип минимакса

Запишем двойственную функцию к выражению (3)

$$d(\pi) = (\frac{a_1}{\pi_{10}})^{\pi_{10}} (\frac{a_2}{\pi_{20}})^{\pi_{20}} (\frac{a_3}{\pi_{30}})^{\pi_{30}} (\frac{a_4}{\pi_{40}})^{\pi_{40}}. \quad (5)$$

где π_{10}, π_{20}, π_{30}, π_{40} – критерии подобия.

Алгоритм решения задач оптимизации критериальным методом

1. Нелинейная прямая задача заменяется двойственной задачей с нелинейной целевой функцией и ограничениями в виде ортогональной системы линейных уравнений. В прямой задаче переменными являются физические или экономические параметры x, а в двойственной функции переменными являются критерии подобия π, то есть безразмерные комбинации параметров x.

2. Рассчитываются оптимальные значения критериев подобия путем решения ортонормированной системы уравнений.

3. Полученные критерии подобия подставляются в целевую функцию двойственной задачи, и вычисляется ее оптимальное значение.

Оно одновременно является оптимальным решением и прямой задачи критериального программирования, поскольку соотношение между прямой и двойственной задачами такое, что $d(\pi_0) = y(x_0)$. Характерным здесь является то, что оптимальное значение критерия оптимума y_0 вычисляется без определения оптимальных значений переменных x_0.

Основную сложность приведенного алгоритма составляет вычисление оптимизирующего вектора критериев подобия.

Для нахождения решений системы (4) целесообразно применять нечеткое моделирование, потому что существующие методы не всегда дают достоверные результаты.

На рис. 2 проиллюстрировано применение метода дихотомии. При условии, если функция $d(\pi)$ очень пологая, получить точный результат не возможно, часто возникает проблема сходимости методов.

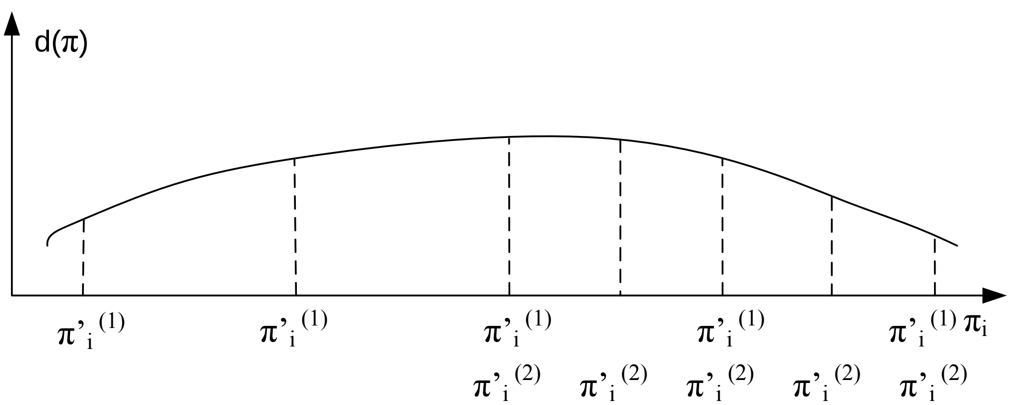

Рис. 2. Определение максимума функции методом дихотомии

Таблица 1

Недостатки метода поиска минимума функции при степени сложности системы уравнений ограничений больше 1

№	Метод	Недостатки
1	Снижение меры сложности	
1.1	Задержка выбора оптимальных значений переменных	Целесообразно использовать лишь для сепарабельных функций
2	Линеаризация двойственной задачи	
2.1	Градиентный метод	Плохая сходимость при пологой функции
2.2	Метод дихотомии	Низкая эффективность при пологой функции, нуждается в большом количестве итераций
2.3	Метод золотого сечения	Низкая точность
2.4	Метод квадратичной интерполяции	Целесообразно использовать лишь для ярко выраженных параболических функций

Поэтому для решения оптимизационных задач поиска максимума функций и аргументов, при которых этот максимум достигается, предлагается использовать метод нечеткого моделирования. Алгоритм представлен на рис. 3.

Алгоритм поиска оптимальных значений параметров ЛЕП критериальным методом с использованием нечёткого моделирования

Описание алгоритма поиска оптимальных значений параметров ЛЕП

1. Формирование критериальной модели предусматривает переход от прямой задачи поиска минимума функции y(x) к поиску максимума двойственной функции $d(\pi)$ при заданных ограничениях.

2. Формирование учебной выборки заключается в составлении логических уравнений типа:

если π_1 – большое, π_2 – среднее, π_3 – среднее, π_4 – среднее, то $d(\pi)$ – большое.

3. Определение значений π, при которых функция $d(\pi)$ является максимальной, проводится в 2 этапа:

3.1. Строятся зависимости $d(\pi)$ от π_1, π_2, π_3, π_4 в виде поверхностей.

3.2. Приближенные значения π_1, π_2, π_3, π_4, при которых функция $d(\pi)$ достигает максимума, вводятся в модель и проводится более точный расчет.

4. Полученный результат проверяется на точность (путем сравнения с результатами расчета другими методами).

5. Если точность не удовлетворяет требования, то увеличивают учебную выборку, а именно: увеличивают количество логических уравнений и изменяют функцию принадлежности входных величин.

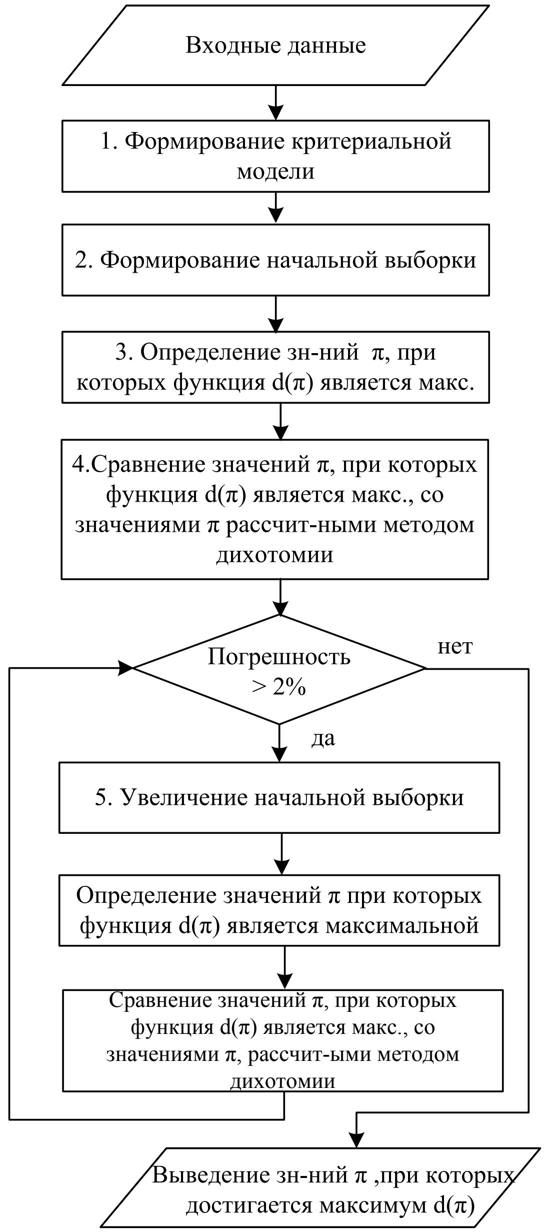

Рис. 3. Алгоритм решения задачи

Построение модели

При построении сети использовался многовариантный подход, а именно: рассматривались варианты с функциями принадлежности типа trimf, trapmf, gbellmf, gaussmf, pimf, dsigmf, psigmf [3]. Наименьшая погрешность достигается в модели с функцией принадлежности gaussmf.

Воспользовавшись программным комплексом MatLab, нашли минимальное значение функции затрат для линии 70 км и передаваемой мощностью 300 МВт. Использовали модель Мамдани. Сформировали 47 правил для достижения желаемой точности. Полученная критериальная модель имеет такой вид:

$$З_* = 0{,}5U_* + 0{,}27U_*^{-1} + 0{,}115\,U_*^{-2}F_*^{-1} + 0{,}115F_*. \tag{6}$$

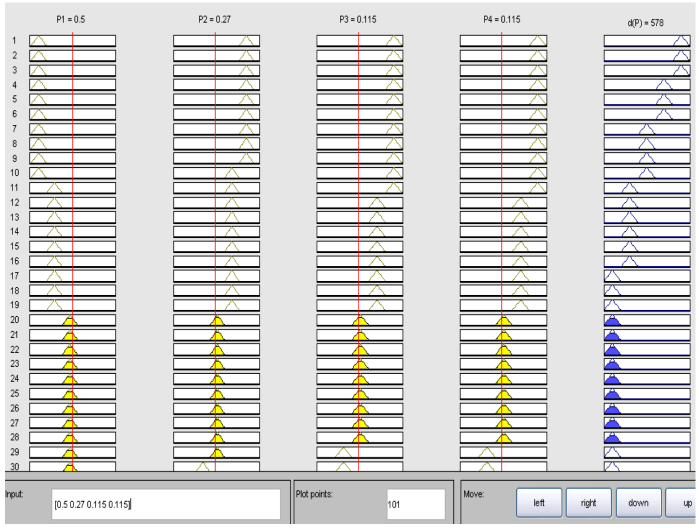

Рис. 4. Результати расчёта

Эта модель является удобной для анализа зависимости приведенных затрат при отклонении напряжения ЛЭП или площади поперечного сечения проводов от их оптимальных значений.

Выводы

Предложен алгоритм расчета параметров ЛЭП критериальным методом с применением методов нечеткого моделирования. Использование данного алгоритма даст возможность рассчитать оптимальные значения напряжений и сечений ЛЭП. Применение средств нечеткого моделирования является перспективным направлением для решения критериальным методом важных задач энергетики в условиях неопределенности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астахов Ю.Н. Применение критериального метода в электроэнергетике / Ю.Астахов, П. Лежнюк. – К.: УМК ВО, 1989. – 137 с.
2. Лежнюк П.Д. Методи оптимізації в електроенергетиці. Критеріальний метод / П.Лежнюк, С. Бевз. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 131 с.
3. Леонков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Александр Леонков. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2004. – 736 с.
4. Tutorial on Fuzzy Logic Applications in Power Systems. – January, 2000 – [Електронний ресурс] / – Режим доступу: http://www.ece.utk.edu/~tomsovic/Vitae/Publications / TOMS00b.pdf

Лежнюк Петр Демьянович – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой электрических станций и систем.

Рубаненко Елена Александровна – аспирант кафедры электрических станций и систем. lena_rubanenko@bk.ru.

Винницкий национальный технический университет.