

НОРМУВАННЯ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ВЛАСНІ ПОТРЕБИ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

Запропоновано методи визначення норм витрат електроенергії на власні потреби тягових підстанцій постійного струму.

Предложены методы определения норм затрат электроэнергии на собственные нужды тяговых подстанций постоянного тока.

The methods of determination of electric energy consumption norms that can be used for forecasting the own needs of DC traction substations are offered in the paper.

Сучасний залізничний транспорт – це високотехнологічний механізм із значним споживанням енергоресурсів для забезпечення своєї господарської діяльності. Щорічно залізницями України споживається значна кількість дизпалива, електроенергії, газу, вугілля, мазуту топкового та інших видів паливно-енергетичних ресурсів. За сучасних умов, що передбачають поступове, але невпинне зростання дефіциту енергоресурсів, безперечно необхідно проводити реформування залізничного транспорту в цілому та галузі електроенергетики транспорту як найбільш перспективної з точки зору остаточної переорієнтації на неї транспорту.

Реформування транспорту неможливе без зміни енергетичної політики транспорту як невід'ємної частини енергетики України. З огляду на останні тенденції ринку електроенергії, основою енергетичної політики транспорту на найближчий період є перехід з енергомарнетного на енергозберігаючий шлях розвитку у всіх сферах енергоспоживання.

З метою зниження споживання паливно-енергетичних ресурсів та реалізації державної політики з енергозбереження на залізничному транспорті в червні 1996 р. фахівцями Укрзалізниці спільно з Харківською державною академією і Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту була розроблена та схвалена Техніко-економічною радою Укрзалізниці «Програма енергозбереження на залізничному транспорті України на період 1996-2010 рр.».

Починаючи з цього часу, робота з енергозбереження та ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів на Укрзалізниці перейшла в якісно іншу фазу. Щорічно розробляється та реалізується Програма енергозбереження та організаційно-технічні заходи з

економії паливно-енергетичних ресурсів. Річні обсяги економії споживання енергоресурсів від реалізації цих програм складають 1.5–3.4 % від загального споживання.

Є багато шляхів енергозбереження, а нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів (далі – ПЕР) є одним з них. Нормуванню підлягають всі витрати ПЕР на основні та допоміжні виробничі процеси, включаючи неминучі втрати енергії, незалежно від обсягів споживання цих ресурсів та джерел енергопостачання.

Нормування є дуже специфічним процесом, який має багато особливостей. На даному етапі реформування галузі у спеціалістів, професійна діяльність яких тим чи іншим чином пов'язана з нормуванням витрат ПЕР, виникає ще багато питань при розрахунках. Це викликано недосконалістю нормативно-технічної документації, наявністю так званих «білих плям» у різноманітних методичних вказівках по нормуванню витрат ПЕР. Метою даної статті є вирішення деяких питань, що виникають при проведенні робіт з нормування електроенергії на власні потреби тягових підстанцій.

Фактичні (звітні) втрати електроенергії визначають як різниця електроенергії, що надійшла в мережу, і електроенергії, відпущеної з мережі споживачам. Ці втрати містять у собі складові різної природи: втрати в елементах мережі, що мають чисто фізичний характер, витрата електроенергії на роботу устаткування, встановленого на підстанціях й забезпечуючого передачу електроенергії, погрішності фіксації електроенергії приладами її обліку й, нарешті, розкрадання електроенергії, несплату або неповну оплату показань лічильників і т.п.

Поділ витрат на складові може проводитися за різними критеріями: характеру витрат (по-

стійні, змінні), класам напруги, групам елементів, виробничим підрозділам і т.д. Для цілей нормування втрат доцільно використовувати укрупнену структуру втрат електроенергії, у

якої втрати розділені на складові, виходячи з їхньої фізичної природи й специфіки методів визначення їхніх кількісних значень (рис. 1).



Рис.1. Детальна структура звітних втрат електроенергії

Виходячи із цього критерію, фактичні втрати можуть бути розділені на чотири складові:

1) технічні втрати електроенергії, обумовлені фізичними процесами, що відбуваються при передачі електроенергії по електричних мере-

жах, що виражаються в перетворенні частини електроенергії в тепло в елементах мереж. Технічні втрати не можуть бути вимірні. Їх значення отримують розрахунковим шляхом на основі відомих законів електротехніки;

2) витрата електроенергії на власні потреби підстанцій, які необхідні для забезпечення роботи технологічного устаткування підстанцій і життєдіяльності обслуговуючого персоналу. Витрата електроенергії на власні потреби підстанцій реєструється лічильниками, установленими на трансформаторах власних потреб;

3) втрати електроенергії, обумовлені інструментальними похибками її виміру (інструментальні втрати). Ці втрати одержують розрахунковим шляхом на основі даних про метрологічні характеристики й режими роботи використовуваних приладів;

4) комерційні втрати, обумовлені розкраданнями електроенергії, невідповідністю показань лічильників оплаті за електроенергію побутовими споживачами й іншими причинами в сфері організації контролю за споживанням енергії. Комерційні втрати не мають самостійного математичного опису і, як наслідок, не можуть бути розраховані автономно. Їхнє значення визначають як різницю між фактичними (звітними) втратами й сумою перших трьох складових. Три перші складові укрупненої структури втрат обумовлені технологічними потребами процесу передачі електроенергії по мережах й інструментальному обліку її надходження й відпуску. Сума цих складових добре описується терміном технологічні втрати. Четверта складова – комерційні втрати – являє собою вплив «людського фактора» і містить у собі всі його прояви: свідомі розкрадання електроенергії деякими абонентами за допомогою зміни показань лічильників, споживання енергії повз лічильники, несплату або неповну оплату показань лічильників, визначення надходження й відпуску електроенергії по деяких точках обліку розрахунковим шляхом (при розбіжності границь балансової приналежності мереж і місць установки приладів обліку) і т.п.

Технічні втрати можна розділити на елементні складові, витрата електроенергії на власні потреби підстанцій містить у собі 23 типи електроприймачів, похибки обліку включають складові, обумовлені вимірювальними трансформаторами струму, напруги й електричними лічильниками, комерційні втрати також можуть бути розділені на численні складові, що відрізняються причинами їхнього виникнення.

Можна побачити, що витрата електроенергії на власні потреби підстанцій обліковується у звітності в складі технічних втрат, а втрати, обумовлені похибками системи обліку електроенергії, – у складі комерційних втрат. Це є не доліком існуючої системи звітності, тому що не

забезпечує ясного уявлення про структуру втрат і доцільних напрямків робіт з їхнього зниження.

Критерії віднесення частини електроенергії до втрат можуть бути фізичного й економічного характеру. Деякі фахівці вважають, що втрати електроенергії на власні потреби підстанцій треба відносити до корисної відпустки, а інші складові – до втрат. Витрата на власні потреби підстанцій по характеру використання електроенергії дійсно нічим не відрізняється від її використання споживачами. Однак це не є підставою вважати її корисною відпусткою, під якою розуміють електроенергію, відпущену споживачам, а витрата електроенергії на власні потреби підстанцій є внутрішнім споживанням об'єкта. Крім того, при такому обґрунтуванні як аксіома передбачається, що витрата частини енергії в елементах мереж на доставку іншої її частини споживачам, на відміну від витрати на власні потреби підстанцій, не є корисною.

Суму технічних втрат, витрати електроенергії на власні потреби підстанцій і комерційних втрат (розкрадань) можна назвати фізичними втратами електроенергії. Ці складові дійсно пов'язані з фізикою розподілу енергії по мережі. При цьому перші дві складові фізичних втрат відносяться до технології передачі електроенергії по мережах, а третя – до технології контролю кількості переданої електроенергії.

До сих пір немає нормативного документу, який би нормував витрати електроенергії на власні потреби тягових підстанцій постійного струму Укрзалізниці. При проведенні розрахунків з визначення норми витрат електроенергії тягових підстанцій постійного струму використовували [1]. Крім деяких неузгоджень з умовами та схемами роботи тягових підстанцій залізничного транспорту (більша кількість споживачів власних потреб на тягових підстанціях у порівнянні з типовими підстанціями енергосистеми), в [1] повністю відсутній розділ для тягових підстанцій постійного струму. В залежності від проекту тягової підстанції до витрат на власні потреби додаються:

1. витрати електроенергії на вентиляцію напівпровідникового перетворюючого агрегату;
2. витрати електроенергії на обігрів РП-3,3 кВ;
3. витрати електроенергії на обігрів РП-10 кВ закритого типу.

Усі ці додаткові витрати, за думкою авторів, треба розраховувати наступними методами. Витрати електроенергії на вентиляцію напів-

провідникового агрегату – за методом встановленої потужності та коефіцієнта використання:

$$W_{\text{вент}} = P_{\text{вент}} \cdot k_{\text{в}}, \quad (1)$$

де:

$W_{\text{вент}}$ - витрати електроенергії на вентиляцію, кВт·год;

$P_{\text{вент}}$ - встановлена потужність електродвигунів вентиляції агрегату, кВт;

$k_{\text{в}}$ - коефіцієнт використання встановленої потужності, у даному випадку дорівнює 1, тому що двигуни вентиляції працюють цілодобово на протязі року на повну потужність.

Витрати електроенергії на обігрів приміщень РП-10 та 6 кВ треба розраховувати залежно від площі приміщення з урахуванням норм питомих витрат на обігрів приміщення ЗРП:

$$W_0 = A_{\text{пит2}} \cdot F, \quad (2)$$

де:

W_0 – витрати електроенергії на обігрів приміщень, кВт·год;

$A_{\text{пит2}}$ – норма питомих витрат на обігрів ЗРП, тис.кВт·год/м² за рік;

F – площа приміщень ЗРП.

Для прикладу проведемо розрахунок витрат електроенергії на власні потреби для реальної тягової підстанції Зелений Клин-110 Краснолиманської дистанції електропостачання Донецької залізниці згідно [1].

Обчислення нормативних витрат електроенергії на власні потреби тягової підстанції Зелений Клин-110 кВ Краснолиманської дистанції електропостачання Донецької залізниці

На тяговій підстанції Зелений Клин-110/35/10 кВ встановлено таке устаткування:

- трансформатори: типу ТДТН-40000-110/35/10 – 2 шт., типу ТМРУ-16000 – 2 шт.;

- вимикачі: типу МКП-110 – 3 шт., типу МКП-35 – 4 шт.;

- роз'єднувачі 110 кВ типу РЛНД3-110 – 10 шт.;

- відділювачі 110 кВ – 2 шт., короткозамки 110 кВ – 2 шт.;

- трансформатори власних потреб типу ТМ-320/10 – 1 шт., ТМ-250/10 – 1 шт.;

- розміри ОПК – 170 м² (площа виробничих та побутових приміщень будівлі двоповерхової тягової підстанції, де підтримується температура повітря +18...+21 °С), складаються з наступних складових:

– площа щитового приміщення – 78 м²;

– площа кабінету начальника підстанції – 7 м²;

– площа кімнати для харчування – 2.5 м²;

– приміщення для прання спецодягу – 10 м²;

– майстерня – 6 м²;

– приміщення для проведення занять та планування робіт – 15 м²;

– приміщення акумуляторної батареї – 22.5 м²;

– приміщення роздягальні та душової кімнати – 29 м²;

- площа ЗРП – 270 м², яка складається з площі РП-3,3 кВ – 175 м² та площі ЗРП-10 кВ – 95 м²;

- оперативний струм – постійний. Відповідно до розділу 7 [1] обчислюють складові значень нормативних витрат електроенергії на власні потреби підстанції:

Значення складових норм загальнопідстанційних витрат електроенергії приймають згідно з табл. А.1 додатку А:

- на обігрів, вентиляцію і освітлення приміщень ОПК:

$A_{\text{пит1}} \cdot F = 0.143 \cdot 170 = 24.31$ тис. кВт·год за рік;

- на зовнішнє освітлення – 3.0 тис. кВт·год за рік;

- інші витрати – 2.3 тис. кВт·год за рік.

Результати обчислення значень електроенергії $A_{\text{ЗП}}$ на місяці розрахункового періоду згідно з пунктом 7.1.2 цієї Інструкції подані у табл. 1.

Складові значень нормативних витрат електроенергії на охолодження трансформаторів типу ТДТН-40000-110/35/10 за рік обчислюють за формулами (2) і (1) [1], відповідно:

- трансформаторів з системою охолодження Д:

$A_{\text{Д}} = (7 \cdot 2 + 0.28 \cdot 2 \cdot 40) = 36.4$ тис. кВт·год за рік.

Результати обчислення значень нормативних витрат електроенергії на охолодження трансформаторів підстанції на

місяці розрахункового періоду подані у таблиці 2.

Таблиця 1

Нормативні значення загальнопідстанційних витрат електроенергії на місяці розрахункового періоду

Назва розрахункового періоду	Значення складових нормативних загальнопідстанційних витрат електроенергії, тис. кВт·год				Значення нормативних загальнопідстанційних витрат електроенергії, тис. кВт·год
	На обігрів, вентиляцію, освітлення приміщень ОПК	На обігрів ЗРП	На зовнішнє освітлення	Інші витрати електроенергії	
Січень	4.6189	1.026	0.36	0.196	6.2009
Лютий	4.18132	0.9288	0.33	0.177	5.61712
Березень	4.6189	1.026	0.3	0.196	6.1409
Квітень	0.89947	0.1998	0.21	0.189	1.49827
Травень	0	0	0.15	0.196	0.346
Червень	0	0	0.15	0.189	0.339
Липень	0	0	0.15	0.196	0.346
Серпень	0	0	0.15	0.196	0.346
Вересень	0	0	0.18	0.189	0.369
Жовтень	0.89947	0.1998	0.3	0.196	1.59527
Листопад	4.47304	0.9936	0.36	0.189	6.01564
Грудень	4.6189	1.026	0.36	0.196	6.2009
Рік	24.31	5.4	3	2.305	35.015

Таблиця 2

Значення нормативних витрат електроенергії на охолодження трансформаторів підстанції на місяці розрахункового періоду

Назва розрахункового періоду	Значення нормативних витрат електроенергії на охолодження трансформаторів, тис. кВт·год
Січень	3.094
Лютий	2.8028
Березень	3.094
Квітень	2.9848
Травень	3.094
Червень	2.9848
Липень	3.094
Серпень	3.094
Вересень	2.9848
Жовтень	3.094
Листопад	2.9848
Грудень	3.094
Рік	36.4

Складові значень нормативних витрат електроенергії на обігрів устаткування обчислюють за підрозділом 7.4 [1]:

- вимикачів 110 кВ дорівнює добутку норми витрат електроенергії за табл. А.2 додатку А на кількість вимикачів (3 шт.):

$$5.66 \cdot 3 = 16.98 \text{ тис. кВт·год за рік;}$$

- вимикачів 35 кВ дорівнює добутку норми витрат електроенергії за табл. А.2 додатку А на кількість вимикачів (4 шт.);

$$0.02 \cdot 4 = 0.08 \text{ тис. кВт·год за рік;}$$

- обігрів приводів відділювачів і короткозамикачів (4 шт.) прийнято згідно з нормою за пунктом 7.4.4 [1]:

$$4 \cdot 1.1 = 4.4 \text{ тис. кВт·год за рік.}$$

Результати обчислення значень нормативних витрат електроенергії на обігрів устаткування A_0 на місяці розрахункового періоду згідно з пунктом 7.4.7 [1] подані у табл. 3.

Значення складових норм витрат електроенергії на системи керування підстанцією приймають згідно з табл. А.6 додатку А:

Таблиця 3

Значення нормативних витрат електроенергії на обігрів устаткування на місяці розрахункового періоду

Назва розрахункового періоду	Значення нормативних витрат електроенергії на обігрів устаткування, тис. кВт·год
Січень	5.49376
Лютий	4.9358
Березень	0.2146
Квітень	0
Травень	0
Червень	0
Липень	0
Серпень	0
Вересень	0
Жовтень	0.17168
Листопад	5.1504
Грудень	5.49376
Рік	21.46

- на зарядно-підзарядні пристрої – 16.5 тис. кВт·год за рік;

- на вентиляцію приміщення акумуляторної – 8.4 тис. кВт·год за рік;

- на апаратуру зв'язку і телемеханіки – 8.7 тис. кВт·год за рік.

Результати обчислення значень нормативних витрат електроенергії на системи керування підстанцією $A_{\text{КЕР}}$ на місяці розрахункового періоду згідно з пунктом 7.7.3 цієї Інструкції подані у табл. 4.

Розрахунок втрат електроенергії в трансформаторах власних потреб за рік:

Вихідні дані для розрахунку втрат у трансформаторах власних потреб приведені в табл. 5. Припустимо, що в роботі був тільки трансформатор ТМ-320.

Втрати у ТВП обчислюються наступним чином. За формулами (9)...(11) обчислюється фактична потужність трансформатора по даним фактичного споживання активної та реактивної електроенергії за розрахунковий період.

$$P_{\Phi} = \frac{546200}{8760} = 62.35 \text{ кВт}$$

$$Q_{\Phi} = \frac{600000}{8760} = 68.49 \text{ квар}$$

Таблиця 4

Значення нормативних витрат електроенергії на системи керування підстанцією на місяці розрахункового періоду

Назва розрахункового періоду	Значення нормативних витрат електроенергії на системи керування підстанцією, тис. кВт·год
Січень	2.856
Лютий	2.5872
Березень	2.856
Квітень	2.7552
Травень	2.856
Червень	2.7552
Липень	2.856
Серпень	2.856
Вересень	2.7552
Жовтень	2.856
Листопад	2.7552
Грудень	2.856
Рік	33.6

Таблиця 5

Вихідні дані для розрахунку втрат у трансформаторах власних потреб

$S_{\text{н}}$, кВА	$P_{\text{хх}}$, кВт	$P_{\text{кз}}$, кВт	WP_{Φ} , кВт·год	WQ_{Φ} , квар·год	$T_{\text{н}}$, год	$T_{\text{р}}$, год
320	1.9	6.2	45520	50000	720	720

$$S_{\Phi} = \sqrt{62.35^2 + 68.49^2} = 92.62 \text{ кВА}$$

За формулою (12) обчислюється коефіцієнт завантаження трансформатору:

$$k_3 = \frac{92.62}{320} = 0.29$$

Втрати активної електроенергії в ТВП за рік обчислюються за формулою (13):

$$\Delta A_{\text{ТрВПС}} = 1.9 \times 8760 + 0.29^2 \times 6.2 \times 8760 = 21290 \text{ кВт·год} = 21.29 \text{ тис. кВт·год}$$

Результати обчислення втрат в ТВП на місяці розрахункового періоду наведені в табл. 6.

Таблиця 6

Значення нормативних витрат електроенергії в трансформаторі власних потреб

Назва розрахункового періоду	Значення нормативних витрат електроенергії в трансформаторі власних потреб, тис. кВт·год
Січень	1.810
Лютий	1.639
Березень	1.810
Квітень	1.746
Травень	1.810
Червень	1.746
Липень	1.810
Серпень	1.810
Вересень	1.746
Жовтень	1.810
Листопад	1.746
Грудень	1.810
Рік	21.29

Витрати на вентиляцію НПА:

Для вентиляції на тяговій підстанції Зелений Клин на кожний агрегат встановлені елект-

родвигуни потужністю 5.5 кВт. Один ПВА та його вентиляція працюють цілодобово. Таким чином, витрати на вентиляцію НПА складають:

$$5.5 \cdot 24 \cdot 364 = 48.048 \text{ тис. кВт}\cdot\text{год за рік};$$

$$48.048 / 12 = 4.004 \text{ тис. кВт}\cdot\text{год за місяць}.$$

Результати обчислення значень нормативних витрат електроенергії на власні потреби підстанції на місяці (квартали) розрахункового періоду подані у таблиці 7.

Також при визначенні витрат в трансформаторах власних потреб за методикою [2], якщо прилади обліку встановлені з низької сторони трансформаторів власних потреб, трапляються випадки, при яких помилково не враховують навантаження фідерів СЦБ. Для пояснення наведемо типову схему живлення фідерів СЦБ – рис. 2.

На рисунку, безперечно, видно, що при такій схемі обліку в розрахунок витрат в трансформаторах власних потреб необхідно включати електроенергію, спожиту споживачами СЦБ.

Після врахування цього пункту розрахунок проводять згідно [2].

Таблиця 7

Значення нормативних витрат електроенергії на власні потреби підстанції на місяці (квартали) розрахункового періоду

Назва розрахункового періоду	Значення складових нормативних витрат електроенергії на власні потреби, тис. кВт·год						Значення нормативних витрат електроенергії, тис. кВт·год
	$A_{ЗП}$	$A_{Д}$	$A_{О}$	$A_{КЕР}$	$A_{НПА}$	$\Delta A_{ГРВП\Sigma}$	$A_{ВПС}$
Січень	6.2009	3.094	5.494	2.856	4.097	1.81	23.5519
Лютий	5.61712	2.8028	4.936	2.587	3.711	1.639	21.29292
Березень	6.1409	3.094	0.215	2.856	4.097	1.81	18.2129
<i>I квартал</i>	<i>17.95892</i>	<i>8.991</i>	<i>10.644</i>	<i>8.299</i>	<i>11.905</i>	<i>5.259</i>	<i>63.05692</i>
Квітень	1.49827	2.9848	0	2.755	3.952	1.746	12.93607
Травень	0.346	3.094	0	2.856	4.097	1.81	12.203
Червень	0.339	2.9848	0	2.755	3.952	1.746	11.7768
<i>II квартал</i>	<i>2.18327</i>	<i>9.064</i>	<i>0</i>	<i>8.366</i>	<i>12.002</i>	<i>5.301</i>	<i>36.91627</i>
Липень	0.346	3.094	0	2.856	4.097	1.81	12.203
Серпень	0.346	3.094	0	2.856	4.097	1.81	12.203
Вересень	0.369	2.9848	0	2.755	3.952	1.746	11.8068
<i>III квартал</i>	<i>1.061</i>	<i>9.173</i>	<i>0</i>	<i>8.467</i>	<i>12.146</i>	<i>5.365</i>	<i>36.212</i>
Жовтень	1.59527	3.094	0.172	2.856	4.097	1.81	13.62427
Листопад	6.01564	2.9848	5.15	2.755	3.952	1.746	22.60344
Грудень	6.2009	3.094	5.494	2.856	4.097	1.81	23.5519
<i>IV квартал</i>	<i>13.81181</i>	<i>9.173</i>	<i>10.816</i>	<i>8.467</i>	<i>12.146</i>	<i>5.365</i>	<i>59.77881</i>
Рік	35.015	36.4	21.46	33.6	48.2	21.29	195.964

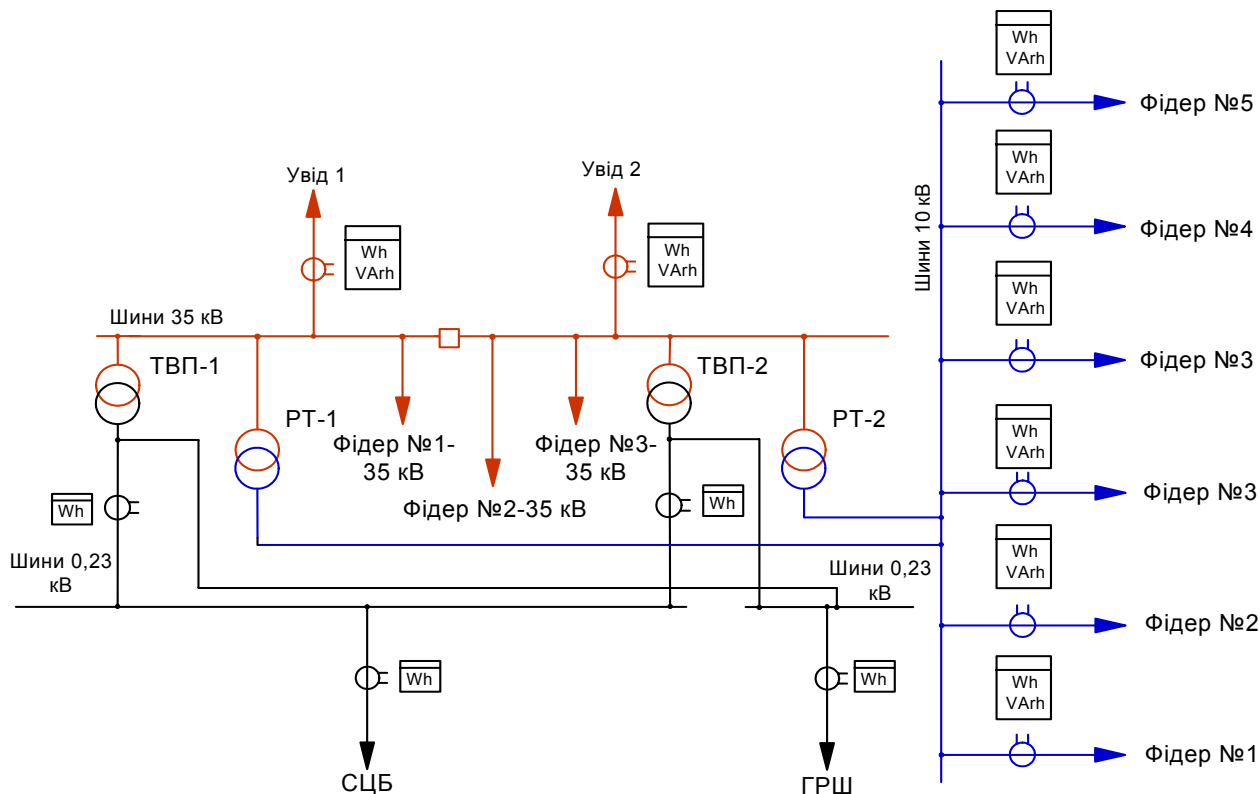


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення втрат у трансформаторах власних потреб

Висновки

1. Запропонована методика визначення витрат електроенергії на власні потреби тягових підстанцій постійного струму.
2. Доведено, що при розрахунку втрат в трансформаторах власних потреб тягових підстанцій треба враховувати електроенергію, спожиту споживачами СЦБ.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Інструкція «Нормування витрат електроенергії на власні потреби підстанцій 35-750 кВ та розподільчих пунктів 6-10 кВ». –

К.: Міністерство палива та енергетики України, 2004.

2. Методика по визначенню втрат електроенергії у трансформаторах і лініях електропередач. – К.: Міністерство енергетики України, 1998. – 40 с.
3. Железко Ю. С. и др. Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005. – 278 с.
4. <http://www.necin.gov.ua/index.htm>. Матеріали офіційного сайту Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів.

Надійшла до редколегії 21.01.2008.