

## ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РЕКОНСТРУКЦИИ ВЛЭП В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Лебедева Ю.В., Шевченко Н.Ю., 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, гололёдно-ветровые нагрузки, система частных критериев, целевая функция оптимизации.

В районах со сложными климатическими условиями актуальной задачей является выбор оптимального варианта реконструкции линии с заданной степенью надёжности.

Для принятия на стадии проектирования оптимальных решений по обеспечению экономичности и высокой эксплуатационной надёжности ВЛЭП необходимо по возможности учитывать все факторы, которые позволяют найти «золотую середину» между себестоимостью сооружения электропередачи, издержками на её эксплуатацию и надёжностью электроснабжения потребителей.

Особенностью высоковольтной линии электропередачи является её значительная протяжённость. Линию можно рассматривать как систему, состоящую из участков линии, проходящих по территории с разными климатическими условиями, рельефом местности и разными грунтами. Следовательно, одна и та же линия имеет разную надёжность на отдельных участках. Поэтому, чтобы повысить надёжность всей линии, можно в первую очередь реконструировать участки линии, наиболее подверженные гололёдно-ветровым воздействиям. Так как безопасная работа ВЛЭП лимитируется габаритом линии или обрывом провода, то в качестве альтернативных можно рассмотреть следующие варианты реконструкции: замена желе-

зобетонных или решетчатых опор на многогранные опоры; уменьшение пролёта между опорами; увеличение высоты опоры; применение высокотемпературных и композитных проводов; увеличение сечения провода, увеличение диаметра провода.

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

Выбор критериев оценки вариантов производится на основе анализа целей функционирования системы, опираясь на понятие результативности и полезности [3]. Полезность вытекает из основного назначения воздушной линии электропередачи и целей её функционирования. Основное назначение ВЛЭП — передача электрической энергии между двумя пунктами энергосистемы. 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:

$Q_1$  — бесперебойное обеспечение потребителей электроэнергией;

$Q_2$  — минимальная себестоимость передачи электроэнергии;

$Q_3$  — передача максимальной мощности с минимальными потерями.

Степень достижения каждой цели можно количественно охарактеризовать следующими критериями оптимальности: надежностью воздушной линии электропередачи  $f_n$ , экономичностью  $f_{эк}$ , и эффективностью  $f_{эф}$ .

Работоспособность ВЛЭП в сильно гололедных условиях оценивается эксплуатационным коэффициентом запаса прочности  $\kappa_3$ .

Эксплуатационный коэффициент запаса прочности  $n_3$  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.

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

$\varepsilon_n' = \varepsilon_n - \beta[\sigma_{дон}]$  — относительное удлинение провода при растяжении его от состояния, соответствующего допустимому напряжению до временного сопротивления. Из формулы (2) следует, что с увеличением длины пролета разрушающая нагрузка и эксплуатационный коэффициент запаса прочности уменьшаются.

Эксплуатационный коэффициент запаса прочности провода связан с конструктивными параметрами сооружения.

Выражение (2) можно записать в виде:

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

Из выражения (3) следует, что разры-

вающая нагрузка и эксплуатационный коэффициент запаса прочности проводов заметно повышается при увеличении сечения и уменьшения длины пролета, а также он зависит от материала провода.

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:

$$f_n = (\kappa_3 \rightarrow \max; \Delta Z = E \cdot \Delta K_{рек} + \Delta I \leq \Delta M_{ущерб}), \quad (4)$$

где  $\Delta Z$  — повышение приведенных затрат в обеспечение надежности,  $\Delta M_{ущерб}$  — 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 минимум приведенных затрат или максимум чистого дисконтированного дохода. Тогда критерий экономичности примет вид [1]:

$$f_{эк} = (Z_i = \sum_{t=1}^T \frac{I_{t_i} + K_{t_i} + Y_{t_i}}{(1+E)^t}) \rightarrow \min. \quad (5)$$

или

$$f_{эк} = ЧДД_i = \sum_{t=1}^T \frac{D_{t_i} - I_{t_i} - K_{t_i} - Y_{t_i}}{(1+E)^t} \rightarrow \max, \quad (6)$$

Так как в период эксплуатации основным средством борьбы с гололедом является плавка гололеда, то при этом резко снижается пропускная 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 минималь-

ными потерями можно оценивать энергетическим коэффициентом  $\kappa_{энер}$ , который определяется по формуле [4]:

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

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

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

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

где  $P$  — нагрузка, кВт;  $\Delta P_n$  — нагрузочные потери, кВт;  $\Delta P_{кор}$  — 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)

$$\Delta P_n = 3I^2 \cdot R_l = 3I^2 R_0^{20} [1 + \alpha(t - 20)] = 3I^2 \frac{\rho l}{F}, \quad (9)$$

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:  $\kappa_{энер} = f(I_{но}; \rho; F; l; \alpha)$  при соблюдении ограничений о короне  $E_{max} \geq E$  (напряженность электрического поля) и плотности тока  $j_{max} \leq 2$ , а также энергетический коэффициент зависит от погодных условий (дождь, туман, изморось). Энергетический коэффициент и пропускная способность по току являются конкурирующими. А так как одним из требований к проводам, является высокая электропроводность, то следует рассмотреть возможные пути её повышения.

Длительно допустимая токовая нагрузка по нагреву проводов линий электропередачи определяется двумя условиями: сохранением механической прочности провода; сохранением нормированных верти-

кальных расстояний между проводом и землей или между проводом и пересекаемым объектом.

Тогда локальный критерий эффективности и безопасности примет вид:

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

С целью преодоления численной неопределенности критериев осуществляется их нормирование.

Целевая функция оптимизации приведена к виду:

$$F_{\Sigma} = \bar{f}_n \cdot \gamma_n + \bar{f}_3 \cdot \gamma_3 + \bar{f}_{эф} \cdot \gamma_{эф} \rightarrow \text{extr},$$

где  $\bar{f}_q$  — нормированный q-й частный критерий,  $\gamma_n; \gamma_3; \gamma_{эф}$  — весовые коэффициенты показателей надежности, экономичности и эффективности.

Задача оптимизации параметров реконструкции ВЛЭП сведена к определению функционала вида:

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

Выводы: Выбраны и обоснованы частные критерии оценки вариантов реконструкции: критерий надежности электропередачи  $f_n$ , экономичности  $f_{эк}$ , эффективности и безопасности  $f_{эф}$  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. — 274 с.
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 эффективно-

сти системы электроснабжения предприятия сентябрь. — С. 7-30.  
по техническим показателям // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. — 2009. — Сен-

## OPTIMIZATION MODEL

### OF OVER-HEAD LONG-DISTANCE TRANSMISSION LINES IN EXTREME METEOROLOGICAL CONDITIONS

**Lebedeva J.V., Shevchenko N.J., 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.**