

## **ФАКТОР ВРЕМЕНИ В СТРАТЕГИИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

*У статті розглянуті питання оптимізації параметричного ряду перерізів дротів, як основи уніфікації повітряних ліній в стратегії удосконалення електричних мереж, що дозволяє при проектуванні враховувати зміну навантажень і прогнозувати економічно доцільні параметри через певну кількість років, і, відповідно, коригує чинник часу в регламенті реконструкцій.*

*В статье рассмотрены вопросы оптимизации параметрического ряда сечений проводов, как основы унификации воздушных линий в стратегии усовершенствования электрических сетей, что позволяет при проектировании учитывать изменение нагрузок и прогнозировать экономически целесообразные параметры через определенное количество лет, и, соответственно, корректирует фактор времени в регламенте реконструкций.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Функционирование электроэнергетической отрасли в условиях рынка двухсторонних договоров и балансирующего рынка электроэнергии (РДДБ) [1] требует новых научных подходов в развитии электрических сетей (ЭС) и прогнозировании электрических нагрузок.

ЭС представляют сложную динамическую систему, на режимы функционирования которой влияют научно-технический прогресс и экономическая политика в стране. Одним из взаимосвязывающих факторов является фактор времени. Этот фактор определяет как техническую, так и экономическую целесообразность реконструкции и ремонта объектов ЭС.

Поэтому, при рассмотрении вопросов стратегии усовершенствования ЭС в условиях РДДБ еще на стадии проектирования, в определенной степени, должен решаться вопрос прогнозирования сроков и периодичности реконструкции её объектов.

При решении подобного рода вопросов целесообразно руководствоваться системой иерархически построенных и взаимосвязанных технико-экономических моделей разных функциональных уровней, но стратегия поиска осложняется неопределенностью информации.

Одним из ответственных элементов ЭС, которые функционируют в условиях неопределенности информации, являются воздушные линии (ВЛ). Таким образом, вопрос прогнозирования сроков и периодичности их реконструкции, под которым понимают время замены проводов одного сечения другим с целью повышения эффективности функционирования ЭС и улучшения качества электрической энергии является актуальным в условиях РДДБ.

Реализация этих проблем связана с задачами, которые должны не только определять экономически целесообразные параметры и режимы работы как ВЛ, так и ЭС в целом на сегодняшний день, но также и учитывать перспективы их развития, которые характеризуются изменением электрических нагрузок.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ПУБЛИКАЦИЙ**

Как показал анализ научных информационных источников, одним из путей усовершенствования ЭС является унификация [2]. Чтобы построить общую методику унификации в целом, необходимо выявить целесообразное сокращение типоразмеров конструктивных элементов ЭС с учетом фактора времени.

Выбор направления зависит от вида подкласса к которому относится функция цели. Обычно технико-экономические задачи в электроэнергетической отрасли описываются с помощью полиномиальных уравнений нескольких переменных с учетом технических требований к этим переменным.

В каждом конкретном случае выделение "главного критерия" и построение системы ограничений связано с условиями задачи, с тактикой и методикой ее реализации [2].

Для реализации вопросов, связанных с усовершенствованием ЭС, в состав которых входят и ВЛ, используются следующие методы [3-5]:

- прямой счет (нормативные методы);
- методы выравнивания динамических рядов (методы формальной экстраполяции);
- корреляционные методы;
- компаративные методы (методы сравнения, аналогий);
- методы экспертной оценки.

Выбор того или иного метода решения зависит в первую очередь от класса функционала и ограничений, которые присутствуют в конкретной задаче. В связи с этим существующие задачи в зависимости от вида функции цели и ограничений делят на пять основных типов [5-7]:

- задачи линейного программирования;
- задачи нелинейного программирования;
- задачи дискретного программирования;
- задачи динамического программирования;
- задачи стохастического программирования.

На сегодняшний день наиболее разработанными являются алгоритмы линейного программирования, реализующие линейные программы с линейными ограничениями [6, 7]. Основным достоинством данного метода является то, что он достаточно эффективен для реализации задач с большим числом переменных. Применимость того или иного метода, как уже отмечалось, зависит от того класса задач, реализация которых наиболее эффективна в данном случае.

Все перечисленные методы обладает существенным недостатком. Они не особенно эффективны, исключая линейное программирование, для реализации задач большой размерности и при неопределенной информации.

Если речь идет о краткосрочном прогнозировании, когда имеется достаточно полная информация, могут использоваться нормальные и корреляционные методы, а так же методы экстраполяции для прогнозирования на средний и длительный периоды [3-5].

С течением времени, когда достоверность информации уменьшается, что приводит к неопределенности информации, применяются укрупненные показатели и число используемых методов сокращается.

Из практики известно, что темпы нагрузок не остаются неизменными во времени. Следовательно, темп изменения экспоненциальной функции при изменении фактора времени  $t$  не остается постоянным, а это значит, что он может, как нарастать, так и уменьшаться. Поэтому выбор методов прогнозирования на различные периоды зависит от наличия и достоверности исходной информации, а так же от влияющих факторов. Одним из факторов, который оказывает влияние на изменения в ЭС и приводит к неопределенности информации, является так же фактор времени.

В условиях неопределенности информации при анализе объектов ЭС необходимо использовать обобщающие методы, базирующиеся на основе теории подобия, математического программирования и моделирования [4-7].

К одному из таких направлений относится критериальный метод, разработанные алгоритмы которого позволяют количественно описать оптимальные технико-экономические связи объекта и провести их комплексное исследование, как при известной, так и неопределенной информации [5-7].

Достоинством критериального метода является:

- определение оптимальных значений функции цели;
- параметров оптимизации;
- оценка устойчивости функции к изменению параметров в диапазоне точки минимума;
- исследование чувствительности решения задачи при изменении исходной информации [6,7].

**Цель статьи** – рассмотреть вопросы оптимизации параметрического ряда сечений проводов, как основы унификации воздушных линий в стратегии усовершенствования электрических сетей, что позволит при проектировании учитывать изменение нагрузок, прогнозировать экономически целесообразные параметры через определенное количество лет и, соответственно, скорректирует фактор времени в регламенте реконструкций.

#### ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В последнее время наблюдается тенденция к расширению использования унифицированных (стандартизованных) элементов ВЛ в вопросах проектирования и эксплуатации ЭС. Эффективность унификации в наибольшей степени проявляется в условиях системного подхода к организации функционирования ВЛ. Очевидно, что такой подход обеспечивает:

- сокращение сроков разработки и сооружения ВЛ за счет использования ограниченного числа опор, фундаментов, марок проводов, изоляции и арматуры;
- проведение качественного контроля надежности при их изготовлении;

- уменьшение ошибок персонала при строительстве и эксплуатации ВЛ;
- сокращение эксплуатационного запаса отдельных элементов ВЛ;
- снижение стоимости сооружения ВЛ, за счет конкуренции между отдельными изготовителями элементов ВЛ [2].

В качестве основы для унификации ВЛ целесообразно использование унифицированной шкалы сечений проводов.

Полученные характеристики унификации шкалы сечений проводов ВЛ [2] научно обосновывают основу методики унификации. При этом из нескольких вариантов ВЛ необходимо выбрать такой, который удовлетворит условие экономической целесообразности выбираемого объекта с учетом фактора времени.

Задача упрощается, если анализ всевозможных вариантов производить целенаправленно. Для этого необходимо выбрать базис. Формирования базиса унификации сводится к исследованиям сечений проводов ВЛ в зависимости от климатических и нагрузочных характеристик с учетом фактора времени. Например, в качестве базисной можно использовать ВЛ с сечением из унифицированной шкалы, которое наиболее часто встречается в ВЛ того или иного класса напряжения.

Научные исследования с целью получения относительных темпов изменения нагрузок ВЛ на основании статистической обработки позволили получить результаты, которые показали, что наиболее приемлемый коэффициент нарастания шкалы сечений проводов близкий к 2. Приняв данную информацию за основу, было получено значение сечений проводов для разных классов напряжения, что позволяет решить одну из задач унификации ВЛ, как составной части стратегии усовершенствования ЭС в условиях РДДБ [2].

Задачи унификации ВЛ относятся к технико-экономическим задачам в электроэнергетической отрасли.

При решении подобного рода задач в электроэнергетической отрасли критериальным методом [6,7] определяются экономически целесообразные значения параметров оптимизации

$$x_{j0} = x(R_a, A_i), \quad (1)$$

$$y_{j0} = e(R_a, A_i), \quad (2)$$

где  $A_i$  – обобщенные константы, несущие определенную исходную информацию;  $R_a$  – критерии подобия, зависящие от исходной информации.

Интерес представляет рассмотрение динамического процесса в ЭС, связанного с изменением оптимальных параметров в течение времени (с учетом фактора времени).

Исходная информация, участвующая в (1) и (2) в виде обобщенных констант  $A_i$ , изменяется во времени.

Если представить исходную информацию с учетом фактора времени, то выражения (1) и (2) будут иметь вид

$$x_{j0}(t) = \prod_{i=1}^{n+1} [A_i(t) / \pi_i(R_a)]^{-\frac{\Delta i}{\Delta}} \quad (3)$$

$$y(x_0, t) = \prod_{i=1}^{n+1} [A_i(t) / \pi_i(R_a)]^{-\frac{\Delta i}{\Delta}} \quad (4)$$

Выделение обобщенных констант, зависящих в свою очередь от фактора времени  $t$ , не предполагает введение нового параметра оптимизации и исходной функции цели, поскольку ставится задача определения чувствительности параметров оптимизации с учетом фактора времени. Это позволит учитывать темпы изменения нагрузок при проектировании ЭС, то есть прогнозировать, какими должны быть экономически целесообразные параметры ЭС через определенное количество лет.

Для анализа чувствительности значение параметров оптимизации функции  $x$  к изменению данных  $A_i$  с учетом фактора времени допустимо выразить относительные их значения через относительные значения коэффициентов  $A_i$

$$x_{j0}^*(t) = \prod_{i=1}^{n+1} \left[ \frac{A_i(t)/\pi_i(R_a)}{\pi_i(R_{a0})} \right]^{\frac{\Delta j}{\Delta}}, \quad (5)$$

$$y(x_0, t) = \prod_{i=1}^{n+1} \left[ \frac{A_i(t)/\pi_i(R_a)}{\pi_i(R_{a0})} \right]^{\frac{\Delta i}{\Delta}}, \quad (6)$$

где  $A_i(t) = \frac{A_i(t)}{A_{i0}}$ ;  $\pi_i(R_a) = \pi_i(R_a)/\pi_i(R_{a0})$ .

Полученные выражения позволяют проследить изменение целесообразных значений параметров с учетом фактора времени.

Обоснование решения подобного рода зависит от применяемого метода, математического аппарата, а также от характера и точности описания объекта [5-7].

В качестве инструмента исследований был применён критериальный метод, позволяющий в определённой мере обосновать и параметрический ряд сечений проводов, который влияет как на технические, так и экономические показатели [6, 7].

В отличие от других методов, критериальный метод представляет собой целый комплекс исследований, основными пунктами которого являются:

- поиск экономически целесообразных значений параметров оптимизации, соответствующих наименьшему значению функции цели как с техническими ограничениями, так и без них;
- выявление экономической соразмерности исследуемого объекта, предполагающее определение долей участия каждой составляющей целевой функции в оптимальном варианте;
- исследование устойчивости целевой функции к изменению параметров оптимизации;
- анализ чувствительности функции к изменению исходной информации [6, 7].

Так как исходная информация об исследуемом объекте используется с определенной погрешностью, то при анализе объекта желательно знать, как влияет на функцию цели отклонение параметров оптимизации от своих экономически целесообразных значений. Считают модель устойчивой, если малые отклонения её параметров ведут к незначительным отклонениям функции цели.

При решении технико-экономических задач электроэнергетической отрасли важно знать влияние отклонения информации на экономический вариант.

Задача формулируется достаточно корректно с сохранением физической сущности объекта.

Для исследования чувствительности параметров к изменению информации с учетом фактора времени целевая функция дисконтных затрат имеет вид

$$Z = A_1 x_1 x_2^{-1} + A_2 x_1^2 x_2^{-2} + A_3 x_1^{-2} + A_4 x_2 \dots \quad (7)$$

Коэффициенты  $A_1, A_2$  зависят от фактора времени следующим образом

$$A_1 = \frac{A_1'}{P}, \quad A_2 = \frac{A_2'}{P}, \quad (8)$$

где  $P$  – функция изменения плотности нагрузки.

$P$  изменяется по закону

$$P = P_0(1+q)^t, \quad (9)$$

где  $q$  – изменение электрической нагрузки;  $P_0$  – начальная плотность нагрузки.

При решении технико-экономических задач критериальным методом большое значение имеет величина отклонения дисконтных затрат от точки условного минимума, определяющая область допустимых изменений оптимизируемых параметров, в пределах которого варианты исследуемого объекта будут экономически однозначны, а исследуемый объект экономически устойчив к изменению этих параметров.

Критериальный метод анализа показал, что в точке минимума (7) будет

$$Z_0 = \left( \frac{A_1}{\pi_1} \right)^{\pi_1} \left( \frac{A_2}{\pi_2} \right)^{\pi_2}, \quad (8)$$

где  $\pi_1$  и  $\pi_2$  – критерий подобия, которые получены из систематических процедур критериального метода –  $\pi_1=4/5, \pi_2=1/5$ .

Учитывая, что сечение провода ( $F$ ), является одним из основным элементом ВЛ и оптимизация его актуальна, поскольку ЭС будет слабонеоднородной, что улучшает эффективность её функционирования в целом, то значение экономически целесообразных параметров оптимизации функции (8) имеет вид

$$F_0 = \left( \frac{\pi_1 A_2}{\pi_2 A_1} \right)^{0,8}. \quad (9)$$

Если ввести в относительной форме обобщенную постоянную  $A'_2=A_2/P^2$  в (9) при условии, что базисное значение обобщенных констант совпадает с действительным значением этих констант  $A_i$ , т.е.  $A_1 = A'_2 = 1$ , тогда

$$F = \left( \frac{A \cdot P^2}{A} \right)^{0,8}, \quad (10)$$

или

$$P(1+q)^t = F^{0,625}. \quad (11)$$

Полученные выражения показывают, как быстро при заданном характере нагрузки происходит изменение относительного значения  $F$ .

При этом, если в качестве базисного сечения  $F_0$  принять значение сечения, приходящееся на год строительства и ввода в эксплуатацию ВЛ, а в качестве последующего сечения взять сечение на период реконструкции ВЛ, то отношение

$$\frac{F_2}{F_0} = F \quad (12)$$

представляет собой не что иное как коэффициент нарастания шкалы сечений проводов.

Пусть имеется две разные шкалы сечений, характеризующиеся коэффициентами  $F_1$  и  $F_2$ . Как в первом, так и во втором случае темпы изменения нагрузок будут одинаковыми. Тогда согласно (12)

$$P(1+q)^{t_1} = F^{0,625} \quad (13)$$

и

$$P(1+q)^{t_2} = F^{0,625} \quad (14)$$

Отношения (13) и (14) можно записать в виде

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{\ln F_2}{n F_1} = \text{idem} \quad (15)$$

В данном выражении фактор времени  $t$  определяет интервал от начала эксплуатации до первой реконструкции.

Из (13) и (14) следует, что время реконструкции, которое обусловлено пропускной способностью ВЛ и изменением нагрузки  $q$  при  $P_0 = 1$ , так как относится

к началу эксплуатации ВЛ, будет

$$t_0 = 0,625 \frac{\ln F}{\ln(1+q)} \quad (16)$$

Аналогичное получено соотношение

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{\ln 2}{\ln 1,4} = 2 \quad (17)$$

Результаты расчета показали, что срок до необходимой реконструкции увеличивается в 2 раза, если использовать унифицированную шкалу сечений проводов с коэффициентом  $F_2 = 2$ , что, соответственно, уменьшает периодичность реконструкций ВЛ.

Таким образом, оптимизация параметрического ряда сечений проводов, являющаяся основой унификации ВЛ, позволяет при проектировании объекта скорректировать фактор времени в регламенте реконструкции.

## ВЫВОДЫ

Исследования, представленные в статье, показали, что оптимизация параметрического ряда сечений проводов:

- является основой унификации воздушных линий в стратегии усовершенствования электрических сетей;
- позволяет при проектировании учитывать изменение нагрузок и прогнозировать экономически целесообразные параметры через определенное количество лет, что, соответственно, корректирует фактор времени в регламенте реконструкций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириленко О.В., Блинов И.В., Парус С.В. Балансующий рынок электроэнергетики и його математична модель // Технічна електродинаміка. – 2011. – №2. – С. 36-43.
2. Будзко И.А., Астахов Ю.Н., Черемисин Н.М. Унификация воздушных линий электропередачи // Электричество. – 1982. – №2. – С. 1-8.
3. Беляев И.П. Основы теории принятия решений. – М.: МГСУ, 2005. – 375 с.
4. Ларичев О.И. Теории и методы принятия решений. – М.: Логос, 2002. – 392 с.
5. Химельбау Д. Нелинейное программирование. – М.: Мир, 2007. – 267 с.
6. Астахов Ю.Н., Черемисин Н.М., Ильченко Б.М. Критериальный метод и его применение для анализа систем электроснабжения. Учебное пособие. – Харьков: ХИМЭСХ, 1986. – 45 с.
7. Лежнюк П.Д. Аналіз чутливості оптимальних рішень в складних системах критеріальним методом. Монографія. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2003. – 131 с.

**REFERENCES:** 1. Kyrylenko O.V., Blinov I.V., Parus Ye.V. Balansuiuchyiy rynek elektroenerhii i yoho matematychna model. *Technical electrodynamics*, 2011, no.2, pp. 36-43. 2. Budzko I.A., Astahov Ju.N., Cheremisin N.M. Unifikacija vozdushnyh linij elektroperedachi. *Elektrichestvo*, 1982, no.2, pp. 1-8. 3. Beljaev I.P. *Osnovy teorii prinjatija reshenij*. Moscow, MGSU Publ., 2005. 375 p. 4. Larichev O.I. *Teorii i metody prinjatija reshenij*. Moscow, Logos Publ., 2002. 392 p. 5. Himel'bau D. *Nelinejnoe programmirovanie*. Moscow, Mir Publ., 2007. 267 p. 6. Astahov Ju.N., Cheremisin N.M., Il'chenko B.M. *Kriterial'nyj metod i ego primenenie dlja analiza sistem elektrosnabzhenija. Uchebnoe posobie*. Kharkov: HIMESH Publ., 1986. 45 p. 7. Lezhniuk P.D. *Analiz chutlyvosti optymalnykh rishen v skladnykh systemakh kryterial'nyj metodom. Monohrafiia*. Vinnytsia, Universum-Vinnytsia Publ., 2003. 131 p.

Поступила (received) 10.03.2014

Черкашина Вероника Викторовна, к.т.н., доц.,  
Национальный технический университет  
"Харьковский политехнический институт",  
61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21,  
тел/phone +38 057 7076246, e-mail: cherk34@rambler.ru

V.V. Cherkashyna

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
21, Frunze Str., Kharkiv, 61002, Ukraine

### The time element in the strategy of electric grids improvement.

The article considers optimization questions for parameter series of wire cross-sections as basis of overhead line unification in the strategy of electric grid improvement to allow taking into account design load variation and predicting economic parameters throughout a definite number of years and, consequently, to correct the time element in the reconstruction regulation.

**Key words** – electric grid, overhead lines, parameters series of wire cross-sections, unification, optimization, time element, reconstruction.