

УЧЕТ ОГРАНИЧЕНИЙ В ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧЕ ВЫБОРА МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ И МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Попкова Н. А. – старший преподаватель кафедры
«Электрические системы»,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация: к объектам распределенной генерации относятся источники энергии с установленной мощностью меньше 100 МВт. Целью установки подобных объектов может быть как повышение надежности и качества электрической энергии, так и минимизация уровня потерь при ее передаче. В данной работе рассмотрены основные ограничения, которые целесообразно рассматривать при постановке оптимизационной задачи выбора местоположения и мощности источников распределенной генерации вне зависимости от типа используемого источника.

Ключевые слова: источники распределенной генерации, возобновляемые источники энергии, задача оптимизации, методы поиска оптимальных решений, ограничения оптимизационной задачи.

CONSIDERATION OF LIMITATIONS IN THE OPTIMIZATION PROBLEM OF CHOOSING THE LOCATION AND POWER OF DISTRIBUTED GENERATION SOURCES

Abstract: distributed power generation facilities include energy sources with an installed capacity of less than 100 megawatts. The purpose of installing these facilities can be improving the reliability and quality of electricity, as well as minimization of power losses during electric power transmission. This article considers the main limiting factors that should be considered when proposing optimization problems for the location and power selection of distributed generators, regardless of the type of source used.

Keywords: distributed power generation, renewable energy, optimizing tasks, methods for finding optimal solutions, limitations of optimization tasks.

Использование источников малой мощности на стороне потребителей электрической энергии может решать сразу несколько проблем. Особую трудность вызывает поиск наилучшего места установки такого источника и выбор его типа. При решении указанных задач решают задачу оптимизации. В зависимости от целей заинтересованных сторон, критерия оптимизации, вида используемой целевой функции (ЦФ) и ограничений применяют различные методы оптимизации.

В соответствии с [1] любая задача оптимизации формулируется с помощью ЦФ, представляемой в общем виде (1), множеством оптимизаций, определяемым ограничениями в виде неравенств (2) и ограничениями в виде равенств (3).

$$F(x) = (x_1, x_2, \dots, x_n), F(x) = R^n \rightarrow R \quad (1)$$

$$g_i \leq 0, i = \overline{1, k} \quad (2)$$

$$g_i(x) = 0, i = \overline{k+1, m} \quad (3)$$

Для задачи выбора местоположения и мощности объекта распределенной генерации (РГ) ограничения могут иметь технологический, режимный и экономический характер.

В одном из подходов, описанном в статье [2], задача оптимизации формулируется, как задача смешанного целочисленного программирования. Основной целью задачи является минимизация общей стоимости эксплуатации объекта РГ с удовлетворениями системным ограничениям. Целевая функция выражается через оптимальный поток мощности переменного тока, рассчитываемый по формуле (4).

$$S = \min \left(\sum_{i=1}^{n_g} cost_i \cdot P_{Gi} + \sum_{i=1}^{n_g} cost_{pR} \cdot P_{pR} \cdot Z_i \right) \quad (4)$$

где $cost_i, cost_{pR}$ – стоимость мощности от централизованной сети и от объекта РГ, соответственно, P_{Gi}, P_{pR} – мощность от сети и от объекта РГ, соответственно, Z_i – двоичная переменная, отражающая расположение объекта РГ в узлах системы, n_g, n_c – количество генераторов и узлы установки объекта РГ, соответственно.

К технологическим ограничениям можно отнести ограничения, связанные с использованным оборудованием и системой, например, конфигурацией распределительной электрической сети.

К режимным ограничениям относятся ограничения, связанные со значениями режимных параметров электрической сети: уровнем напряжения в узлах сети, потоков мощности и тока.

К экономическим ограничениям можно отнести ограничения, связанные с инвестиционными вложениями, доходу, допустимой величине затрат на определенные технологические процессы.

В данном случае, речь идет о наложении режимных и экономических ограничениях. К режимным ограничениям в виде равенства относятся балансы активной и реактивной мощности, в то время как к режимным ограничениям в виде неравенства относятся допустимые уровни модулей и углов напряжения, уровень активной и реактивной генерации внешней сети, переток мощности по линиям. В качестве экономических ограничений в статье [2] приводится ограничение в форме неравенства, представленное в формуле (5), в соответствии с которым прибыль за n лет должна превы-

шать сумму стоимости капитальных вложений без учета государственной поддержки и затраты на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР).

$$(cost_{PG} \cdot \beta_{zoc}) \cdot P_{PG} \cdot k_{расч} \cdot 365 \cdot n \geq cost_{KB} - C_{zoc} + cost_{ТОиР}, \quad (5)$$

где $cost_{PG}, cost_{KB}, C_{zoc}, cost_{ТОиР}$ – стоимость объекта РГ, общая величина капитальных вложений, величина займа от государства, стоимость ТОиР, соответственно, $k_{расч}$ – коэффициент приведения мощности объекта РГ, β_{zoc} – величина государственной поддержки.

В статье [3] для ЦФ, вводятся следующая группа ограничений: в форме равенства из-за нелинейного потока мощности: ограничения рассчитываются с помощью алгоритма развертки назад-вперед и выражаемые в векторной форме; в форме неравенства (допустимые значения напряжения на шине; общий уровень гармоник THD ; количество и размеры объекта РГ; суммарная активная мощность, которая не должна превышать суммарную потребность в активной мощности).

В статье [4] представлено использование ускоренного метода роя частиц для минимизации потерь мощности в системе. В качестве ограничений авторы использовали баланс активной и реактивной мощностей, неравенство ограничений по напряжению на шинах, ограничения на количество узлов, в которые может быть установлен объект.

В статье [4] для генетического алгоритма описывается порядок проверки ограничений для ЦФ: при невыполнении ограничений, вместо неудовлетворяющей хромосомы генерируется другая особь. Для уменьшения вероятности переопределенности задачи при невозможности нахождения оптимума в обозначенном множестве, возможно использование функции штрафов.

Для возобновляемых источников энергии (ВИЭ) под техническими ограничениями также могут приниматься ограничения, связанные с погодными условиями. Подобные ограничения, связанные с погодой и окружающей средой, могут быть введены также для других типов генерирующих установок на базе ВИЭ.

Список литературы

1. Певнева, А. Г. Методы оптимизации: учеб. пособие / А. Г. Певнева, М. Е. Калинин. – СПб. : Университет ИТМО, 2020. – 64 с.
2. Khanabadi M. Transmission congestion management through optimal distributed generation's sizing and placement. 2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering. – 2011. – С. 1–4.
3. Optimal placement of Distributed Generation using combination of PSO and Clonal Algorithm / M. Sedighizadeh [et al.] // 2010 IEEE International Conference on Power and Energy. – 2010. – С. 1–6.
4. Ерошенко, С. А. Модель интеллектуальной системы оценки эффективности внедрения объектов распределенной генерации / С. А. Ерошенко // Электроэнергетика глазами молодежи. – 2017. – Т. 3. – С. 41–44.