

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЗНИЖУВАЛЬНИХ ПІДСТАНЦІЙ ПІДПРИЄМСТВ НАФТОГАЗОВОЇ ГАЛУЗІ З УРАХУВАННЯМ УМОВИ ЕКОНОМІЧНОСТІ

Ю. Ф. Романюк, О. В. Соломчак, М. Й. Федорів

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727172,
e-mail: ep eo@n i n g . e d u . u a

Розглядається методика вибору потужності трансформаторів знижувальних підстанцій підприємств нафтогазової галузі з урахуванням умови економічності. Критерієм вибору оптимальної потужності трансформаторів прийнято мінімум дисконтованих витрат, які враховують як капітальні вкладення у спорудження підстанцій, так і витрати на їх експлуатацію. Для визначення оптимальної потужності трансформаторів використано метод економічних інтервалів їх навантажень. Побудовані графіки залежностей дисконтованих витрат від потужності навантаження й розраховані значення граничних економічних навантажень для трансформаторів напругою 10 кВ різної номінальної потужності. Визначені граничні економічні навантаження для енергоефективних трансформаторів зі зменшеними втратами потужності й проаналізована залежність граничних економічних навантажень від вартості електроенергії. У зв'язку зі зміною структури енергетики та відпускних цін на електроенергію для різних суб'єктів енергоринку межі економічних інтервалів навантажень трансформаторів будуть різними.

Ключові слова: знижувальна підстанція, силовий трансформатор, дисконтовані витрати, економічний інтервал навантажень, оптимальна потужність.

Рассматривается методика выбора мощности трансформаторов понижающих подстанций предприятий нефтегазовой отрасли с учетом условия экономичности. Критерием выбора оптимальной мощности трансформаторов принят минимум дисконтированных затрат, учитывающих как капитальные вложения на сооружение подстанций, так и эксплуатационные затраты. Для определения оптимальной мощности трансформаторов использован метод экономических интервалов их нагрузок. Построены графики зависимости дисконтированных затрат от мощности нагрузки и рассчитаны значения предельных экономических нагрузок для трансформаторов с напряжением 10 кВ различной номинальной мощности. Определены предельные экономические нагрузки для энергоэффективных трансформаторов со сниженными потерями мощности и проанализирована зависимость предельных экономических нагрузок от стоимости электроэнергии. В связи с изменением структуры энергетики и отпускных цен на электроэнергию для разных субъектов энергорынка границы экономических интервалов нагрузок трансформаторов будут отличаться.

Ключевые слова: понижающая подстанция, силовой трансформатор, дисконтированные затраты, экономический интервал нагрузок, оптимальная мощность.

The methodology for choosing the power of the step-down substation transformers at oil and gas industry enterprises with the account of efficiency conditions is considered. The criterion for choosing the optimum power of transformers is accepted to be the minimum of discounted costs that include both capital investments for construction of the substations and their operation costs. The method of economic intervals of their loading was used to determine the optimum power of the transformers. The graphs of relation between the discounted costs and load power were developed and the values of the limiting economic loads for the transformers with the voltage of 10 kV and different optimum power were calculated. The limiting economic loads for energy-efficient transformers with reduced power losses were determined and the dependence of limiting economic loads on the electricity cost was analyzed. The limiting values of the transformer economic load intervals differ because of the changes in the energy structure and electricity prices.

Key words: step-down substation, power transformer, discounted costs, economic load intervals, optimum power.

Постановка проблеми

На практиці вибір силових трансформаторів в електричних мережах виконують за розрахунковою потужністю та рекомендованим коефіцієнтами завантаження в нормальному режимі без врахування економічних показників: вартості трансформаторів, витрат на експлуатацію, вартості річних втрат електроенергії, ціни електроенергії та режиму споживання електроенергії. Метою дослідження є розроблення методики вибору оптимальної потужності трансформаторів на підставі економічних показників з врахуванням технічних обмежень. Критерієм вибору оптимальної потужності трансформаторів прийнято мінімум дисконто-

ваних витрат, які враховують як капітальні вкладення на спорудження підстанцій, так і витрати на їх експлуатацію. Для визначення оптимальної потужності трансформаторів пропонується застосувати простий у використанні метод економічних інтервалів навантажень [1].

Важливим завданням є дослідження впливу параметрів трансформаторів на величину граничних економічних навантажень, що зумовлено появою на ринку нових трансформаторів з покращеними характеристиками і зменшеними втратами потужності.

Враховуючи поділ споживачів за класами напруги та різними відпускними цінами на електроенергію, у тому числі у зв'язку зі структур-

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів допустимого аварійного перевантаження трансформаторів з системами охолодження М і Д

Тривалість перевантаження, год	Коефіцієнт допустимого аварійного перевантаження $K_{ав}$ залежно від температури охолоджувального повітря, °С					
	-10	0	10	20	30	40
0,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,7
1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,4
2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,3
4,0	1,7	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2
6,0	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,1
8,0	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
Від 12 до 24	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1

ними змінами в енергетиці, необхідно також дослідити залежність граничних економічних навантажень від вартості електроенергії.

Аналіз публікацій

Термін служби трансформатора визначається фізичним зношуванням ізоляції їх обмоток, яке залежить, в основному, від температури її нагрівання і характеру графіка електричних навантажень. Тому під час вибору потужності трансформаторів потрібно обов'язково враховувати їх навантажувальну здатність [2-7].

Під навантажувальною здатністю розуміють граничного допустиме для конкретних умов охолодження навантаження, на яке розрахований трансформатор.

Потужність трансформаторів у нормальному режимі повинна бути такою, щоб забезпечити живлення всіх приєднаних споживачів, а в аварійному режимі – всіх відповідальних споживачів першої та другої категорій надійності.

Згідно з чинними правилами технічної експлуатації електричних станцій і мереж [7] допускаються систематичні перевантаження трансформаторів залежно від коефіцієнта початкового навантаження, температури навколишнього середовища, виду охолодження та тривалості максимального навантаження.

Номінальну потужність трансформаторів знижувальних ТП вибирають за умовою

$$S_{НОМ.Т} \geq \frac{S_p}{N\beta}, \quad (1)$$

де S_p – найбільша розрахункова потужність навантаження підстанції;

N – кількість трансформаторів;

β – коефіцієнт завантаження трансформаторів.

Однотрансформаторні підстанції використовують для живлення споживачів третьої категорії, а також для живлення споживачів другої категорії за наявності централізованого пересувного резерву, за умови, коли час на заміну пошкодженого трансформатора чи його ремонт не перевищує однієї доби.

Потужність трансформаторів двотрансформаторних підстанцій вибирають з урахуванням надійності електропостачання споживачів і пе-

ревантажувальної здатності трансформаторів. У разі встановлення на трансформаторних підстанціях (ТП) двох трансформаторів їх номінальну потужність вибирають такою, щоб у випадку вимкнення одного з них інший міг забезпечити живлення споживачів першої та другої категорій надійності з допустимим перевантаженням. У післяаварійних режимах при температурі охолоджувального повітря +20 °С допускається перевантаження трансформаторів на 40% (але не більше 6 год на добу протягом 5 діб), при цьому в нормальному режимі навантаження трансформаторів повинно становити 65-70% від сумарного навантаження споживачів у режимі найбільших навантажень.

Розглянемо, як здійснюється вибір трансформаторів на головних знижувальних підстанціях (ГЗП). ГЗП – трансформаторні підстанції з первинною напругою 35-220 кВ, які одержують живлення від енергосистеми та розподіляють електроенергію на напрузі 6-10 кВ.

Найчастіше ГЗП компресорних станцій нафтогазопроводів виконують двотрансформаторними (для живлення електроприймачів 1-ї та 2-ї категорій надійності, а також за наявності нерівномірного графіка навантаження).

У післяаварійному режимі (при вимкненні одного з двох трансформаторів) для надійного електропостачання усіх або значної частини споживачів ГЗП передбачається живлення від трансформатора, який залишився у роботі, у межах допустимого перевантаження.

Номінальну потужність трансформаторів ГЗП вибирають за умовою [6]

$$S_{НОМ.Т} \geq \frac{S_{p.ав}}{K_{ав}}, \quad (2)$$

де $S_{p.ав}$ – розрахункове навантаження підстанції у післяаварійному режимі, яке визначають з урахуванням сезонної зміни навантаження та можливого обмеження навантаження у такому режимі;

$K_{ав}$ – коефіцієнт, який визначає величину допустимого аварійного перевантаження залежно від тривалості перевантаження і температури охолоджувального повітря (таблиця 1) [4].

Задані в таблиці 1 коефіцієнти $K_{ав}$ визначені наближено, без точного врахування величини попереднього навантаження трансформато-

рів. Ця таблиця призначена для трансформаторів з вищою напругою (до 110 кВ) включно при допустимій максимальній температурі нагрівання обмотки не більше 160 С і температурі оливи у верхньому шарі не більше 115 С (для трансформаторів класів напруги 150 кВ і вище найбільша температура нагрівання обмотки в аварійному режимі становить 140 С, тому для них можна користуватися цією таблицею збільшивши температуру охолоджуючого повітря на +20 °С).

З урахуванням сезонного навантаження для зимової і літньої температур охолоджувального повітря номінальна потужність трансформаторів ГЗП згідно з умовою (2) визначають за формулами:

$$S_{НОМ.Т} \geq \frac{S_p}{K_{ав.з}}; \quad (3)$$

$$S_{НОМ.Т} \geq \frac{KS_p}{K_{ав.л}}, \quad (4)$$

де $K_{ав.з}$ – коефіцієнт допустимого аварійного перевантаження в зимовий період;

$K_{ав.л}$ – коефіцієнт допустимого аварійного перевантаження в літній період;

K – коефіцієнт відношення літнього розрахункового навантаження до зимового, визначений з урахуванням характерних режимів роботи споживачів.

У більшості випадків номінальну потужність трансформаторів вибирають з урахуванням необхідної надійності електропостачання та їх допустимої перевантажувальної здатності без належного техніко-економічного обґрунтування. Часто вибір потужності трансформаторів ГЗП здійснюють без урахування змін сезонного навантаження. Проте такий чисто технічний підхід не може бути виправданим. У сучасних умовах функціонування енергетики всі прийняті під час проектування рішення повинні відповідати умові економічної доцільності. Тому трансформатори, вибрані за технічними умовами, потрібно перевірити за умовою економічності.

Мета та завдання досліджень

Метою роботи є визначення економічних інтервалів навантажень трансформаторів знижувальних підстанцій розподільчих електричних мереж та підприємств нафтогазової галузі. Основними завданнями досліджень є визначення граничних економічних навантажень трансформаторів і аналіз залежностей цих навантажень від технічних характеристик трансформаторів, форми графіків електричних навантажень та вартості електроенергії.

Результати досліджень

1. Вибір потужності трансформаторів за умовою економічності

Потужність трансформаторів потрібно вибирати за їх допустимим перевантаженням у післяаварійних режимах і перевіряти за умовою економічності.

Основним критерієм вибору оптимальної потужності трансформаторів є мінімум дисконтованих витрат на їх встановлення та експлуатацію [8].

$$B_{ДС} = \left(\frac{a_e}{100E} + 1 \right) K_T + \left[\Delta P_x T_p + \Delta P_\kappa \left(\frac{S_{нб}}{S_{НОМ}} \right)^2 \tau \right] \frac{Ц}{E}, \quad (5)$$

де K_T – розрахункова вартість трансформатора;
 $\Delta P_x, \Delta P_\kappa$ – відповідно втрати неробочого ходу і короткого замикання трансформатора;

a_e – норма відрхувань на технічне обслуговування та ремонт трансформатора, %;

T_p – річна тривалість роботи трансформатора;

τ – час найбільших втрат;
 $Ц$ – вартість втрат електроенергії в трансформаторі;

E – норма дисконту, яку визначають з врахуванням інфляційних процесів, ступеня ризику інвесторів і рівня ліквідності обладнання [9].

Для визначення оптимальної потужності трансформаторів використовуємо метод економічних інтервалів, який застосовують під час вибору економічного перерізу проводів повітряних і кабельних ліній електропередавання [8].

Побудуємо графіки залежностей дисконтованих витрат для трансформаторів типу ТМ різної номінальної потужності від їх завантаження (рисунок 1), задавшись наступними вихідними даними: $T_p = 8760$ год; $\tau = 3411$ год (відповідає часу використання найбільшого навантаження $T_{нб} = 5000$ год); $a_e = 4,3\%$; $Ц = 0,6$ грн / кВт·год; $E = 0,2$.

Точки перетину кривих $B_{ДС} = f(S)$ на рисунку 1 визначають межі економічних інтервалів навантажень трансформаторів. Значення граничного економічного навантаження $S_{гр.ек i}$ для трансформатора потужністю $S_{НОМ i}$ можна визначити, прирівнявши дисконтовані витрати для трансформаторів потужністю $S_{НОМ i}$ і $S_{НОМ (i+1)}$ у точці перетину відповідних парабол:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{a_e}{100E} + 1 \right) K_{T(i+1)} + \\ & + \left[\Delta P_{x(i+1)} T_p + \Delta P_{\kappa(i+1)} \left(\frac{S_{нб(i+1)}}{S_{НОМ(i+1)}} \right)^2 \tau \right] \frac{Ц}{E} = \\ & = \left(\frac{a_e}{100E} + 1 \right) K_{T_i} + \left[\Delta P_{x_i} T_p + \Delta P_{\kappa_i} \left(\frac{S_{нб_i}}{S_{НОМ_i}} \right)^2 \tau \right] \frac{Ц}{E}; \\ & S_{нб_i} = S_{нб(i+1)} = S_{гр.ек}; \end{aligned}$$

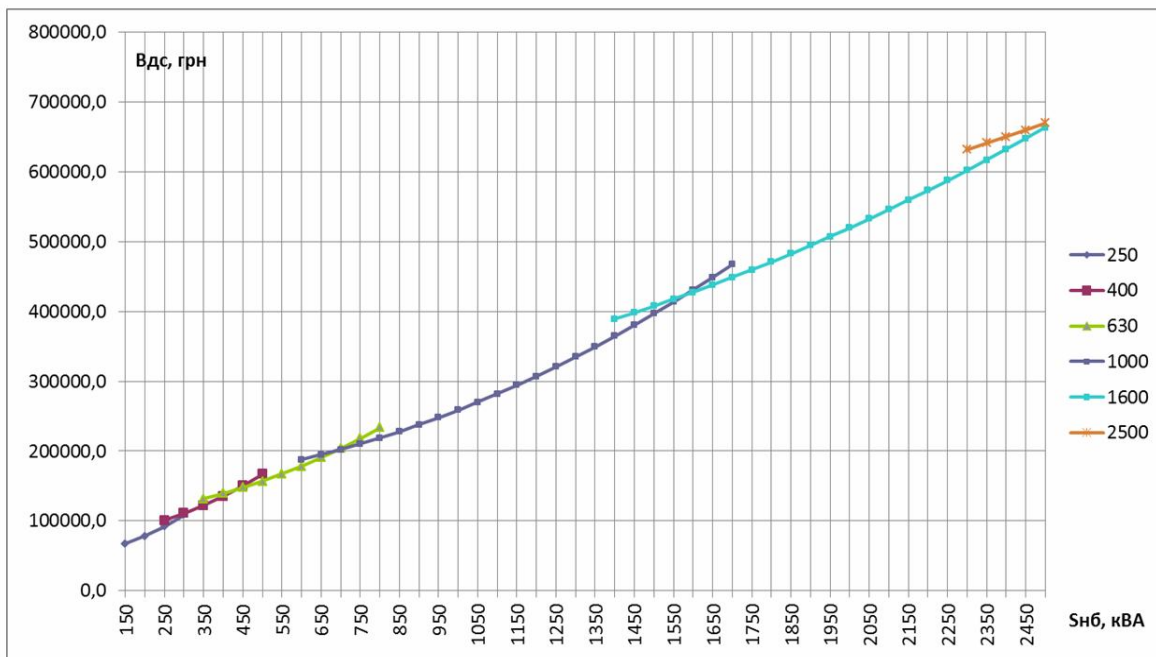


Рисунок 1 – Графіки залежностей дисконтованих витрат від потужності навантаження для трансформаторів ТМ-250 / 10...ТМ-1600 / 10 (Ц=0,6 грн / кВт·год)

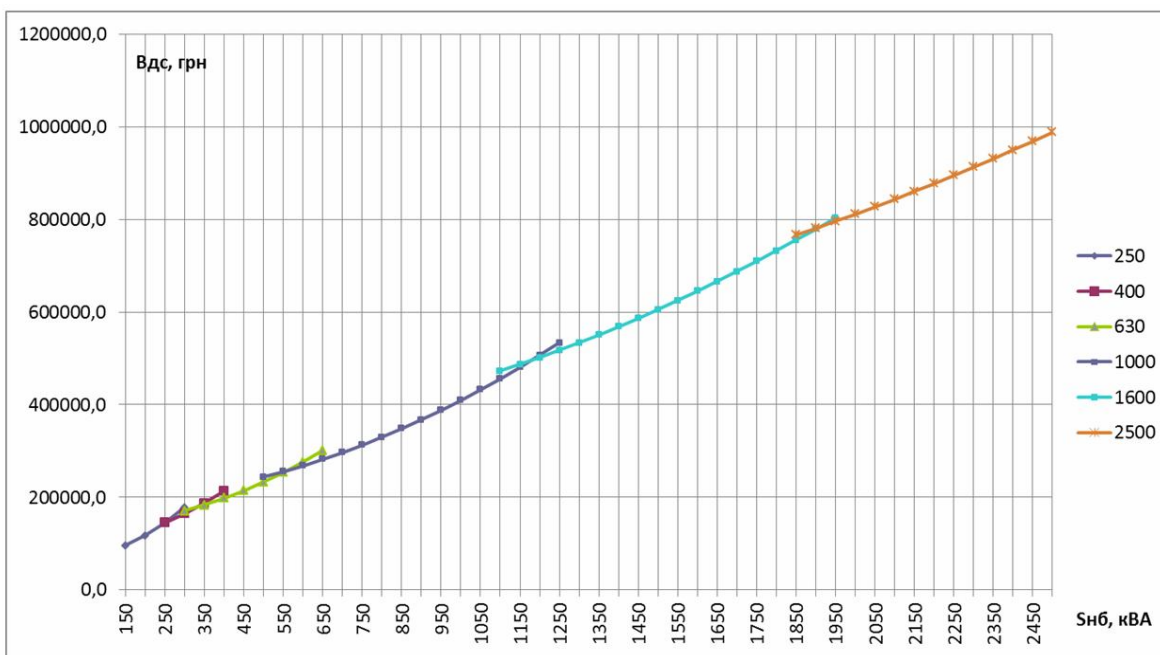


Рисунок 2 – Графіки залежностей дисконтованих витрат від потужності навантаження для трансформаторів ТМ-250 / 10...ТМ-1600 / 10 (Ц=1,2 грн / кВт·год)

$$S_{гр.екл} = \left[\left\{ \left(\frac{a_e}{100E} + 1 \right) (K_{T(i+1)} - K_{Ti}) + (\Delta P_{x(i+1)} - \Delta P_{xi}) \frac{T_p \cdot \Pi}{E} \right\} \times \left[\frac{\tau \Pi}{E} \left(\frac{\Delta P_{ki}}{S_{номі}^2} - \frac{\Delta P_{k(i+1)}}{S_{ном(i+1)}^2} \right) \right]^{-1} \right]^{1/2} \quad (6)$$

З виразу (6) видно, що граничні економічні навантаження трансформаторів залежать від технічних параметрів і вартості трансформаторів, тривалості їх роботи, характеру графіка електричних навантажень та вартості електроенергії. Наприклад, зі збільшенням часу використання найбільшого навантаження, тобто при переході до рівномірного графіка навантаження, граничні економічні навантаження трансформаторів зменшуються, оскільки при цьому збільшуються втрати електроенергії в обмотках трансформаторів. У разі збільшення вартості

Таблиця 2 – Технічні характеристики трансформаторів напругою 10 кВ

Тип трансформатора	$S_{НОМ}$, кВ·А	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	Звичайні трансформатори			Енергоефективні трансформатори		
				ΔP_X , кВт	ΔP_K , кВт	K , тис. грн	ΔP_X , кВт	ΔP_K , кВт	K , тис. грн
ТМ-25/10	25	10	0,4	0,11	0,6	13,17	0,0825	0,54	17,12
ТМ-40/10	40	10	0,4	0,15	0,88	14,06	0,1125	0,792	18,28
ТМ-63/10	63	10	0,4	0,22	1,28	15,8	0,165	1,152	20,54
ТМ-100/10	100	10	0,4	0,305	1,97	20,88	0,21	1,75	27,14
ТМ-160/10	160	10	0,4	0,41	2,65	24,95	0,3	2,35	32,44
ТМ-250/10	250	10	0,4	0,55	3,7	32,46	0,425	3,25	42,20
ТМ-400/10	400	10	0,4	0,83	5,5	47	0,61	4,6	61,10
ТМ-630/10	630	10	0,4	1,05	7,6	66,06	0,8	6,75	85,88
ТМ-1000/10	1000	10	0,4	1,55	10,8	88,24	1,1	10,5	114,71
ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,05	16	172,8	1,7	17	224,64
ТМ-2500/10	2500	10	0,4	2,8	24	288,5	2,5	26,5	375,05

електроенергії граничні економічні навантаження теж зменшуються, оскільки збільшується вартість втрат електроенергії (рисунок 2).

Кожен трансформатор характеризується своїм економічним інтервалом навантажень, в межах якого дисконтовані витрати на його встановлення та експлуатацію будуть меншими порівняно з трансформатором більшої номінальної потужності.

Можуть мати місце випадки, коли окремі криві дисконтованих витрат $B_{ДС} = f(S)$ проходять вище ламаної мінімальних дисконтованих витрат, ніде з нею не перетинаючись. Це свідчить про те, що такий трансформатор для заданих умов не має економічного інтервалу навантажень і використовувати його економічно недоцільно.

Як видно з кривих на рисунках 1,2, інтервали економічних навантажень трансформаторів різної потужності значно відрізняються за величиною. Це можна пояснити нелінійною залежністю розрахункової вартості трансформаторів від їх номінальної потужності, так як комерційна вартість трансформаторів (грн /кВ·А) залежить від потужності й конструктивних особливостей трансформаторів, технології їх виготовлення, серії випуску та інших причин.

2. Визначення граничних економічних навантажень трансформаторів

Визначимо згідно з виразом (6) граничні економічні навантаження для розподільчих трансформаторів різної номінальної потужності з вищою напругою 10 кВ. Технічні характеристики звичайних і енергоощадних трансформаторів наведені в таблиці 2.

Енергетична галузь України у 1995 році була реформована, у результаті чого у складі Об'єднаної енергетичної системи України були

створені окремі структурні підрозділи – електрогенерувальні компанії теплових, гідравлічних і атомних електростанцій, магістральні електричні мережі та енергопостачальні компанії. У зв'язку зі структурними змінами в енергетиці ціни на електроенергію для різних компаній, а також відпускні ціни на електроенергію для споживачів значно відрізняються. Крім того, заводи - виробники випускають трансформатори на замовлення з різним рівнем втрат потужності – номінальними та зменшеними, тому комерційна ціна трансформаторів може суттєво відрізнитися. Отже, їх економічні інтервали навантажень будуть різними залежно від співвідношення цін на електроенергію та вартості трансформаторів. Наприклад, для енергопостачальних компаній значення граничних економічних навантажень трансформаторів будуть вищими порівняно з граничними економічними навантаженнями трансформаторів, встановлених на промислових підприємствах, так як купівельна ціна електроенергії для цих компаній значно нижча від відпускної ціни для їх споживачів.

На рисунку 3 зображені графіки залежностей дисконтованих витрат від потужності навантаження для енергоефективних трансформаторів зі зменшеними втратами, які випускає Хмельницький трансформаторний завод.

Результати розрахунку граничних економічних навантажень трансформаторів з вищою напругою 10 кВ залежно від вартості електроенергії та їх технічних характеристик наведені в таблиці 3.

Аналогічно можна розрахувати граничні економічні навантаження для інших трансформаторів.

З таблиці 3 випливає, що зі зниженням вартості електроенергії граничні економічні навантаження трансформаторів значно переви-

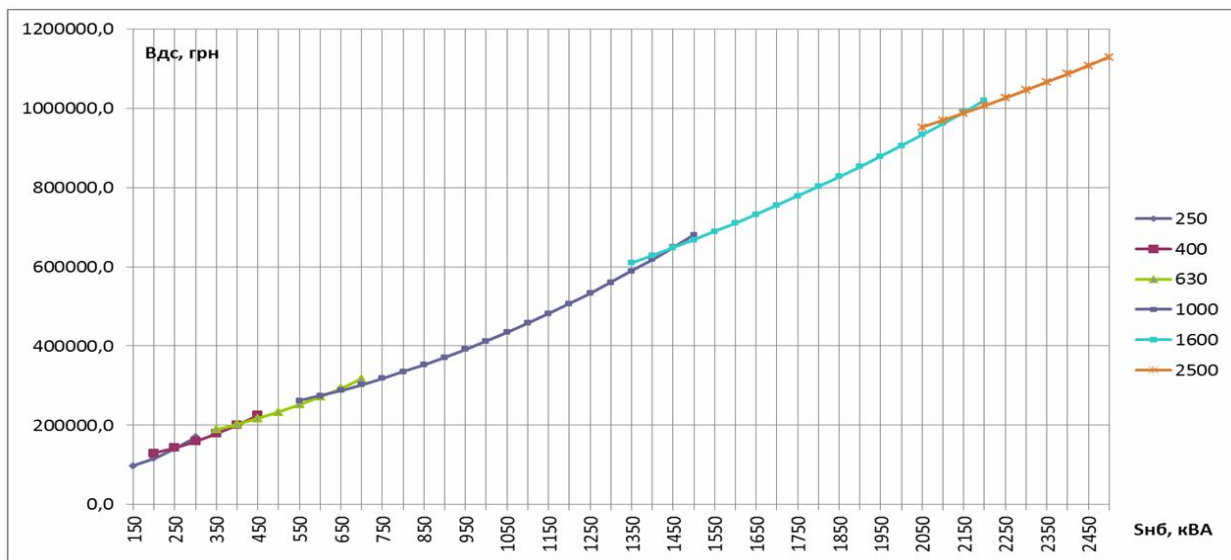


Рисунок 3 – Графіки залежностей дисконтованих витрат від потужності навантаження для енергоефективних трансформаторів ТМ-250 / 10...ТМ-1600 /10 (Ц=1,2 грн / кВт·год)

Таблиця 3 – Граничні економічні навантаження двообмоткових енергоефективних трансформаторів напругою 10 кВ

$S_{НОМ}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600
$S_{ГР.ЕК}, \text{кВ}\cdot\text{А}$ (Ц=0,6 грн / кВт·год)	22,5	41	81	90	168	314	431	685	1578	2549
$S_{ГР.ЕК}, \text{кВ}\cdot\text{А}$ (Ц=1,2 грн / кВт·год)	19,5	35,3	64	74	135	253	334	558	1177	1910
Енергоефективні трансформатори $S_{ГР.ЕК}, \text{кВ}\cdot\text{А}$ (Ц=1,2 грн / кВт·год)	19,9	36,3	66	81	150	262	408	618	1446	2139

щують їх номінальну потужність. Наприклад, для трансформатора ТМ -1000/10, Ц = 0,6 грн / кВт·год $S_{ГР.ЕК} = 1578 \text{ кВ}\cdot\text{А}$, у той час як нижня межа його економічного інтервалу становить 685 кВ·А. У цьому випадку при виборі потужності трансформатора потрібно максимально використати його встановлену потужність, вимушено обмеживши економічний інтервал навантажень номінальною потужністю $S_{НОМ} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$. За навантажень, менших від номінальної потужності, згідно з чинними правилами експлуатації електричних станцій і мереж [9] допускаються систематичні перевантаження трансформаторів, що потрібно враховувати під час проектування підстанцій.

Під час визначення граничних економічних навантажень трансформаторів потрібно враховувати кошторисну вартість трансформаторних підстанцій, яка залежить від встановленої потужності трансформаторів, вартості комутаційної апаратури та іншого обладнання, будівельної частини тощо, так як ці витрати впливають на різницю сумарних капітальних вкладень на спорудження цих підстанцій.

Аналіз свідчить, що з підвищенням розрахункової вартості трансформаторів на кожні 10% порівняно з їх початковою ціною граничні економічні навантаження збільшуються в сере-

дньому на (2 – 4) %. У разі збільшення вартості електроенергії граничні економічні навантаження трансформаторів, навпаки, зменшуються, причому нелінійно. Тому розрахунок цих навантажень потрібно здійснювати для конкретних умов з врахуванням реального співвідношення цін на спорудження підстанцій та вартості електроенергії.

Висновки

1. Потужність трансформаторів знижувальних підстанцій потрібно вибирати за їх допустимою перевантажувальною здатністю з урахуванням сезонного навантаження та перевиряти за умовою економічності.

2. Кожен трансформатор характеризується своїм економічним інтервалом навантажень, в межах якого дисконтовані витрати на його встановлення та експлуатацію будуть меншими порівняно з трансформатором більшої номінальної потужності.

3. Граничні економічні навантаження трансформаторів залежать від технічних характеристик і вартості трансформаторів, річної тривалості їх роботи, форми графіка електричних навантажень та вартості електроенергії.

4. У зв'язку зі зміною структури енергетики та відпускних цін на електроенергію для різних компаній граничні економічні навантаження трансформаторів відрізняються за величиною. Розрахунок граничних економічних навантажень трансформаторів слід здійснювати для конкретних умов з урахуванням реального співвідношення цін на спорудження підстанцій та вартості електроенергії.

5. Запропоновану методику вибору потужності трансформаторів з урахуванням умови економічності можна використовувати також під час реконструкції підстанцій, зокрема у випадку заміни недовантажених трансформаторів на трансформатори меншої потужності.

Література

1 Блок В. М. Электрические сети и системы [Текст] / В. М. Блок. – М.: Высшая школа, 1986. – 432 с.

2 Справочник по проектированию электрооборудования [Текст] / Ю. Г. Барыбин, Л. Е. Федоров, М. Г. Зименков и др.] ; под общ. ред. Ю. Г. Барыбина, Л. Е. Федорова, М. Г. Зименкова, А. Г. Смирнова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

3 Быстрицкий Г. Ф. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов: учеб. пособие для вузов [Текст] / Г. Ф. Быстрицкий, Б. И. Кудрин. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 176 с.

4 ДСТУ 3463-96 Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів.

5 ДСТУ 2767-94 Керівництво з навантаження силових сухих трансформаторів.

6 Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування: навчальний посібник [Текст] / В. Г. Рудницький. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2006. – 153 с.

7 Технічна експлуатація електричних станцій і мереж [Текст] / Міністерство палива та енергетики України. – К.: Об'єднання енергетичних підприємств «Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики», 2003. – 598 с.

8 Романюк Ю. Ф. Електричні системи та мережі: навч. посібник [Текст] / Ю. Ф. Романюк. – К.: Знання, 2007. – 292 с.

9 Суходоля О. М. Економічна оцінка ефективності інноваційних проектів (енергозберігаючих заходів) // Електропанорама. – 2002. – №5. – С. 37-40.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
12.05.15*

*Рекомендована до друку
професором **Костишиним В.С.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором **Николайчуком Я.М.**
(Тернопільський національний економічний
університет, м. Тернопіль)*