

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Бондаренко В. Е., Барбашов И. В., Черкашина В. В.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

Представлено направление развития воздушных линий за счет оптимизации параметрических рядов сечений проводов, которое позволит снизить влияние неоднородности сети, перейти к унификации воздушных линий, увеличить регламент реконструкций объекта. Оснащение линий системами мониторинга в рамках данного направления позволит контролировать параметры объекта в реальном времени для повышения информативности электропередачи.

Постановка проблемы. В последние 10 лет для повышения информативности электропередачи с целью улучшения режимов работы электрических сетей (ЭС) актуальна инновационная модернизация ЭС, которая основывается на внедрении концепции Smart Grid [1-3].

При внедрении концепции Smart Grid на первом этапе целесообразно упорядочить структуру электро сетевого оборудования, в том числе и воздушных линий (ВЛ) электропередачи в соответствии с требуемыми условиями [4].

Для поиска структуры электросетевого оборудования, которая будет соответствовать требуемыми условиями [4], формируют параметрические ряды. Основой структуры ВЛ является уровень стандартизации и унификации параметрического ряда сечений проводов, который отражает возможность использования типовых конструктивных решений, типовых технологических процессов, типовых элементов ВЛ [5].

Таким образом, упорядочение структуры ВЛ за счет оптимизации параметрического ряда сечений проводов является целесообразным для последующего совершенствования ВЛ.

Реализация задач повышения информативности электропередачи предусматривает оснащение линий соответствующими средствами оценки и контроля параметров объекта в реальном времени.

В рамках инновационной модернизации ЭС уже существуют соответствующие технических решения. К таким решениям относится и волоконно-оптическая система мониторинга температурного режима и габаритов (ВОСМ) ВЛ, внедрение которой не противоречит концепции Smart grid [6].

Цель статьи. Обосновать направление развития воздушных линий, которое базируется на оптимизации параметрического ряда сечений проводов и оснащении линий волоконно-оптической системой мониторинга, что позволит снизить влияние неоднородности сети, увеличить регламент реконструкций и контролировать параметры объекта в реальном времени для повышения информативности электропередачи.

Основные материалы исследования. Первые работы по совершенствованию структуры ВЛ за счет оптимизации параметрического ряда сечений проводов были проведены еще в 80-х годах прошлого века такими учеными как В. А. Веников, Ю. М. Астахов,

М. М. Черемисин, И. А. Будзко [7]. В своих работах они рассматривали вопрос оптимизации параметрического ряда сечений проводов и представили предложения по линиям 35 - 750 кВ.

Согласно теории подобия для поиска оптимального параметрического ряда сечений проводов линий учеными был использован критериальный метод, который позволил избежать неполноты информации. Для этого технико-экономическая модель ВЛ была записана в критериальной форме и проанализирована учеными критериальным методом, что позволило сформировать целесообразный параметр оптимизации в условиях функционирования электроэнергетики в тот период, но в связи с изменением условий функционирования отрасли необходимо пересмотреть их рекомендации в соответствии с современными требованиями.

В [8] рассмотрены вопросы оптимизации параметрического ряда сечений проводов и представлены предложения по унификации ВЛ 110 – 750 кВ, но не учитывались перспективы изменения электрических нагрузок.

При совершенствовании структуры ВЛ необходимо учитывать, что согласно концепции Smart Grid линии должны быть оснащены соответствующими средствами оценки и контроля параметров объекта в реальном времени. Оснащение ВЛ соответствующими средствами расширяет их функциональные возможности и взаимосвязано с конструкцией линий [6, 9].

Так же необходимо решать задачи, которые должны определять целесообразные параметры и режимы работы ВЛ с учетом перспективы их развития, характеризующейся изменением электрических нагрузок и расширением функциональных возможностей, что позволит в реальном времени оптимизировать управление транспортом и распределением электроэнергии, т.е. повысить информативность электропередачи.

Данную проблему возможно реализовать на технико-экономических моделях с учетом неполноты исходной информации используя критериальное программирование [10, 11].

Для оптимизации параметрического ряда сечений проводов усовершенствована технико-экономическая модель дисконтных затрат (Z) ВЛ, основное отличие которой заключается в изменении аналитической связи инвестиций в ВЛ с сечением провода (F)

$$3 = K_0 p l + K_u p l U_i^\alpha + K_F p l F + \frac{\mu \rho P^2 K_k}{U^2 \cos^2 \varphi F}, \quad (1)$$

где K_0 – коэффициент постоянной составляющей стоимости, которая не зависит от сечения провода и класса напряжения линии;

K_u – коэффициент, который учитывает класс напряжения линии;

K_F – коэффициент, который учитывает изменение стоимости линии в зависимости от сечения провода;

p_l – коэффициент отчислений, который состоит из

$$p_l = p_a + p_{\text{рем и обл}}, \quad (2)$$

где p_a – коэффициент отчислений на амортизацию;

$p_{\text{рем и обл}}$ – коэффициент на ремонт и обслуживание линий;

F – сечение провода линии, мм²;

τ – время максимальных потерь, определяется как

$$\tau = (0,124 + T_{\text{max}}/10^4)^2 8760, \quad (3)$$

где T_{max} – максимальный час использования, год;

μ – удельная стоимость потерь электроэнергии, д.е / (кВт год);

ρ – удельное сопротивление провода, Ом мм²/км;

P – максимальная мощность линии, МВт;

U – напряжение линии, кВ;

l – длина линии, км;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности линии;

K_k – коэффициент потерь на корону, который состоит

$$K_k = (\tau + K_r), \quad (4)$$

где K_r – показатель потерь на корону, для $\tau = 1000 \div 7000$ (час/год) $K_r = 0,05 \div 0,15$ и учитывается только для ВЛ 330-750 кВ.

В виду того, что технико-экономические модели ВЛ с точки зрения теории подобия являются подобными, от отношения предыдущих дисконтных затрат к последующим в рамках одного параметрического ряда будут – тождественны, что является необходимым условием построения параметрического ряда сечений проводов ВЛ

$$\frac{3_{i+1}}{3_i} = \frac{K_{i+1} r_i - K_i r_{i+1} r_{i-1} - r_i}{K_i r_{i-1} - K_{i-1} r_i r_i - r_{i+1}} \equiv \text{idem}, \quad (5)$$

где r_i – активное сопротивление i -го провода;

K_i – инвестиционные вложения в i -ю линию.

Согласно теории подобия в первом приближении для поиска оптимального параметрического ряда авторами был использован критериальный метод, который позволил уйти от неполноты исходной информации. Для этого технико-экономическая модель ВЛ (1) была записана в критериальной форме

$$3 = \pi'_1 F^{\alpha_1} + \pi'_2 U^\alpha + \pi'_3 U^{-2} F^{-1}, \quad (6)$$

где π'_1, π'_2, π'_3 – критерии подобия, которые не зависят от исходной информации и определяются с системы уравнений, которая базируется на условиях нормировки и ортогональности в точке оптимума [10].

Разработанная технико-экономическая модель ВЛ (6) используется для расчета коэффициента формирования оптимального параметрического ряда сечений проводов ВЛ при условии, что два смежных провода отличаются один от другого на значение, которое не превышает зону равноэкономичности. В данных исследованиях за зону равноэкономичности принят интервал от 0,01 до 0,02.

Анализ модели (6) критериальным методом [10] показал, что в зависимости от погрешности исходной информации можно получить в первом приближении коэффициент формирования оптимальной шкалы сечений проводов. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблицы 1 – Результаты обоснования коэффициента оптимальности параметрического ряда сечений проводов ВЛ

$\delta, \%$	F_0^*
± 1	2.0
± 2	2.0
± 3	2.02
± 4	2.02
± 5	2.03
± 6	2.04
± 7	2.06
± 8	2.08
± 9	2.10
± 10	2.12

Как показали исследования (табл. 1), при обосновании оптимального параметрического ряда сечений проводов ВЛ значительную роль играет погрешность эксплуатационных характеристик. Из практики известно, что точность инженерных расчетов составляет не менее 10%. Итак, наиболее приемлемый коэффициент формирования оптимального параметрического ряда сечений проводов в этом случае должно быть не менее 2.

Наиболее простой путь sobлюсти рассчитанный коэффициент оптимального параметрического ряда сечений проводов возможно путем исключения промежуточных стандартных значений сечений проводов в своем классе напряжения. Учитывая выше изложенное, оптимальный параметрический ряд будет:

- для ВЛ 750 кВ - 330 - 400 мм².
- для ВЛ 110 кВ - 240 мм²; 35 кВ - 120 мм².

Сформированный в результате исследований параметрический ряд сечений проводов соответствует и ПУЭ Украины, не противоречит мировой практике унификации [5] и является платформой для концепции Smart Grid [3].

Учитывая, что сечение провода, является одним из основным элементом ВЛ и оптимизация его актуальна, так как влияет на пропускную способность линий, что отражается на регламенте реконструкции объекта.

В дальнейших исследованиях, используя теорию подобия и полученный коэффициент при заданном характере нагрузки, было выявлено, что срок до необходимой реконструкции является относительно подобной величиной [10] и имеет вид:

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

$$\frac{F_2}{F_0} = F \quad (7)$$

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 (7)

$$P(1+q)^{t_1} = F^{0,625} \quad (8)$$

и

$$P(1+q)^{t_2} = F^{0,625} \quad (9)$$

Для определения интервала от начала эксплуатации до первой реконструкции (8) и (9) записываем в виде

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{\ln F_2}{n F_1} = idem; \quad (10)$$

$$t = 0,625 \frac{\ln F}{\ln(1+q)} \quad (11)$$

В данном выражении время t определяет интервал от начала эксплуатации до первой реконструкции, которая обусловлена изменением пропускной способ-

ности ВЛ, зависящей от сечения провода (F) и заданного темпа изменения нагрузки (q).

Используя (10) и (11) определяется время реконструкции, которое обусловлено изменением нагрузки q при $P_0 = 1$, так как относится к началу эксплуатации ВЛ, будет

$$t_0 = 0,625 \frac{\ln F}{\ln(1+q)}; \quad (12)$$

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{\ln 2}{\ln 1,4} = 2. \quad (13)$$

Результаты расчета показали, что срок до необходимой реконструкции увеличивается в 2 раза, если использовать шкалу сечений проводов с коэффициентом 2 (табл. 1), что, соответственно, уменьшает периодичность реконструкций ВЛ.

Полученные результаты исследований позволяют снизить влияние неоднородности сети и не противоречат мировой практике унификации ВЛ.

Эффективность унификации для ВЛ обеспечивается:

- 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.

Унификация ВЛ позволяет в определенной степени решать и вопросы регламента реконструкции, которая связана с изменением нагрузки в сети, что актуально в условиях концепции Smart Grid, но не расширяет функциональные возможности ВЛ для повышения информативности электропередачи.

Одним из вариантов, позволяющим улучшить информативность электропередачи, является волоконно-оптическая система мониторинга (ВОСМ).

Контрольно-измерительным элементом ВОСМ является вмонтированный в фазный провод оптоволоконный кабель (ОК). Расположение ОК внутри одного из повивов провода позволяет проводить непрерывный температурный мониторинг и контроль габаритов ВЛ. Оптическое волокно распределенного датчика ОК присоединяется к измерительному блоку. Графический интерфейс системы позволяет разбивать трассу линии на секции, каждая из которых соответствует определенным характеристикам ВЛ. Встроенная функция контроля характеристик позволяет непрерывно отслеживать точность измерений и сохранять эти показатели для последующего анализа [6].

Оснащение линий ВОСМ расширяет функциональные возможности ВЛ за счет:

- возможности контролировать текущее техническое состояние объекта;
- выполнять оценку предельных значений длительных и кратковременных токов нагрузки;
- управлять режимами токовой нагрузки ВЛ;
- регулировать перетоки мощности по ВЛ в соответствии с реальными данными о термической стойкости проводов ВЛ.

Выводы. Для обоснования направления развития ВЛ, которое позволит снизить влияние неоднородности сети и перейти к унификации линий с вмонтированным в фазный провод ОК для повышения информативности электропередачи:

- совершенствована технико-экономическая модель ВЛ за счет изменения аналитической связи инвестиций с сечением провода для оптимизации параметрических рядов сечений проводов в условиях неполноты исходной информации;
- сформирован критерий технико-экономической различимости вариантов ВЛ и получен критериальным методом коэффициент нарастания шкалы сечений проводов 2, что позволяет снизить влияние неоднородности сети и не противоречит унификации ВЛ;
- показано влияние унификации ВЛ на регламент реконструкции объекта;
- предложена ВОСМ для непрерывного температурного мониторинга и контроля габаритов ВЛ, что позволяет расширить функциональные возможности линий и не противоречит концепции Smart Grid.

Список использованных источников

1. European Smart Grids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006.
2. Базюк Т. М. Интеллектуальні електричні мережі: елементи та режими / Т. М. Базюк, І. В. Блінов, О. Ф. Буткевич, та ін., за заг. ред. акад. НАН України О. В. Кириленка. – Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с
3. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Smart Grid в электроэнергетике. Энергетическая политика. - 2009. - № 6 – С.54 – 56.
4. Закон України "Про ринок електричної енергії України" від 13 квітня 2017 року № 2019-VIII.
5. Gudapati Sambasiva Rao. Unification of DG units to the electrical network. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 112 p.
6. DITEST STA-R series fiber optic distributed strain and temperature analyzer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.omnisens.com/ditest/>
7. Budzko I. A. Standardization of overhead power transmission lines / V. A. Venikov, A. M. Nekrasov, Yu. N. Astakhov, N. M. Cheremisin, V. M. Zubko, W. M. Blok. – Electric Technology, USSR (1), 1984. – 31 p.
8. Лежнюк П. Д. Уніфікація повітряних ліній в умовах ринку двосторонніх договорів та балансувального ринку електроенергії / П. Д. Лежнюк, М. М. Черемісін, В. В. Черкашина // Наукові праці ВНТУ. – 2013. – № 4. – С. 1–8.
9. Димтриев С. А. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и перспективы / С. А. Димтриев, Н. Н. Слепов. – М.: Волоконно-оптическая техника, 2005. – 576 с.
10. Черкашина В. В. Фактор времени в стратегии усовершенствования электрических сетей / В. В. Черкашина // Електротехніка і Електромеханіка. – 2014. – № 3. – С. 65–68.
11. Черемисин Н. М. Критериальный метод анализа технико-экономических задач в электрических сетях и системах. Навчальний посібник / Н. М. Черемисин, В. В. Черкашина – Харків: видав "Факт", 2014. – 96 с.

Анотація

ВДОСКОНАЛЕННЯ СТРУКТУРИ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Бондаренко В. О., Барбашов І. В.,
Черкашина В. В.

Представлено напрямок розвитку повітряних ліній за рахунок оптимізації параметричних рядів перерізів проводів. Реалізація даного напрямку дозволяє зменшити вплив неоднорідності мережі, перейти до уніфікації повітряних ліній, збільшити регламент реконструкцій об'єкту. Оснащення ліній системами моніторингу в рамках даного напрямку дозволить контролювати параметри об'єкту для оптимального керування транспортуванням та розподіленням електроенергії в реальному часі.

Abstract

IMPROVEMENT OF AIRLINE STRUCTURE FOR ENLARGEMENT OF ELECTRICAL TRANSPARENCY INFORMATION

V. Bondernko, I. Barbashov,
V. Cherkashyna

The direction of development of overhead lines is represented by optimization of parametric series of wire sections. The implementation of this direction will reduce the impact of heterogeneity of the network, move to the unification of air lines, increase the schedule for reconstruction of the facility. Equipping the lines with monitoring systems within this direction will allow controlling the parameters of the object in real time to increase the information transmission capacity.