

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ВАРИАНТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ВЛЭП, РАБОТАЮЩИХ В ЭКСТЕМАЛЬНЫХ МЕТЕОУСЛОВИЯХ

Шевченко Н.Ю., Лебедева Ю.В., Сошинов А.Г.

*Камышинский технологический институт (филиал)*

*ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», Камышин,  
LebedevaJulija1@yandex.ru*

На основании целей функционирования воздушной линии электропередачи выбраны частные критерии оценки вариантов реконструкции ВЛЭП. Предложены альтернативные варианты реконструкции воздушных линий электропередачи. Составлена целевая функция оптимизации.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи, гололедно-ветровые нагрузки, система частных критериев, целевая функция оптимизации.

Для выбора оптимального варианта реконструкции ВЛЭП с целью повышения надежности и эффективности электроснабжения потребителей в сильно гололедных районах, необходимо проведение имитационного моделирования по многокритериальной модели с учетом неопределенности. Рассмотрим критерии 1 рода неопределенности.

Выбор критериев оценки вариантов производится на основе анализа целей функционирования системы [3]. Основными целями воздушной линии электропередачи являются бесперебойное обеспечение потребителей электроэнергией высокого уровня качества с наименьшей себестоимостью передачи и распределения электроэнергии. Таким образом, можно выделить три основные цели ВЛЭП:

- бесперебойное обеспечение потребителей электроэнергией —  $Q_1$ ;
- минимальная себестоимость передачи электроэнергии —  $Q_2$ ;
- передача максимальной мощности с минимальными потерями —  $Q_3$

Степень достижения каждой цели можно количественно охарактеризовать следующими критериями оптимальности: надежностью воздушной линии электро-

передачи  $f_n$ , экономичностью  $f_{эк}$ , и технической эффективностью  $f_{эф}$ .

Работоспособность ВЛЭП в сильно гололедных условиях оценивается эксплуатационным коэффициентом запаса прочности  $n_3$ , который показывает, во сколько раз разрушающая внешняя нагрузка  $\gamma_в$  провода без собственного веса  $\gamma_1$  больше наибольшей расчетной нагрузки  $\gamma_{нб}$  [2]:

$$n_3 = \frac{\gamma_в - \gamma_1}{\gamma_{нб} - \gamma_1} \quad (1)$$

Расчет эксплуатационного коэффициента запаса прочности сводится к нахождению удельных нагрузок, при которых напряжение материала достигает временного. Для этого необходимо учесть и неупругие деформации.

$$\gamma_в = \sigma_в \sqrt{\frac{24\varepsilon'_н + \frac{\gamma_{нб}^2}{[\sigma_{нб}^2]}}{l^2}}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon'_н = \varepsilon_в - \beta[\sigma_{дон}]$  — относительное удлинение провода при растяжении его от состояния, соответствующего допустимому напряжению до временного сопротивления.

Выражение (2) можно записать в виде:

$$\gamma_B = \sigma_B \sqrt{\frac{24\varepsilon_n}{l^2} + \frac{\gamma_{нб}^2 \cdot S^2}{T_{дон}^2}} \quad (3)$$

Из выражений (2, 3) следует, что разрывающая нагрузка и эксплуатационный коэффициент запаса прочности проводов заметно повышаются при увеличении сечения и уменьшения длины пролета, уменьшении тяжения провода и уменьшении удельной массы провода, а также зависят от материала провода и конструктивных параметров воздушной линии (высоты опоры, материала провода, расположения проводов на опоре).

Так как безопасная работа ВЛЭП в сильноогололедных условиях лимитируется либо габаритом линии, либо обрывом провода, то в качестве показателей надежности можно принять эксплуатационный коэффициент запаса прочности и допустимую стрелу провеса. Стрелу провеса провода можно выразить из уравнения изменения состояния провода при постоянной нагрузке:

$$f_x = \frac{G_n l^2}{8T_x} = \frac{3T_x}{G_n} \left[ \frac{G_n f_m}{3T_m} + \alpha(t_x - t_m) + \frac{T_x - T_m}{F_n E_n} \right] \quad (4)$$

Из уравнение (4) следует, что при уменьшении отношения  $\frac{f_m}{T_m}$  в исходном ре-

жиме, уменьшении длины пролета  $l$ , температурного коэффициента удлинения провода —  $\alpha$ , веса провода  $G_n$  и увеличении упру-

гой деформации провода  $\frac{T_x - T_m}{S_n E_n}$  возмож-

но создать запас по габариту провод-земля  $f_x \ll f_{\max}$ .

Для увеличения разрушающей нагрузки при условии сохранения нормированных вертикальных расстояний между проводом и землей к рассмотрению можно предложить следующие варианты реконструкции воздушной линии электропередачи: уменьшение длины пролета за счет подстановки промежуточных опор без замены провода; замена опор на более высокие; замена железобетонных или металлических

решетчатых на многогранные опоры; замена проводов действующей ВЛ на провода с большим сечением алюминия или с меньшим температурным коэффициентом удлинения провода —  $\alpha$  и большим значением  $F_n E_n$ .

Пути повышения надежности требуют дополнительных затрат, что позволяет снизить ущерб, возникающий при нарушении надежности электроснабжения. Соизмерение затрат и результатов дает ответ о целесообразных методах и уровне обеспечиваемой надежности. Тогда критерий надежности примет вид:

$$f_n = (n_o \rightarrow \max; f < f_{\max}; \Delta Z \leq \Delta M_{\text{ущерб}}), \quad (5)$$

где  $\Delta Z$  — повышение приведенных затрат в обеспечение надежности,  $\Delta M_{\text{ущерб}}$  — математическое ожидание снижения ущерба.

Себестоимость передачи и распределения электроэнергии определяют отношением текущих затрат по передаче к количеству полезно отпущенной потребителям электроэнергии. Для ее снижения необходимо снизить потери в линии, т.е. выполнить условие  $\Delta P \rightarrow \min$ . Критерием экономичности может служить максимум чистого дисконтированного дохода. Тогда критерий экономичности примет вид [1]:

$$f_{\text{эк}} = ЧДД_i = \sum_{t=1}^T \frac{D_{ii} - I_i - K_i - Y_t}{(1 + E)^t} \rightarrow \max, \quad (6)$$

Так как в период эксплуатации основным средством борьбы с гололедом является плавка гололеда, то при этом резко снижается, пропуская способность линии. При протекании большого тока увеличивается стрела провеса, следовательно, уменьшается безопасность работы линии. Поэтому стрела провеса провода служит ограничением. Другим ограничивающим фактором являются минимальные потери электроэнергии, так как при протекании большого тока увеличиваются потери мощности в линии. Передачу электроэнергии с минимальными потерями можно оценивать энергетическим коэффициентом  $\kappa_{\text{энер}}$ , который определяется по формуле [4]:

$$\kappa_{\text{энер}} = \kappa_{\phi} \cdot \kappa_{\text{кнд}}, \quad (7)$$

где  $\kappa_{\phi}$  — относительный коэффициент мощности, определяемый после компенсации реактивной мощности.

Коэффициент полезного действия  $\kappa_{\text{кнд}}$  ВЛ определяется по выражению:

$$\kappa_{\text{кнд}} = \frac{P}{P + \Delta P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{кор}}}, \quad (8)$$

где  $P$  — активная мощность, кВт;  $\Delta P_{\text{н}}$  — нагрузочные потери, кВт;  $\Delta P_{\text{кор}}$  — потери на корону, кВт.

Нагрузочные потери зависят от удельного сопротивления ЛЭП, сечения провода, длины линии и длительно допустимого тока и климатических условий (температуры и скорости ветра):

$$\Delta P_{\text{н}} = 3I^2 \cdot R_{\text{л}} = 3I^2 R_0^{20} [1 + \alpha(t - 20^{\circ})] = 3I^2 \frac{\rho l}{F}, \quad (9)$$

где  $R_0^t$  — удельное сопротивление, зависящие от температуры;  $\alpha$  — температурный коэффициент электрического сопротивления.

Потери на корону зависят от напряжения линии, напряженности электрического поля и погодных условий. Следовательно, энергетический коэффициент является функцией следующих величин:  $\kappa_{\text{энер}} = f(I_{\text{нб}}; \rho; F; l; \alpha)$  при соблюдении ограничений о короне  $E_{\text{max}} \geq E$  (напряженность электрического поля) и плотности тока  $j_{\text{max}} \leq j$ . Энергетический коэффициент зависит также и от погодных условий (дождь, туман, изморось). Энергетический коэффициент и пропускная способность по току являются конкурирующими. Длительно допустимая токовая нагрузка по нагреву проводов линий электропередачи определяется двумя условиями: сохранением механической прочности провода; сохранением нормированных вертикальных расстояний между проводом и землей или между проводом и пересекаемым объектом. Тогда локальный критерий технической эффективности и безопасности примет вид:

$$f_{\text{эф}} = \kappa_{\text{энер}} \rightarrow \max; I_{\text{пр}} \rightarrow \max; f < f_{\text{max}}. \quad (10)$$

С целью преодоления численной неопределенности критериев осуществляется их нормирование.

Целевая функция оптимизации приведена к виду:

$$F_{\Sigma} = \bar{f}_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{н}} + \bar{f}_{\text{э}} \cdot \gamma_{\text{э}} + \bar{f}_{\text{эф}} \cdot \gamma_{\text{эф}} \rightarrow \text{extr}, \quad (11)$$

где  $\bar{f}_q$  — нормированный  $q$ -й частный критерий,  $\gamma_{\text{н}}; \gamma_{\text{э}}; \gamma_{\text{эф}}$  — весовые коэффициенты показателей надежности, экономичности и технической эффективности.

Задача оптимизации параметров реконструкции ВЛЭП сведена к определению функционала вида:

$$F_{\Sigma} = \sum f(\bar{Z}) \cdot \gamma_j \rightarrow \text{extr}. \quad (12)$$

Выводы: Выбраны и обоснованы частные критерии оценки вариантов реконструкции: критерий надежности электропередачи  $f_{\text{н}}$ , экономичности  $f_{\text{э}}$ , эффективности и безопасности  $f_{\text{эф}}$  и получены их аналитические модели. На основе аналитических моделей показателей надежности и эффективности составлены варианты реконструкции ВЛЭП.

#### Список литературы

1. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии. Ростов-н/Д.: Феникс, Красноярск: Издательские проекты, 2006. — 720 с.
2. Глазунов А.А. Основы механической части воздушных линий электропередачи. Том 2. М.: Госэнергоиздат, 1959. — 274с.
3. Лещинская Т.Б., Глазунов А.А., Шведов Г.В. Алгоритм многокритериальных задач оптимизации с неопределенной информацией на примере выбора оптимальной мощности глубокого ввода высокого напряжения // Электричество. — 2004. — №10. — С. 8-14.
4. Садуллаев Н.Н. Оценка эффективности системы электроснабжения предприятия по техническим показателям // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. — 2009 — Сентябрь. — С. 7-30.

**OPTIMIZATION MODEL OF OVER-HEAD LONG-DISTANCE  
TRANSMISSION LINES IN EXTREME METEOROLOGICAL  
CONDITIONS**

**Shevchenko N.J., Lebedeva J.V., Soshiov A.G.**

*Kamyshin Institute of Technology (branch) of state educational institution of higher  
professional education Volgograd State Technical University, Kamyshin,  
LebedevaJulija1@yandex.ru*

**According to functioning purposes of over-head long-distance transmission lines, some particular criteria of reconstruction variants estimation have been chosen. In this article some alternative variants of over-head long-distance transmission lines reconstruction are also given, as well as optimization function of a special purpose.**

**Keywords: over-head long-distance transmission lines, ice-wind loads, particular criteria system, optimization function of a special purpose.**