

ГОВОРОВ Пилип Парамонович,

д-р техн. наук, професор,
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова
ORCID ID: 0000-0002-0379-1448

ЧЕРКАШИНА Вероніка Вікторівна,

д-р техн. наук, доцент,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
ORCID ID: 0000-0002-5639-9722
Україна

НОВІТНІ ПІДХОДИ ЩОДО СТРУМОПРОВІДНОЇ ЧАСТИНИ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Завдання проектування електричних мереж (ЕМ) зводиться до вибору раціональних рішень та їх найкращих параметрів з подальшим вибором найефективнішого варіанту для проектування. В рамках цього завдання першочергово вирішується питання щодо струмопровідної частини повітряних ліній (ПЛ) електропередачі, а саме провідів, які забезпечують передачу необхідної потужності по ЕМ і впливають на режимну та конструктивну надійність електропередачі.

Величина потужності, яку потрібно передати по ЕМ, є однією з найважливіших вихідних даних. Дана величина безпосередньо впливає на вибір струмопровідної частини ПЛ електропередачі під час проектування ЕМ. Тобто, на вибір типу проводу та його економічно доцільного перерізу з метою забезпечення необхідної пропускної здатності ЕМ в цілому з дотриманням вимог щодо режимної та конструктивної надійності електропередачі.

В 70-х роках минулого століття під час проектування ЕМ конструкції ПЛ обиралися таким чином, щоб забезпечити наближену до мінімальної пропускну здатність мережі з метою забезпечення економії металу та капіталовкладень¹.

¹ Сборник нормативов удельных капитальных вложений в строительство воздушных линий электропередачи 35–750 кВ. Руководящие материалы. Москва: Минэнерго СССР, 1986. 30 с.

За результатом такого підходу виникли обмеження пропускну здатності ЕМ, які не могли не позначитися на конструктивній надійності електропередачі та веденні режимів роботи ЕМ.

Ґрунтуючись на вищенаведеному слідє, що під час проектування ЕМ важлива роль відводиться вибору проводів ПЛ. В даний час в ЕМ України застосовується 11 марок проводів: в системоутворюючих мережах – 4; в розподільних мережах – 7².

За таких умов слід звернути увагу на те, що різні перерізи як традиційних (сталеалюмінієвих), так і інноваційних провідників визначають пропускну здатність ЕМ, вагу проводу на одиницю довжини, міцність конструкцій ПЛ, витрату металу, розмір інвестицій та подальших експлуатаційних витрат. Тобто, ті параметри ЕМ, які забезпечують режимну та конструктивну надійність електропередачі.

На сьогодні доведено техніко-економічну доцільність застосування інноваційних проводів, які дозволяють суттєво підвищити пропускну здатність ЕМ, а також знизити втрати електроенергії та мають покращені фізико-технічні характеристики, що впливає на ефективність та якість режимів роботи ЕМЗ.

Аналіз високотемпературних проводів для ПЛ електропередачі. Коефіцієнт теплового розширення високотемпературного проводу нижчий, ніж у сталеалюмінієвого (АС) проводу, що забезпечує його менше провисання, забезпечуючи конструктивну надійність електропередачі. Даний факт представляє безпосередній інтерес для компаній систем передачі та розподілу електричної енергії, які повинні стежити за дотриманням габариту між землею та фазними проводами ПЛ. Відомо, що під час протікання електричного струму метал нагрівається і розширюється, що приводить до його подовження і, відповідно, збільшення стріли провисання. Оскільки відстань від проводу до землі нормується⁴, то має місце обмеження щодо геометричних (вагових) та теплових характеристик проводів й, відповідно, до пропускну здатності лінії. Стріла провисання високотемпературних проводів буде меншою ніж у АС проводу, що дозволить вирішити проблему забезпечення габаритів ПЛ під час довгих переходів ускладнених рельєфом

2 Черкашина В. В. Методологія проектування повітряних ліній електропередачі з оптимізацією параметричного ряду перерізів проводів та розширенням функціональних можливостей: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.14.02. Київ : НАН України, Ін-т електродинаміки, 2019. 41 с.

3 Luminum Conductor Composite Reinforced Technical Notebook (795 kcmil family) Conductor and Accessory Testing. URL : <https://multimedia.3m.com/mws/media/5812680/electrical-markets.pdf>

4 Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0488-96#n13>.

місцевості. Також слід звернути увагу на те, що розривне зусилля високо-температурних проводів більше, ніж у АС проводу, відповідно, і механічна міцність буде вищою, що покращує режимну та конструктивну надійність роботи лінії під час ожеледоутворення на проводах⁵.

До високотемпературних проводів відноситься TACSR/ACS провід, який розроблено компанією Lumpi-Berndorf, Австрія. Збільшення пропускної здатності цього проводу забезпечується його високою робочою температурою. Цей провід стійкий до високої температури і може тривалий час нести більш високе струмове навантаження ніж АС провід. TACSR/ACS провід за конструкцією подібний АС проводу, але на відміну від АС проводу його струмопровідні повиви зроблені з добавкою цирконію. Добавка цирконію підвищує температуру рекристалізації алюмінію. В результаті, TACSR/ACS провід зберігає всі механічні та електричні характеристики при досить високих температурах⁶.

Аналіз проводів спеціальної конструкції для ПЛ електропередачі. Під час проектування важливим фактором, який впливає на кінцеве ухвалення рішення щодо вибору варіанту проектування ЕМ, є кліматичні умови в яких буде експлуатуватися ПЛ електропередачі. Так, за несприятливих кліматичних умов, до яких відносяться сильні вітри, інтенсивне ожеледоутворення, налипання снігу, механічні характеристики проводів спеціальної конструкції можуть стати вирішальною обставиною їх застосування. Підтверджуючим прикладом є застосування AERO-Z проводу, який розроблено концерном Nexans, Бельгія⁷.

Основна особливість AERO-Z проводу – це укладання струмопровідних шарів, переріз яких нагадує букву «Z». Поверхня верхнього повиву AERO-Z проводу гладка і має незначні гвинтові канавки, що виникають між верхніми межами Z-подібних проводів. За рахунок цього конструкція AERO-Z проводу виходить більш компактною порівняно з АС проводом і при тому ж діаметрі має більший переріз за алюмінієм. Також замість сталевого сердечника в AERO-Z проводі використовуються алюмінієві проволочки, що зменшує вагу проводу. Такі особливості сприяють зменшенню механічної напруги на опори і дозволяють збільшити корисний електропровідний переріз, що підвищує режимну та конструктивну надійність електропередачі.

5 Бондаренко В. О., Черкашина В. В. Конструкції ліній електропередачі : навч. посібник для студентів усіх форм навчання електроенергетичних спеціальностей ЗВО України. Харків : «Факт», 2020. 174 с.

6 LUMPI-BERNDORF. A global company specialising in the manufacture of wires and overhead line conductors for electrical energy and data transmission. URL : <https://www.lumpi-berndorf.at/en/>

7 Бондаренко В. О., Черкашина В. В. Конструкції ліній електропередачі : навч. посіб. для студентів усіх форм навчання електроенергетичних спеціальностей ЗВО України. Харків : Факт, 2020. 174 с.; Results of the forest-sax project. URL : https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=787&docType=pdf.

Також АЕРО-Z провід має підвищену крутильну жорсткість і тому краще протистоїть ожеледо-паморозовим відкладенням на проводах ПЛ⁸.

Порівняльний аналіз АС, TACSR/ACS, АЕРО-Z проводів. Порівняння проводів являється складним завданням. Оскільки, необхідно вибрати найбільш вагомні параметри для оцінювання доцільності застосування того чи іншого типу проводу в конкретній ситуації.

Порівняння АС, TACSR/ACS, АЕРО-Z проводів виконано для 1 км однопольової ПЛ 110 кВ за умови досягнення максимально допустимого за ПУЕ натягування проводу – 45 % від розривного, але не більше 42,5 кН⁹.

Під час порівняльного аналізу технологічний запас проводів не враховувався, а пред'являлися вимоги по стрілі провисання, масі проводу, максимальному струму, мінімальній вартості¹⁰. Вартість проводів, яка використовувалась в дослідженнях, не прив'язувалася до конкретного обсягу, умов, періоду поставки і залежить від світових цін на алюміній та курсу валют.

Параметри проводів, які враховувалися під час порівняльного аналізу, і результати розрахунку відносної вартості наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння АС, TACSR/ACS, АЕРО-Z проводів

Джерело: дослідження автора

Провід	Діаметр, мм	Маса, кг/км	Допуст. струм, А/макс. темп, °С	Стріла при T=макс, м	Вартість проводу, грн/км	Відносна вартість
АС 240/32	21,6	952	605/70	10,1	1735	100 %
TACSR/ACS 212/49	21	914	871/150	11,6	6200	Збільшення на 25 %
АЕРО-Z 366-2Z	23,1	1014	771/70	9,9	13700	Збільшення на 29 %

Як слідує з табл. 1, TACSR/ACS провід має збільшення струмової пропускної здатності за нижчої ваги в порівнянні з АС і АЕРО-Z проводами, а також відносно невисоку ціну в порівнянні з АЕРО-Z проводом.

8 Harald Buehe, Francois Daugny, Dr. Holger Fastabend, Dr. Dirk Steinbrink, Peter Zamzow New long stator winding (LSW) cable with Aero-Z conductor for high speed up with short round-trip time. URL : http://www.maglev.ir/eng/documents/papers/conferences/maglev2004/topic7/IMT_CP_M2004_T7_4.pdf

9 Правила улаштування електроустановок. Харків : Індустрія, 2016. 416 с.

10 Рокотян С. С., Шапиро И. М. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / под редакцией С.С. Рокотяна. М. : Энергоатомиздат, 1985. 352 с.; LUMPI-BERNDORF. A global company specialising in the manufacture of wires and overhead line conductors for electrical energy and data transmission. URL : <https://www.lumpi-berndorf.at/en/>; Harald Buehe, Francois Daugny, Dr. Holger Fastabend, Dr. Dirk Steinbrink, Peter Zamzow New long stator winding (LSW) cable with Aero-Z conductor for high speed up with short round-trip time. URL : http://www.maglev.ir/eng/documents/papers/conferences/maglev2004/topic7/IMT_CP_M2004_T7_4.pdf.

Аналіз номенклатурної бази щодо вибору струмоведучої частини ПЛ під час проектування. Основними нормативними документами, відповідно до яких виконується вибір струмопровідної частини ПЛ електропередачі під час проектування, являються:

1. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ¹¹. Саме в ПУЕ викладено основні підходи до вибору та розрахунку струмопровідної частини ПЛ. Також в цьому документі наведено основні принципи проектування ПЛ. Але потрібно мати на увазі, що для ПЛ високої напруги на ряду з ПУЕ діють і спеціальні нормативи та регламенти.

2. ГКД 340.000.001-95. Визначення економічної ефективності капіталовкладень в енергетику. Загальні методичні положення¹² та ГКД 340.000.002-97. Визначення економічної ефективності капіталовкладень в енергетику. Енергосистеми та електричні мережі¹³. За даними документами визначається вартість та економічна ефективність об'єктів ЕМ та проекту в цілому.

Також під час проектування доцільно враховувати перспективу розвитку ЕМ і брати до уваги документацію з питання розвитку на 5–10 років. А саме, в перелік вихідних даних, які запитуються проектною організацією для складання завдання для проектування повинен входити перспективний план розвитку ЕМ даного регіону де планується розміщувати нову або реконструювати існуючу ПЛ.

Таким чином, спираючись на результати порівняльного аналізу проводів і існуючу номенклатурну базу щодо вибору струмоведучої частини ПЛ під час проектування, має сенс, відповідно до¹⁴, для ефективного та динамічного розвитку і відновлення ЕМ України розробити та затвердити «Методику техніко-економічного оцінювання проводів підвищеної пропускної здатності». В даній Методиці викласти необхідні вимоги та послідовності щодо проектного вибору струмопровідної частини ПЛ з метою підвищення режимної та конструктивної надійності електропередачі за рахунок збільшення пропускної здатності і покращення експлуатаційних характеристик ЕМ в цілому.

DOI: 10.51587/9798-9866-95990-2023-013-27-31

11 Правила улаштування електроустановок. Харків : «Індустрія», 2016. 416 с.

12 ГКД 340.000.001-95. Визначення економічної ефективності капіталовкладень в енергетику. Загальні методичні положення. К. : Міненерго України, 1995. 34 с.

13 ГКД 340.000.002-97. Визначення економічної ефективності капіталовкладень в енергетику. Енергосистеми та електричні мережі. К. : Міненерго України, 1997. 54 с.

14 Закон України «Про ринок електричної енергії» // Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 27-28. С. 312. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>