

# ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ВЕЛИЧИНИ ВСТАНОВЛЕНОЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ПІДСТАНЦІЇ

**Моссаковський В.І., аспірант**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем*

**Вступ.** Переважаючою за кількістю є трансформаторні підстанції низької напруги, які в свою чергу є однострансформаторними, з чого випливають підвищені вимоги до якісних показників експлуатації і надійності роботи силових трансформаторів. Силові трансформатори на підстанціях електричних систем та мереж є найбільш відповідальним та найбільш вартісним одиницями. Режими навантаження силових трансформаторів на підстанціях мають бути технічно обґрунтованими з точки зору допустимих температур та термічного зношення. В процесі експлуатації електричних мереж можуть мати місце певні збурення, як то швидкий накид навантаження на шини споживачів, наслідком чого може бути перевищення поточної потужності над номінальною на понад 50%. Для вже існуючої підстанції виникає необхідність оновлення трансформаторного парку, а для підстанції що проектується, необхідно підібрати таку величину встановленої потужності, аби ефективно використовувати кожен кВА. Таким чином постає експлуатаційна задача визначення оптимальної величини встановленої трансформаторної потужності на підстанції електричної мережі.

**Мета роботи:** визначення оптимальної величини встановленої трансформаторної потужності на підстанції, здійснення підбору отриманої потужності із наявної номенклатури та визначення економічних показників обраних до встановлення трансформаторів.

**Матеріали досліджень.** Використаємо графік з [1] в якості графіку навантаження деякої підстанції напругою 10/0,4 кВ, рис. 1., та здійснимо розрахунок оптимальної встановленої трансформаторної потужності. Представлений добовий графік навантаження має наступні показники:

- кількість переданої/споживаної активної енергії:  $A=2947,6$  кВт·год,
- кількість годин використання максимуму навантаження:  $T_{\max}=16,47$  год,
- час максимальних втрат:  $\tau=11,57$  год,
- мінімальна потужність (базис):  $P_{\min}=83$  кВт,
- середня потужність (напівпік):  $P_{\text{ср}}=122,81$  кВт,
- максимальна потужність (пік):  $P_{\max}=179$  кВт
- коефіцієнт нерівномірності:  $\alpha=0,46$  в.о.,
- коефіцієнт щільності:  $\beta=0,69$  в.о.

Для набору оптимальної встановленої трансформаторної потужності під зазначений графік використовуватиметься наступна номенклатура: 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160 і 250 кВА [2-4]. Існують певні обмеження, які потрібно врахувати при здійсненні набору потужності:

1. мінімальне значення встановленої трансформаторної потужності не може бути меншим за  $P_{\text{ср}}$ , тобто  $S_{\text{вст}} \geq 123$  кВА;

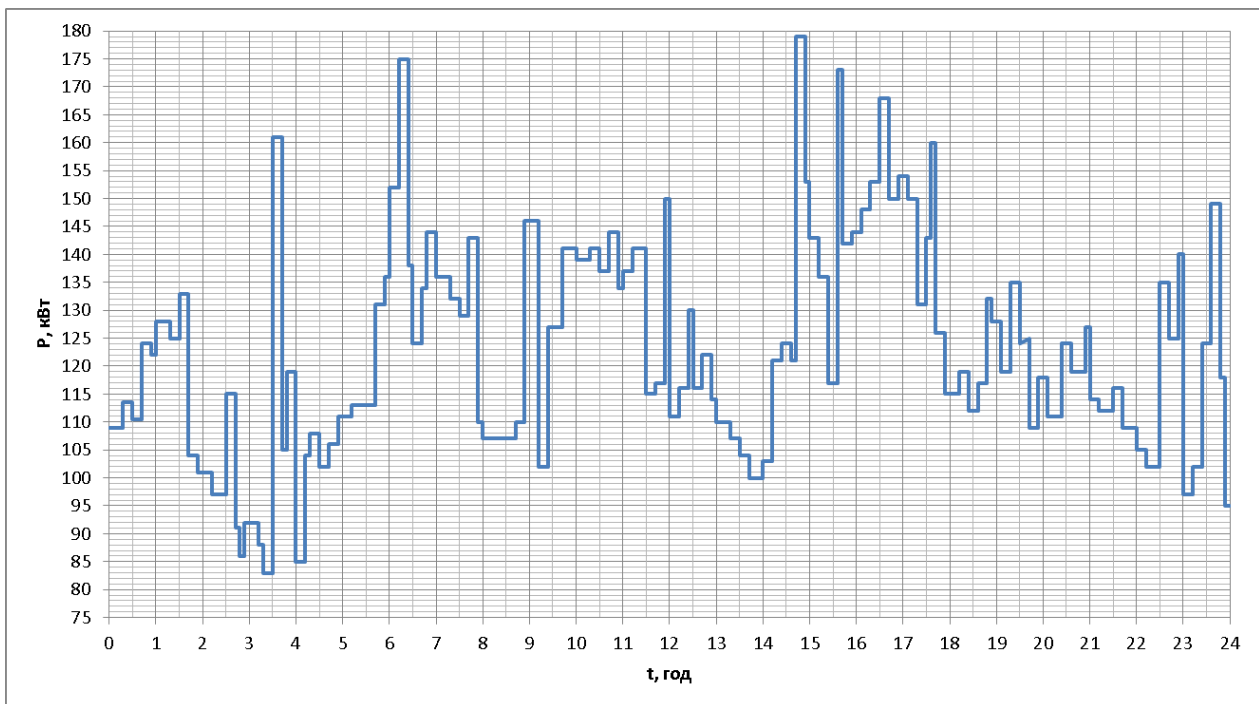


Рисунок 1 – Вихідний добовий графік навантаження

2. встановлена потужність має бути меншою за  $P_{\max}$ , щоб мало місце короточасне перевантаження. Тобто  $P_{\max}/S_{\text{вст}} > 1$ ;
3. для паралельно працюючих трансформаторів головною умовою є рівність напруг короткого замикання, номінальна потужність таких трансформаторів не повинна відрізнятися більше, ніж в три рази [5]. Приймаємо, що напруги короткого замикання для паралельно працюючих трансформаторів співпадають

З урахуванням вище зазначеного, дослідження включатиме величини  $2 \times \text{ТМ-63/10}$  або  $S_{\text{вст}}=126$  кВА, далі  $S_{\text{вст}}=130$  кВА, потім  $S_{\text{вст}}=140$  кВА,  $S_{\text{вст}}=150$  кВА,  $S_{\text{вст}}=160$  кВА та  $S_{\text{вст}}=170$  кВА.

Згідно з методикою, представленою в [6], для визначення оптимальної величини  $S_{\text{вст}}$  необхідно вихідний графік навантаження перетворити на еквівалентний двоступеневий, де виділяються:

- коефіцієнт завантаження  $K_1$ , для якого має виконуватися умова  $K_1 < 1$ ,
- коефіцієнт завантаження  $K_2$ , максимум навантаження, для якого має виконуватися умова  $K_2 > 1$ ,
- тривалість максимуму навантаження  $K_2$ , t, год.

Визначення оптимальної величини  $S_{\text{вст}}$  відбуватиметься за процедурою: використовуючи в [6 стор. 28] ілюстрацію з допустимою величиною навантаження, що відповідає нормальному тепловому зношенню, наносяться  $K_1$  та  $K_2$ , вертикаль та горизонталь яких мають перетнутися на часі t. Якщо перетин відбудеться в іншій точці, вище або нижче часу t, то це свідчатиме про дефіцит або профіцит  $S_{\text{вст}}$ .

Ілюстративний матеріал буде наведено для температури оточуючого середовища  $\theta_a=20^\circ\text{C}$ , оскільки це типова величина, вказана в стандартах по навантаженню силових трансформаторів.

Для двох паралельно працюючих ТМ-63/10, що відповідає  $S_{вст}=126$  кВА, отримано наступні показники еквівалентного двоступеневого графіку навантаження:  $K_1=0,76$  в.о.,  $K_2=1,42$  в.о.,  $t=7,1$  год. Після нанесення цих величин на графік, рис.2 а), видно, що впродовж  $t=7,1$  год трансформатор може працювати з перевантаженням лише  $K_2=1,17$  в.о., для необхідного  $K_2=1,42$  в.о., тривалість має бути не більше 2,5 год. Таким чином має місце дефіцит потужності для  $S_{вст}=126$  кВА.

Для  $S_{вст}=130$  кВА:  $K_1=0,78$  в.о.,  $K_2=1,38$  в.о.,  $t=6,3$  год. Графік, рис.2 б), вказує, що впродовж  $t=6,3$  год трансформатор може працювати з перевантаженням лише  $K_2=1,2$  в.о., для необхідного  $K_2=1,38$  в.о., тривалість має бути не більше 2,83 год. Таким чином має місце дефіцит потужності для  $S_{вст}=130$  кВА.

Для  $S_{вст}=140$  кВА:  $K_1=0,79$  в.о.,  $K_2=1,28$  в.о.,  $t=4,2$  год. Графік, рис.2 в), вказує, що впродовж  $t=4,2$  год трансформатор може працювати з перевантаженням  $K_2=1,26$  в.о., для необхідного  $K_2=1,28$  в.о., тривалість має бути 3,8 год. Таким чином спостерігається певна відповідність  $S_{вст}=140$  кВА оптимальній величині. За фактом, оптимальна величина  $S_{вст}=141$  кВА.

Для  $S_{вст}=150$  кВА:  $K_1=0,79$  в.о.,  $K_2=1,19$  в.о.,  $t=1,5$  год. Графік, рис.2 г), вказує, що впродовж  $t=1,5$  год трансформатор може працювати з перевантаженням  $K_2=1,55$  в.о., а для  $K_2=1,19$  в.о. тривалість роботи може бути збільшена до 6,5 год. Таким чином має місце профіцит потужності для  $S_{вст}=150$  кВА.

Для  $S_{вст}=160$  кВА:  $K_1=0,75$  в.о.,  $K_2=1,12$  в.о.,  $t=0,9$  год. Графік, рис.2 д), вказує, що впродовж 0,9 год трансформатор може працювати з  $K_2=1,73$  в.о., а для  $K_2=1,12$  в.о. тривалість роботи може бути збільшена до 10,2 год. Таким чином має місце профіцит потужності для  $S_{вст}=160$  кВА.

Зростаючий профіцит трансформаторної потужності свідчить про недоцільність розгляду  $S_{вст}=170$  кВА.

На рис. 2 а-в заштрихована область відповідає за дефіцит потужності, на рис. 2 г-д – за профіцит, невикористану потужність.

З використанням представленої в [7] методики буде обчислено економічні показники  $S_{вст}$ , необхідної для роботи за представленим графіком навантаження. Обчислення проводитимуться для  $2 \times$ ТМ-63, ТМ-40+ТМ-100 та для ТМ-160, що відповідає  $S_{вст}=126$  кВА,  $S_{вст}=140$  кВА та  $S_{вст}=160$  кВА. Величина  $S_{вст}=130$  кВА по-перше, близька до  $S_{вст}=126$  кВА, по-друге, її просто неможливо набрати. Також неможливо набрати  $S_{вст}=150$  кВА.

За інформацією з [2], вартісні показники силових трансформаторів наступні: ТМ-40/10 – 34500 грн, ТМ-63/10 – 40000 грн, ТМ-100/10 – 47500 грн, ТМ-160/10 – 64000 грн.

За інформацією з [7], частка експлуатаційних видатків становить  $He=2,4\%$ , амортизація  $A=3,6\%$ , податок на прибуток  $H_{пр}=30\%$ . Тариф прийнято  $C_{вх}=1,68$  грн/(кВт·год).

Два паралельно працюючих ТМ-63/10 розподіляють між собою задане навантаження порівну, рис. 3. Паралельно працюючі ТМ-40 та ТМ-100 розподіляють між собою задане навантаження пропорційно своїй номінальній

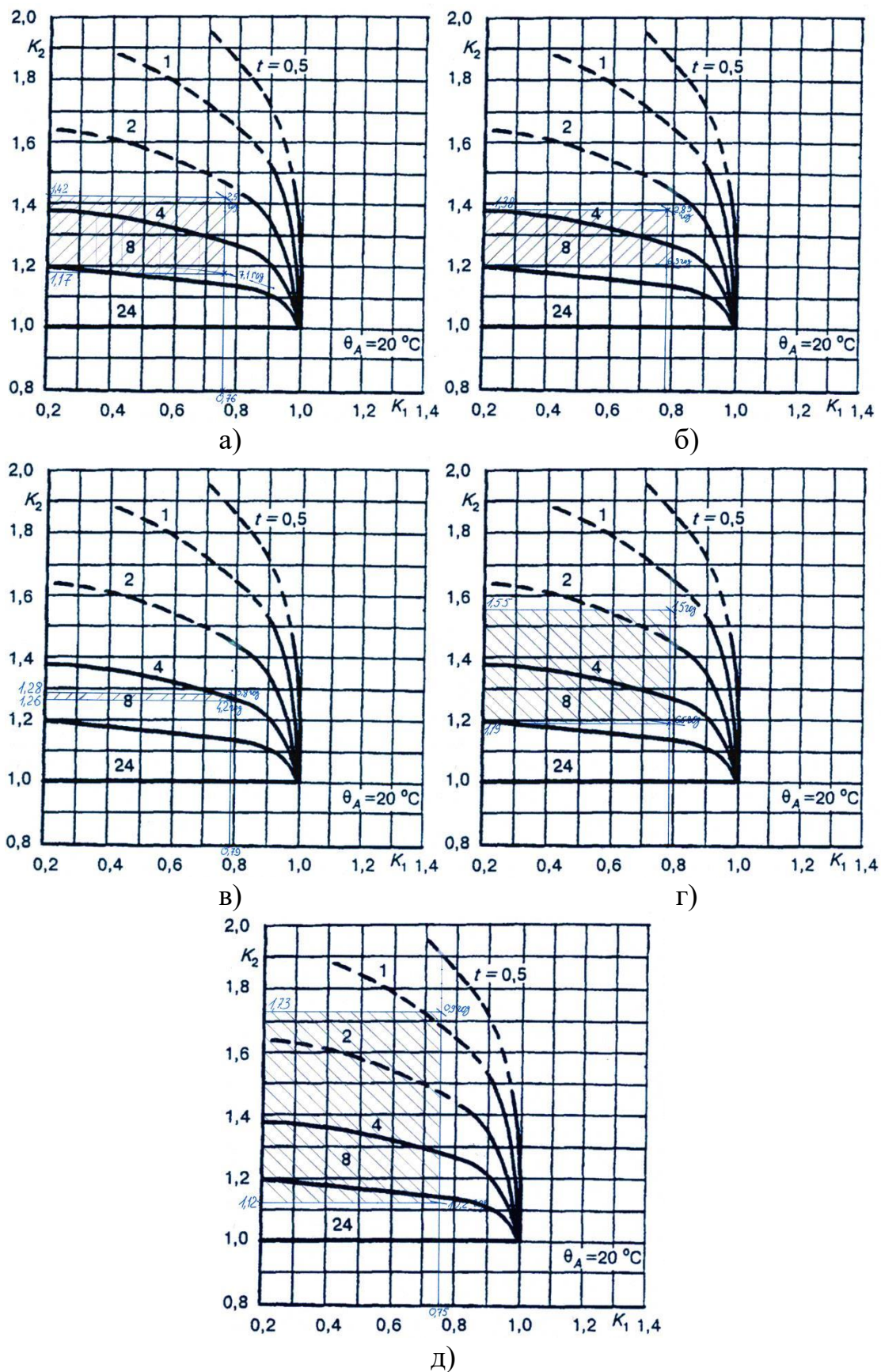


Рисунок 2 – Визначення оптимальної величини встановленої трансформаторної потужності. а –  $S_{VST} = 126$  кВА, б –  $S_{VST} = 130$  кВА, в –  $S_{VST} = 140$  кВА, Г –  $S_{VST} = 150$  кВА, д –  $S_{VST} = 160$  кВА.

потужності, рис. 4. Трансформатор ТМ-160 повністю несе на собі все навантаження згідно з графіком.

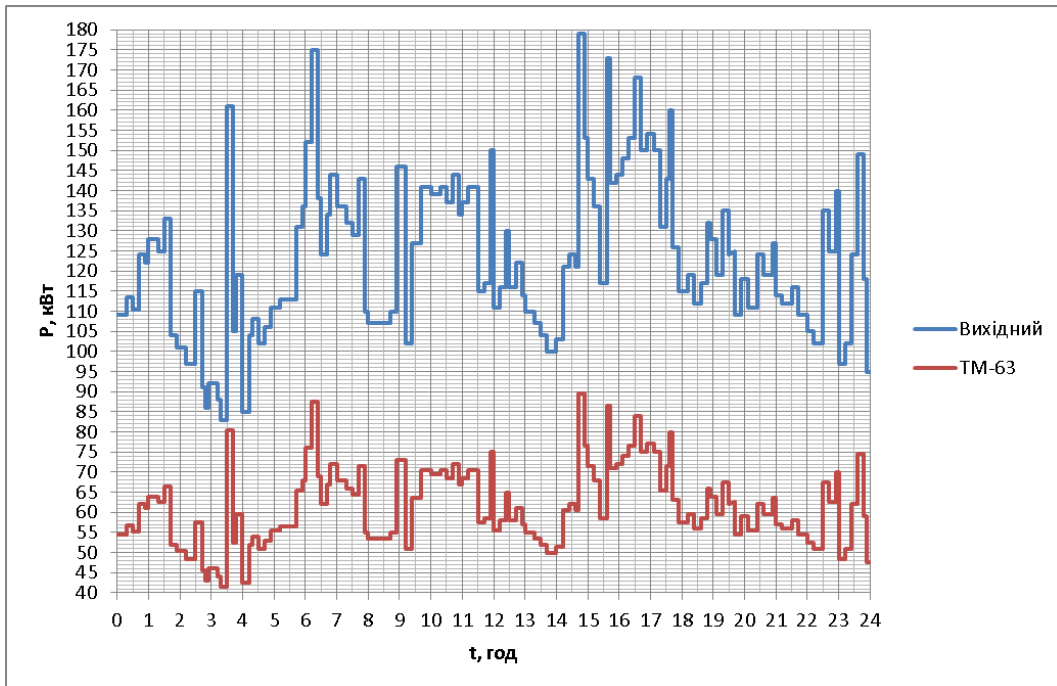


Рисунок 3 – Навантаження паралельно працюючих ТМ-63/10

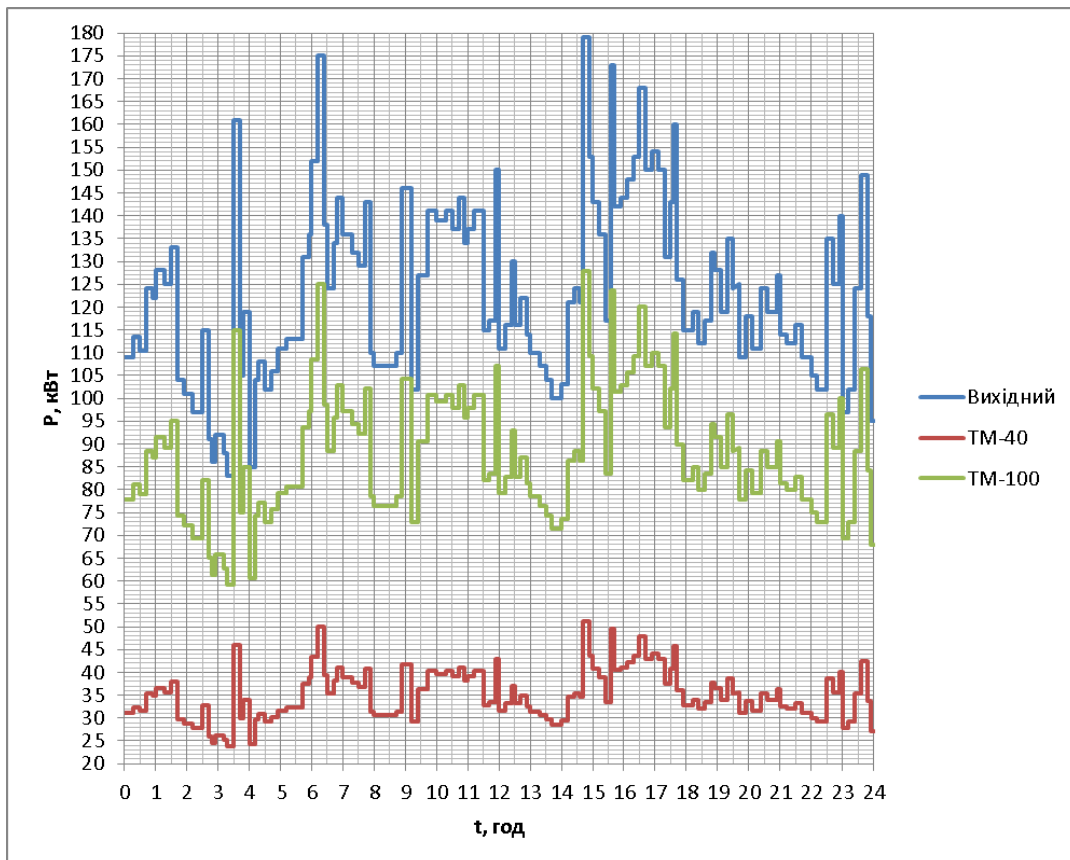


Рисунок 4 – Розподіл навантаження між ТМ-40 та ТМ-100



В трансформаторах, що працюють за графіком навантаження, мають місце втрати активної енергії, розрахункові значення яких представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку втрат активної енергії

Втрати енергії в трансформаторах	2×ТМ-63, кВт	ТМ-40+ТМ-100		ТМ-160, кВт
		ТМ-40, кВт	ТМ-100, кВт	
$\Delta A_{\text{пост}}$	9,6	3,6	7,92	12,24
		11,52		
$\Delta A_{\text{зм}}$	60,7	16,64	37,26	38,37
		53,9		
$\Delta A_{\Sigma}$	70,3	20,24	45,18	50,61
		65,42		

Порівнюючи отримані значення втрат активної енергії, виходячи з мінімального значення, потрібно приймати ТМ-160. Співвідношення величини втрат  $2 \times \text{ТМ-63} > (\text{ТМ-40} + \text{ТМ-100}) > \text{ТМ-160}$ .

Економічними показниками слугуватимуть: дохід, видатки на обслуговування та ремонт, видатки на амортизацію, компенсація втрат активної енергії, прибуток, чистий прибуток (з урахуванням податку) та функція сумарних дисконтованих затрат. Результати розрахунку наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Економічні показники

	2xТМ-63, грн	ТМ-40+ТМ-100, грн		ТМ-160, грн
		ТМ-40, грн	ТМ-100, грн	
Дохід	1807468,3	516418,6	1291049,7	1807468,3
		1807468,3		
Видатки на обслуговування та ремонт	1920,0	828	1140	1536,0
		1968		
Видатки на амортизацію	2880,0	1242	1710	2304,0
		2952		
Видатки на компенсацію втрат активної енергії	41636,3	11859,3	26490,24	29157,7
		38349,5		
Прибуток	1761032,0	502489,4	1261709,4	1774470,7
		1764198,8		
Чистий прибуток	1232722,4	351742,5	883196,61	1242129,5
		1234939,2		
Функція сумарних дисконтованих затрат	515562,8	161372,9	323802,4	370936,6
		485175,3		

За результатами отриманих економічних показників, а саме найбільшим значенням чистого прибутку та найменшим значенням функції сумарних дисконтованих затрат, для роботи під заданим графіком навантаження потрібно приймати ТМ-160. Співвідношення чистого прибутку  $\text{ТМ-160} > (\text{ТМ-40} + \text{ТМ-100})$ .

100)>2xTM-63. Співвідношення функції сумарних дисконтованих затрат TM-160<(TM-40+TM-100)<2xTM-63.

**Висновки.** Функція оптимального значення характеризується неперервністю та плавністю, натомість шукані параметри можуть характеризуватися великою дискретністю. Через це досягнути екстремуму може бути неможливо. Оптимальна, виходячи зі значення, величина може не бути такою по іншим критеріям. Так  $S_{вст}=140$  кВА є оптимальною, виходячи з повного використання обсягу цієї потужності, проте не є оптимальною виходячи з величини втрат активної енергії, чистого прибутку та дисконтованих затрат.

$S_{вст}=160$  кВА прийнята доцільною тому, що це потужність одного трансформатора TM-160. Мінімальна  $S_{вст}$ , виходячи з графіку навантаження, та оптимальна  $S_{вст}=140$  кВА представлена двома паралельно працюючими трансформаторами. Два і більше паралельно працюючих силових трансформатори характеризуватимуться відносно більшими значеннями втрат активної енергії, капітальних вкладень та необхідних видатків.

Можна здійснити спробу зібрати  $S_{вст}=130$  кВА та  $S_{вст}=150$  кВА, проте це означає, по-перше, як мінімум три паралельно працюючих трансформатори, по-друге, порушення вище вказаного обмеження щодо співвідношення між потужностями трансформаторів в такому блоці.

В даній роботі не розглядалося питання штрафу за недовідпущену енергію у випадку відмови у роботі трансформатора на підстанції.

#### Перелік посилань

1. Лейкин В. С. Судовые электрические станции и сети: Учебник для мореходных и арктических училищ. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Транспорт, 1982.
2. Трансформатори оливні трифазні двохобмоткові. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://eliz.zp.ua/catalog-eliz/transformators-power/oil-immersed-power-transformers/6-10-kv/56-6-10kv-transformatory-maslyanye-trehfaznye-dvuhobmotochnye-silovye-tipa-tm.html>;
3. Трансформатори ТМ (10),(6)/(0,4). Електронний ресурс. Режим доступу: <http://atrans.in.ua/transformatoryi-tm-106-04-novyie/c1>;
4. Трансформатори оливні силові. Електронний ресурс. Режим доступу: [http://energotransbud.com.ua/index.php?option=com\\_content&task=view&id=103&Itemid=127](http://energotransbud.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=103&Itemid=127);
5. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л., «Энергия», 1974. 840 с. с ил.;
6. ГОСТ 14209-97. Керівництво з навантаження силових оливних трансформаторів;
7. Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергосистему та електричні мережі. Затверджено Міненерго України наказом №1ПС від 23.02.95.