

УДК 621.311.1

Ципленков Д. В.¹, Красовський П. Ю.²

¹Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри відновлюваних джерел енергії, Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, Україна, E-mail: ntu.em@ua.fm

²Асистент кафедри відновлюваних джерел енергії, Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, Україна

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ЗНИЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕМЕНТАХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Метою даної роботи є встановлення факторів, що впливають на зміну технічних втрат електроенергії, та залежності динаміки зміни технічних втрат за час експлуатації елементів систем електропостачання а також розробка класифікації заходів щодо зниження втрат електроенергії у системах електропостачання. В результаті проведеного аналізу встановлено, що зміна технічних втрат визначається постійною зміною конфігурації мереж, внаслідок їхньої реконструкції та змін умов і інтенсивності експлуатації, а також технічного стану елементів систем електропостачання за час експлуатації.

Ключові слова: системи електропостачання, втрати електроенергії, умови експлуатації елементів систем електропостачання, лінії електропостачання, економія електроенергії.

ВСТУП

Задача зниження рівня втрат електроенергії є важливою складовою частиною більш загальної задачі зменшення енергоспоживання і ефективного використання енергетичних ресурсів на основі оптимізації балансів споживання і вироблення електричної енергії. Існуючі на сьогоднішній день методи аналізу балансів в основному базуються на методі експертних оцінок, так як для цього використовується тільки невелика частина достовірної інформації – споживання енергосистеми в цілому [1], вироблення енергії електростанціями і потоки енергії по «зовнішнім» перетокам.

З початком реформування енергетики України (з середини 90-х років) створилися самостійні суб'єкти халянування. Вони в теперішній час експлуатують об'єкти енергетики, які були спроектовані і побудовані без урахування технічних вимог стосовно роботи систем обліку електроенергії в умовах функціонування енергоринку. В теперішній час майже повсюди спостерігається зріст абсолютних і відносних втрат електроенергії. За даними Мінпаливенерго технологічні витрати на транспортування електроенергії (технічні і комерційні складові втрат) в електричних мережах України складають 19,11 % загального товарного відпуску. В окремих областях України втрати електроенергії досягають 30 %.

Комплекс заходів щодо зниження втрат може бути розділений на три групи :

режимні – забезпечення оптимального режиму компенсаторів реактивної потужності, своєчасне переключення відгалужень обмоток трансформаторів РПН, відключення трансформаторів у мережах низької напруги на період малих навантажень;

організаційні – скорочення витрати електроенергії на власні потреби підстанцій, удосконалювання обліку електроенергії, контроль за використанням джерел реактивної потужності, впровадження нових програм для аналізу режимів мереж і їх оптимізації з використанням ЕОМ;

технічні – введення нових компенсуючих пристроїв, заміна проводів на лініях електропередачі, заміна трансформаторів і автотрансформаторів, автоматизація регулювання напруги.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

У структурі втрат по елементах систем електропостачання основна частина втрат приходить на лінії електропередач (в окремих випадках до 65% [2]). Втрати в трансформаторах складають близько 30 % сумарних втрат у мережі даної ступіні напруги, причому біля половини з них – втрати в сталі. Втрати в інших елементах мережі (у реакторах, компенсуючих пристроях, вимірювальних приладах, трансформаторів струму і напруги) незначні і можуть бути оцінені в межах 3–5 % сумарних втрат. Втрати включають також електроенергію, що витрачається на власні потреби підстанцій. Приблизно 1/4 загальних втрат складають втрати, що практично не залежать від навантаження, так звані умовно-постійні, і 3/4 – умовно-змінні.

Технічному аналізу піддається тільки частина загальних втрат, що називається технічними втратами; інша – приблизно 10 %, так звані комерційні втрати, – зв'язана з недосконалістю системи обліку електроенергії. В умовах паралельної роботи енергосистем виникає необхідність передачі визначеної кількості електроенергії транзитом через мережі енергосистеми. При цьому мають місце додаткові втрати електроенергії, зв'язані з транзитними перетоками. Також на величину втрат електричної енергії в елементах системи електропостачання впливає ряд технічних і експлуатаційних факторів, у тому числі характеристики навантаження, стан і рівень зносу електротехнічного устаткування, термін і інтенсивність його експлуатації.

Згідно даних енергослужб спостерігається значне перевищення реальних значень втрат електроенергії при передачі її по електричних мережах порівняно з нормативним. Це обумовлено тим, що при експлуатації систем електропостачання технічний стан елементів електрообладнання погіршується через їх знос та старіння внаслідок впливу факторів середовища в умовах яких вони працюють (кліматичних, механічних, режимних, електромагнітних та ін.). Старіння та інтенсивний знос елементів СЕП у багатьох випадках не тільки знижують їхню надійність, але викликають додаткові втрати електричної енергії. Це особливо характерно для електроус-

таткування, що знаходиться в експлуатації тривалий період і у випадках несвоєчасного чи неякісного проведення планового технічного обслуговування.

Усе це обумовлює динаміку складових технічних втрат електроенергії в елементах систем електропостачання при її транспортуванні та розподілі. Тому метою дослідження є проведення аналізу методів та засобів зниження технічних втрат електроенергії в елементах систем електропостачання для підвищення ефективності електропостачання.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ ДОСЛІДЖЕНЬ

Класифікація і структура втрат електроенергії. Однією з характерних особливостей функціонування електричних систем є те, що в кожний момент часу існує точний баланс для активної та реактивної енергії і потужності. Транспортування і перетворення електричної енергії завжди відбувається з витратами самої енергії. Внаслідок цього деяка її частина витрачається на транспортування по лініях електропередач і перетворення в трансформаторах. Для більш чіткого розуміння фізичних явищ, що відбуваються в електричних мережах, поряд з виразом «втрати електроенергії», широко вживається термін «витрати електричної енергії в електричних мережах на її транспортування», «транспортні витрати електроенергії» або «технологічні витрати електроенергії». Рівень цих втрат визначається кількістю переданої енергії, параметрами проводів і трансформаторів, рівнями напруг у центрах живлення, наявністю пристроїв компенсації реактивної потужності – тобто технічним станом мереж і рівнем їх експлуатації. Для скорочення цей вид втрат в подальшому буде називатися технічними втратами і означати витрати електроенергії в елементах мереж при її передачі, розподіленні і перетворенні.

Існують різні класифікації заходів по зниженню втрат електроенергії [3], але усі вони базуються на економічних критеріях, які можуть визначати розподіл заходів на групи і не відображають співвідношення між витратами на заходи і ефектом від їх реалізації. Безвитратні заходи часто потребують для свого виконання значних експлуатаційних витрат. Співвідношення між сумою витрат на розрахунки і експлуатаційні витрати на безвитратні заходи з одного боку і вартість зекономленої за їх рахунок електроенергії часто дорівнюють одне одному. Крім того, ці класифікації не враховують ще двох важливих обставин: перша – вплив споживачів (особливо режимів їх роботи) на втрати електроенергії у мережі, друга – роль проектних, науково-дослідних, будівельних і експлуатаційних організацій у розробці і реалізації заходів по зниженню втрат електроенергії.

В роботі запропонована класифікація заходів по зниженню втрат електроенергії, яка ґрунтується на понятті керування, тобто цілеспрямованої дії на параметри електричних мереж і споживачів та режимів їх роботи. Така класифікація відповідає процесу передачі і споживання електроенергії і наведена на рисунку 1.

Згідно зі запропонованою класифікацією дії, тривалістю більше року, спрямовані на глибоку зміну параметрів, елементів і схем мереж, віднесені до групи *заходів по керуванню розвитком мереж*. Заходи тривалістю до року віднесені до групи *заходів по керуванню режимами роботи мереж*.

Значно впливають на режим роботи мереж параметри електрообладнання. Наприклад, істотного зниження умовно-постійних втрат електроенергії можна досягти,

застосовуючи трансформатори зі зменшеними втратами холостого ходу (магнітними втратами) і схемою з'єднання обмоток «зірка-зірка з нулем».

Додатковим резервом зниження втрат електроенергії є керування розвитком і режимами роботи споживачів.

Заходи по керуванню режимами роботи споживачів виконуються персоналом підприємства, де знаходяться електроустановки, разом з персоналом енергооб'єднання.

Технічні заходи по зниженню втрат електроенергії потребують реконструкції мереж, заміни або встановлення додаткових апаратів, машин та обладнання. Реконструкція мережі передбачає заміну перерізів проводів лінії, переведення ліній на більш високу напругу, скорочення радіуса мережі за рахунок будівництва нових підстанцій. Всі ці заходи потребують капітальних вкладень, що збільшує щорічні витрати на амортизацію і поточний ремонт.

Для визначення економічної ефективності всіх заходів по зниженню втрат електроенергії потрібно порівняти величину зменшення витрат коштів на втрати електроенергії ΔC_e з величиною збільшення витрат коштів на амортизацію і обслуговування ΔC_a . Але заходи по зниженню втрат потребують початкових витрат коштів K . Якщо величина зниження коштів на втрати електроенергії буде більшою від величини збільшення витрат коштів на амортизацію і обслуговування, то щорічні витрати ΔC коштів на експлуатацію будуть менші після впровадження заходів по зниженню втрат електроенергії. Зменшення щорічних витрат коштів повинно бути таким, щоб початкові витрати окупились за строк менший, ніж нормативний строк окупності капітальних вкладень T_o . Строк окупності капітальних вкладень T_o – це час, протягом якого зменшення щорічних витрат коштів досягне розміру капітальних вкладень, які зумовили економію щорічних витрат коштів. Отже, строк окупності можна визначити за формулою:

$$T_o = \frac{K}{\Delta C} = \frac{K}{\Delta C_e - \Delta C_a}$$

В теперішній час в енергетиці встановлено нормативний строк окупності – 8,3 року.

Норма амортизаційних відрахувань та норми сумарних щорічних відрахувань від капітальних вкладень приймають згідно з нормативними документами; питомі витрати коштів на втрати електроенергії визначають залежно від економіко-географічної зони розміщення мережі, елемента мережі, режиму роботи споживачів за відповідними інструктивними документами.

На практиці розглядають декілька варіантів заходів зменшення втрат електричної енергії. Після цього вибирають найбільш ефективний варіант, що має найменшу величину приведених витрат. Він повинен мати строк окупності менше нормативного строку окупності капітальних вкладень. Цей варіант є оптимальним.

Оптимальний варіант має найменші зведені втрати електричної енергії. Економічно обґрунтовані втрати – це частина приведених втрат електричної енергії, яка відповідає дійсним.

Загальна методика виконання робіт по обґрунтуванню розрахункових рівнів втрат електроенергії складається зі збирання даних для проведення розрахунків втрат

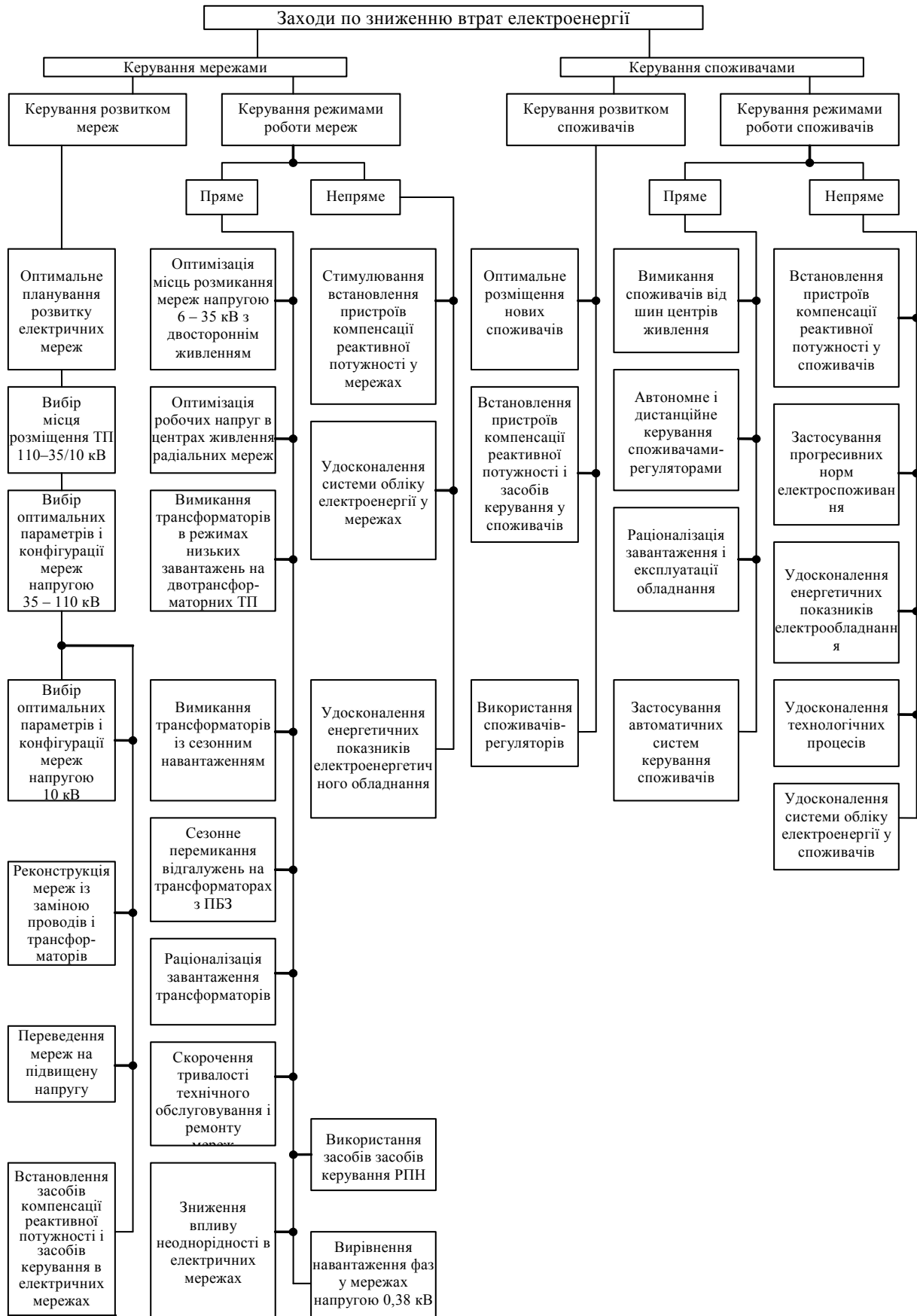


Рисунок 1 – Класифікація заходів по зниженню втрат електроенергії

електроенергії та аналізу роботи мережі; визначення втрат електроенергії в елементах мережі; вибору заходів по зниженню втрат електричної енергії; визначення початкових витрат коштів на здійснення заходів по зниженню втрат електричної енергії та величину втрат електричної енергії після впровадження заходів; порівняння приведених витрат і визначення заходів, які мають найменші приведені втрати.

У мережах, спроектованих за мінімумом приведених витрат коштів з врахуванням обмежень за умов забезпечення якості електроенергії і надійності електропостачання, рівень втрат електроенергії вважається економічно обґрунтованим, тобто оптимальним. Для визначення цього рівня використовують розрахунки, результати яких наведені у таблиці 1.

Характерною ознакою цих розрахунків є інтервальна оцінка як оптимальних втрат електроенергії, так і показників роботи мережі. Наприклад, загальні втрати у мережі напругою 10 кВ можуть знаходитись у межах 3,1–6,5 % із середнім значенням 4 % [4]. Втрати електроенергії на ділянці віднесені до пропущеної через неї енергії, не перевищують 0,14 %/км, а на магістральних ділянках – 0,1 %/км. Для визначення економічної доцільності використання різних заходів по зниженню втрат електроенергії необхідно аналізувати їх величину і співвідношення у різних елементах мережі і показники роботи мережі (максимальні сили струмів, потужність, максимальні і мінімальні рівні напруги). Доцільність заміни трансформаторів визначають за співвідношенням умовно-постійних втрат і втрат від навантаження, яке в оптимально-завантажених трансформаторах знаходиться у межах 0,4–2,5. Оптимальний ступінь компенсації реактивної потужності (співвідношення встановленої потужності конденсаторних батарей до максимального реактивного навантаження) для споживчих трансформаторів – 0,7, для сезонних споживачів – 0,4, на шинах центра живлення – 0,5, що відповідає коефіцієнту потужності 0,92–0,93. На шинах напругою 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ оптимальний коефіцієнт потужності дорівнює 0,95.

Під час аналізу втрат слід мати на увазі, якщо в їх структурі переважають втрати в проводах повітряних ліній (70–80 % від загальних втрат у мережі) і втрати на головних ділянках лінії становлять 40–50 % від загальних втрат, то це свідчить про перевантаження мережі; якщо в струк-

турі втрат переважають втрати холостого ходу трансформаторів (80–90 % від загальних втрат в мережі та 90–95 % від загальних втрат у трансформаторах), то це вказує на незадовільну експлуатацію трансформаторів.

Найбільш поширеним напрямом економії електроенергії є зниження втрат електроенергії в елементах системи електропостачання: у силових трансформаторах усіх ступіней напруги, у лініях електричної мережі, у реакторах, в установках реактивної потужності, що компенсують. Великі різномірні можливості економії електроенергії реалізуються заходами, які можна розділити на конструктивні й експлуатаційні.

До конструктивних заходів відносяться посилення мережі шляхом введення нових кіл електроживлення, заміна декількох трансформаторів більш потужним, заміна раніше обраних проводів ліній проводами більшого перетину, установка компенсуючих пристроїв біля електроприймачів для розвантаження мережі від реактивної потужності і для підвищення рівнів напруги мереж наступних ступенів номінальної напруги: 380 на 660В, 6 на 10 кВ, 10 на 20 кВ [5].

Експлуатаційні заходи щодо зниження втрат, як заходи, що не вимагають додаткових капіталовкладень, повинні здійснюватися в першу чергу. У розподільних мережах промислових підприємств застосовується глибоке секціонування при роздільній роботі секцій шин розподільних пунктів на всіх рівнях напруги розподільної мережі. При такій схемі виникає нерівномірність навантаження в лініях і трансформаторах, різниця напруг на секціях і в результаті – додаткові втрати потужності. Для зменшення цих втрат необхідно перевіряти і забезпечувати рівномірність навантаження секцій. Для перевірки рівномірності на практиці застосовують короткочасне включення секцій на паралельну роботу включенням секційних вимикачів. Переключаючи в мережах навантаження з більш завантаженої секції на менш завантаженої, домагаються зниження струму який протікає через секційний апарат до мінімуму.

Втрати електроенергії в лініях електричної мережі складають значну частину сумарних утрат у всій системі електропостачання. Одним із заходів щодо зменшення втрат у лініях є включення в роботу всіх ліній: у схемі не повинно бути ліній тільки резервних.

Рекомендується включення трансформаторів на постійну паралельну роботу при наявності технічної мож-

Таблиця 1 – Оптимальне значення втрат електроенергії у мережах напругою 10 кВ

Показники	Структура показника	Значення показників		
		Мінімальні	Середні	Максимальні
Втрати електроенергії, % до відпуску електроенергії у мережу	Загальні	3,1	4	6,5
	У лініях	0,1	1,2	3,9
	У трансформаторах	2,5	2,9	3,2
Втрати електроенергії, % до загальних втрат у мережі	Від навантаження у лініях	3,5	30	62
	Від навантаження у трансформаторах	15,9	26	43,6
	Умовно-постійні у трансформаторах	21	44	67,3

ливості такої роботи зі струму КЗ і за умовами роботи захисту, це розглядається як дієвий метод щодо зниження втрат електроенергії і поліпшення якості електроенергії.

Важливим заходом щодо економії втрат в електромережах є своєчасне відключення в резерв трансформаторів підстанцій при зниженні їхнього навантаження і включення при зростанні навантаження.

Трансформатори трансформаторних підстанцій зазвичай зв'язані попарно через перемички і секційні автоматичні вимикачі, що вимагає їх експлуатацію в економічному режимі. Цей режим визначає кількість одночасно ввімкнених трансформаторів при умові мінімальних втрат електроенергії, що можливо у тому випадку, коли навантаження в підстанції може бути забезпечене роботою не всіх, а тільки частини трансформаторів. При цьому зменшуються умовно-постійні втрати у трансформаторах (втрати в сталі) але зростають втрати від навантаження (втрати в міді). Визначимо, при якому навантаженні доцільно залишати в роботі один трансформатор, а другий відключити в резерв. Це визначається величиною граничної потужності яка відповідає співвідношенню

$$S_{зр} = S_{ном} \sqrt{\frac{2P_0}{P_{кз}}}$$

де P_0 та $P_{кз}$ – відповідно втрати холостого ходу та короткого замикання трансформатора; $S_{ном}$ – номінальна потужність трансформатора.

Для зниження втрат електричної енергії в лініях електропередач проводи замінюють тоді, коли витрати коштів окуповуються за рахунок зменшення втрат електричної енергії. При заміні площі поперечного перерізу проводу на більший [6] існує економічний інтервал потужності, в межах якого це виконувати економічно доцільно. Економічний інтервал визначають тільки величиною капітальних вкладень на заміну проводу та опорів існуючого і проводу, на який роблять заміну. Довжина інтервалу та його положення серед інтервалів потужності для інших площ поперечних перерізів залежить від вартості заміни проводів та втрат електричної енергії, напруги лінії, коефіцієнта зростання навантаження, опору проводу, часу втрат. На наявність економічних інтервалів не впливає вартість існуючих ліній до заміни проводу.

Замінювати площі поперечних перерізів проводів на лініях електропередачі більшими можна при додержанні таких умов:

- механічна напруга на нових проводах та стріла провисання не повинні перевищувати допустимі;
- навантаження на опорі після заміни проводів не повинно перевищувати розрахункові.

При заміні проводами з такого ж матеріалу перша умова виконується сама собою, тому що із збільшенням площі поперечного перерізу, як правило, розрахункові прольоти, що відповідають максимальним допустимим напругам, збільшуються.

Проміжні та спеціальні опори розраховані на підвищення кількох марок проводів і, якщо існуючі проводи мають меншу площу поперечного перерізу, ніж граничний провід для цього типу опор, то друга умова виконується.

Якщо конструкція проміжної опори не витримує навантаження намічених проводів, то заміна їх неможлива. У випадку, коли проміжні опори без посередньо або після їх деякої реконструкції можуть витримати навантаження підвищуваних проводів, заміна дозволяється.

При розробці проекту заміни проводів треба враховувати реальний стан лінії та строк служби.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного аналізу встановлено, що зміна технічних втрат визначається:

- постійною зміною конфігурації мереж, внаслідок їхньої реконструкції;
- змінами умов і інтенсивності експлуатації, а також технічного стану елементів систем електропостачання за час експлуатації. Останнє обумовлено тим, що при експлуатації систем електропостачання технічний стан елементів електрообладнання погіршується через їх знос та старіння внаслідок впливу факторів середовища в умовах яких вони працюють (кліматичних, механічних, режимних, електромагнітних та ін.). Старіння та інтенсивний знос елементів СЕП у багатьох випадках не тільки знижують їхню надійність, але й викликають додаткові втрати електричної енергії. Це особливо характерно для електроустаткування, що знаходиться в експлуатації тривалий період і у випадках несвоєчасного чи неякісного проведення планового технічного обслуговування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кудрин Б. И., О потерях электрической энергии та мощности в электрических сетях // Энергетика. – 2003. – №2. – С.3
2. Шкрабець Ф.П. Класифікація і структура втрат електроенергії / Ф.П. Шкрабець, Ю.В. Куваєв, Д.В. Ципленков, П.Ю. Красовський // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Вип. 3(32). – 2005. – С.122–124.
3. ГНД 34.09.204-2004. Методичні вказівки з аналізу технологічних витрат електроенергії та вибору заходів щодо їх зниження / М-во палива та енергетики України. – Офіц. вид. – К.: ГРІФРЕ: М-во палива та енергетики України, 2004. – 159 с.
4. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / Под ред. В.Н. Казанцева. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 368 с.
5. Шкрабець Ф.П. Эксплуатационная динамика потерь электроэнергии в системах электроснабжения: монография / Ф.П. Шкрабець, П.Ю. Красовский; М-во образования и науки Украины, Нац. горн. ун-т. – Д. НГУ, 2015. – 152 с.
6. Pavlo Krasovskiy. Operating dynamics of parameters and technical losses in the components of power supply systems / P. Krasovskiy, D. Tsypnenkov, O. Nesterova // Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems. – London: Taylor & Francis Group, UK, 2013. – P. 113–119.

Стаття надійшла до редакції 20.05.2015
Після доробки 2.06.2015

Цыпленков Д. В.¹, Красовский П. Ю.²

¹Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры возобновляемых источников энергии, Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

²Ассистент кафедры возобновляемых источников энергии, Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

МЕТОДЫ И СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРО-ЭНЕРГИИ В ЭЛЕМЕНТАХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Целью данной работы является установление факторов, влияющих на изменение технических потерь электроэнергии, и зависимости динамики изменения технических потерь за время эксплуатации элементов систем электроснабжения. Это позволит разработать более точные методы определения потерь электроэнергии и рассчитать реальные значения технических потерь электроэнергии в элементах системы электроснабжения, эксплуатируемых в течение значительного срока. В результате проведенного анализа установлено, что изменение технических потерь определяется постоянным изменением конфигурации сетей, в результате их реконструкции и изменениями условий и интенсивности эксплуатации, а также технического состояния элементов систем электроснабжения за время эксплуатации.

Ключевые слова: системы электроснабжения, потери электроэнергии, условия эксплуатации элементов систем электроснабжения, линии электроснабжения, экономия электроэнергии.

Tsyplenkov D. V.¹, Krasovskiy P. Yu.²

¹Ph.D. assistant professor of renewable energy sources department, National Mining University, Ukraine

²Assistant of renewable energy sources department, National Mining University, Ukraine

METHODS AND MEANS OF TECHNICAL LOSSES REDUCTION OF ELECTRICITY IN THE ELEMENTS OF POWER SUPPLY SYSTEMS

The aim of the work is to determine the factors that influence the change of electricity technical losses and the dynamics of power losses change depending on the exploitation term of the elements of power supply systems. This will allow to develop more accurate methods for determining the electric energy losses and calculate the real value of the power losses in the elements of the power supply system that have been operated for a long time. The task of electricity losses reduction is an important part of the more general problem of reducing energy consumption and efficient use of energy resources through the optimization of consumption and power generation.

In the context of continuous growth of power rates and change of energy consumption, the energy saving and rational management of the power economy get the great importance and present not only engineering problem, but also the economic problem. Hence the need to reduce non-productive energy losses and improve the technical operation of power supply system appears. Currently, much attention is paid to the electric energy losses reduction through the development of more accurate methods of the energy losses determination in all elements of power systems.

The analysis shows that the change of power losses is determined by changing of the permanent electric networks reconfiguration as a result of their reconstruction and changes in the conditions and frequency of use, as well as the technical state of the elements of power supply systems during the operation.

Keywords: power supply systems, electric energy losses, operating conditions of the elements of power-supply systems, power-supply lines, electric energy savings.

REFERENCES

1. Kudrin B. I., O poteryah elektricheskoi energii ta moshchnosti v elektricheskikh setyakh. Energetika, 2003, No 2, P.3.
2. Shkrabets F. P., Kuvaev Yu. V., Tsyplenkov D. V., Krasovskiy P. Yu. Klyasifikatsiya i struktura vtrat elektroenergii. *Visnyk Kremenchutskogo derzhavnogo politehnichnogo universytetu*. Vyp. 3(32), 2005, P. 122–124.
3. GND 34.09.204-2004. Metodichni vказivki z analizu tehnologichnyh vytrat elektroenergii ta vyboru zahodiv schodo ih znyzhennya. M-vo palyva ta energetyky Ukrainy, Ofits. Vyd, Kiev, GRIFRE: M-vo palyva ta energetyky Ukrainy, 2004, 159 p.
4. Kazantseva V. N. Poteri elektroenergii v elektricheskikh setyakh energosistem. Moscow, Energoatomizdat, 1983, 368 p.
5. Shkrabets F. P. Krasovskiy P. Yu. Eksploatatsionnaya dinamika poter elektroenergii v sistemah elektrosnabzheniya: monografiya. M-vo obrazovaniya i nauki Ukrainyi, Nats. gorn. un-t, D. NGU, 2015, 152 p.
6. Pavlo Krasovskiy. Operating dynamics of parameters and technical losses in the components of power supply systems. Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems, London: Taylor & Francis Group, UK, 2013, P. 113–119.