

## МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ГУСТИНИ СТРУМУ ДЛЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ КАБЕЛІВ НАПРУГОЮ 10-35КВ, ЩО З'ЄДНУЮТЬ ПОТУЖНІ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

Сташук А.В., студент гр. МЕМп-181

Науковий керівник: Буйний Р.О., к.т.н., доцент

*Чернігівський національний технологічний університет*

В структурі генеруючих потужностей, в енергосистемі України, з кожним роком збільшується кількість нетрадиційних поновлюваних джерел енергії, що викликано встановленням на законодавчому рівні так званих «зелених» тарифів. Найбільш привабливими майже для усіх областей України є сонячні електростанції (СЕС), а для південних областей також і вітрові (ВЕС), з одиничною потужністю вітрогенераторів 1-4,2МВт. Для з'єднання вітрогенераторів застосовуються кабельні лінії (КЛ) електропередавання напругою 10-35 кВ.

В даний час нагальною проблемою в електричних мережах України, яку треба вирішувати першочергово, є зменшення втрат потужності та електричної енергії. Через високу вартість «зеленої» енергії втрати в КЛ ВЕС можуть бути надто дорогими. Тому під час їх проектування необхідно враховувати як вартісні показники обладнання, так і вартість втрат електричної енергії.

Метод вибору перерізів проводів (кабелів), який враховує вищезазначені параметри, називається «методом економічної густини струму» [1]. Величини економічних густин струму для перерізів проводів та жил кабелів у 60-х роках минулого століття були внесені до ПУЕ [2], які були чинні в Україні до 2012 року. Оскільки змінилася структура тарифів та вартісні показники, то зазначені в [2] норми густин струму для КЛ не відповідали дійсності та не ввійшли до нової редакції ПУЕ [3].

Тому постає питання розрахунку економічних густин струму для вибору перерізів кабелів, зокрема тих, що з'єднують потужні вітроенергетичні установки (ВЕУ) на напругах 10-35 кВ.

Для отримання величини економічно обґрунтованої густини струму для кабелів скористаємося методом приведених витрат, згідно з яким затрати на передачу електричної енергії визначаються:

$$Z = p_n \cdot K + I, \quad (1)$$

де  $K$  – капітальні вкладення у спорудження КЛ;  $I$  – щорічні витрати на експлуатацію, включаючи вартість втраченої електроенергії;  $p_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності.

Величина  $K$  для КЛ довжиною  $l$  кілометрів може бути отримана з регресійних залежностей від перерізу кабелю  $F$  для КЛ напругою 10, 20 та 35 кВ [4]:

$$K = C_{КЛ} \cdot l = f(F), \quad (2)$$

а величина щорічних витрат за формулою:

$$I = \frac{p_a + p_{eks}}{100} \cdot K + C_0 \cdot \Delta W = f(F), \quad (3)$$

де  $p_a$ ,  $p_{eks}$  – норми відрахувань на амортизацію та експлуатацію КЛ у % від вартості капіталовкладень;  $C_0$  – тариф на електричну енергію;  $\Delta W$  – втрати електричної енергії на ділянці КЛ:

$$\Delta W = 3 \cdot I_{\max}^2 \cdot \frac{\rho}{F} \cdot l \cdot \tau, \quad (4)$$

де  $I_{\max}$  – максимальний розрахунковий струм, що протікає через ділянку КЛ з перерізом  $F$  та довжиною  $l$  кілометрів;  $\rho$  – питомий опір матеріалу жили кабелю;  $\tau$  – тривалість максимальних втрат, яка залежить від тривалості використання максимального навантаження  $T_{\max}$ .

Для отримання такого перерізу  $F$ , за якого приведені витрати  $Z$  будуть мінімальними, необхідно у формулу (1) підставити формули (2)-(4) та знайти першу похідну затрат по параметру  $F$ :

$$\frac{dZ}{dF} = p_n \cdot \frac{dK}{dF} + \frac{dI}{dF} = 0. \quad (5)$$

З рівняння (5) можна отримати аналітичні залежності виду  $F = f(I_{\max}, T_{\max}, C_0)$  за постійних  $\rho$ ,  $p_a$ ,  $p_{eks}$ ,  $p_n$ .

Економічна густина струму може бути отримана з рівняння:

$$j_{ек} = \frac{I_{\max}}{F} = f(T_{\max}, C_0). \quad (6)$$

З рівняння (6) можна отримати величини економічних густин струму для КЛ, що з'єднують ВЕУ, при цьому слід враховувати діючі тарифи на енергію, що вироблена такими ВЕУ. Згідно з [5] зараз вона

складає 10,18 євроцентів/кВт·год (до 31.12.2019 року). Починаючи з 01.01.2020 року по 21.12.2024 року цей тариф буде складати 9,05 євроцентів/кВт·год, а з 01.01.2025 по 31.12.2029 року – 7,92 євроцентів/кВт·год.

На рисунку 1 приведені залежності виду  $j_{ек} = f(T_{\max})$  для кабелів напругою 10, 20 та 35 кВ за  $C_0 = 10,18$  євроцентів/кВт·год та  $C_0 = 9,05$  євроцентів/кВт·год.

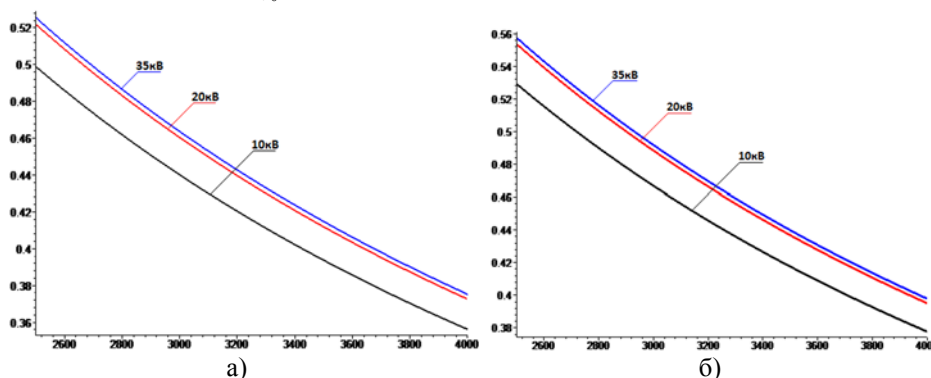


Рис. 1. Залежності виду  $j_{ек} = f(T_{\max})$ :

а) за  $C_0 = 10,18$  євроцентів/кВт·год ; б) за  $C_0 = 9,05$  євроцентів/кВт·год

З рисунку 1 видно, що за однакової тривалості використання максимального навантаження  $T_{\max}$  зі збільшенням класу напруги КЛ зростає економічна густина струму, що викликано вартістю кабелів. Також зі збільшенням  $T_{\max}$  економічна густина струму повинна бути меншою, а переріз кабелю більшим, що дозволить забезпечити мінімальні втрати потужності у КЛ.

На рисунку 2 приведені залежності виду  $j_{ек} = f(T_{\max})$  для КЛ напругою 35 кВ для вартостей електроенергії, виробленої ВЕУ за періоди:

- з 01.07.2015 по 31.12.2019 – крива 1;
- з 01.01.2020 по 31.12.2024 – крива 2;
- з 01.01.2025 по 31.12.2029 – крива 3.

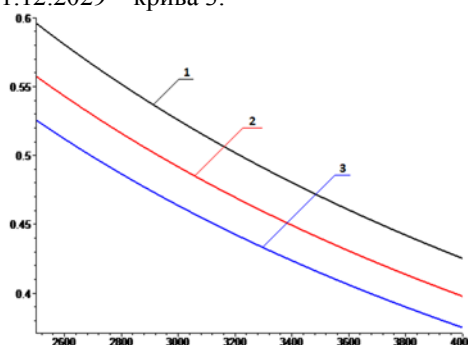


Рис. 2. Залежності виду  $j_{ек} = f(T_{\max})$  для КЛ 35 кВ за різних вартостей електроенергії, що вироблена ВЕУ

З рисунку 2 видно, що починаючи з 2020 року, а потім з 2025 року економічні густини струмів для КЛ, що з'єднують ВЕУ можуть бути зменшені на 6,1% та 6,9% відповідно.

#### Список використаних джерел

1. Вааг Л.А., Захаров С.Н. Методы экономической оценки в энергетике: Госэнергоиздат, М.–Л., 1962г. –272с.
2. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648с.
3. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Форт, 2017. – 760с.
4. Буйний, Р.О. Регресійні залежності вартісних показників елементів електричних мереж напругою 10-35 кВ / Р.О. Буйний, В.О. Перепечений, В.В. Зорін // Вісник НТУ «ХП», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2017. – № 7 (1229). – С. 18-23. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.03
5. Величини "зелених" тарифів для електроенергії, виробленої з використанням альтернативних джерел енергії [Електронний ресурс] // НКРЕКП: [офіційний веб портал]. – Режим доступу: [http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/elektro/taryfy\\_na\\_vidpusk-elektro.pdf](http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/elektro/taryfy_na_vidpusk-elektro.pdf)