

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
“НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ”**

КРАСОВСЬКИЙ Павло Юрійович

УДК 621.316.9:621.616.13

**ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ДИНАМІКА В ТРАНСФЕРТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ
В ЕЛЕМЕНТАХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

Спеціальність 05.09.03 - "Електротехнічні комплекси та системи"

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 2014

Дисертацією є рукопис

Дисертаційна робота виконана на кафедрі відновлюваних джерел енергії Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник:

- доктор технічних наук, професор **Шкрабець Федір Павлович**, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ), завідувач кафедри відновлюваних джерел енергії.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор **Скоробогатова Валентина Іванівна**, Чернігівський національний технологічний університет Міністерства освіти і науки України, перший проректор;

- кандидат технічних наук, доцент **Плешков Петро Григорович**, Кіровоградський національний технічний університет Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту.

Захист відбудеться «16» жовтня 2014 р. о 14-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

Автореферат розісланий «15» вересня 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07
к.т.н., доцент

О.В. Остапчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах постійного росту тарифів на електроенергію та зміни енергоспоживання, економія електричної енергії і раціональне ведення енергетичного виробництва має велике народногосподарське значення і є не тільки технічним, але й значною мірою економічним завданням. У зв'язку з цим виникла необхідність зниження непродуктивних втрат електроенергії та підвищення технічної культури експлуатації систем електропостачання (СЕП). В теперішній час значна увага надається зниженню втрат електричної енергії на основі розробки більш точних методів визначення втрат електроенергії у всіх елементах СЕП.

На сьогодні майже скрізь спостерігається ріст абсолютних і відносних значень втрат електроенергії. За даними Міністерства енергетики та вугільної промисловості України технологічні втрати електроенергії на транспорт в електричних мережах України складають біля 12-13 % від загального товарного виробництва електроенергії. В структурі втрат в елементах СЕП основна частина припадає на лінії електропередач (ЛЕП) (в окремих випадках до 65 %). Втрати в трансформаторах складають біля 30 % сумарних втрат у мережі даного ступеня напруги, причому майже половина з них – втрати в сталі.

Фахівці відзначають значне перевищення реальних значень втрат електроенергії при передачі її по електричних мережах у порівнянні з нормативними. Це обумовлено тим, що при експлуатації СЕП технічний стан елементів електрообладнання погіршується через їхнє зношування й старіння внаслідок впливу факторів середовища, в умовах якого вони працюють. Старіння та інтенсивне зношування елементів СЕП викликають додаткові втрати електроенергії, що особливо характерно для електрообладнання, яке перебуває в експлуатації тривалий період, а також у випадках несвоєчасного або неякісного проведення планових ремонтів і технічного обслуговування.

Значний внесок у вирішення питань формування, розрахунку й зменшення втрат у СЕП при транспортуванні електроенергії внесли вітчизняні вчені: Винославський В.М., Волотковський С.А., Заїка В.Т., Кириленко О.В., Ковалко М.П., Кузнєцов В.Г., Курінний Е.Г., Півняк Г.Г., Праховник А.В., Разумний Ю.Т., Скоробогатова В.І., Шидловський А.К., та інші.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню наукової задачі встановлення динаміки та характеру зміни фізичних параметрів, що впливають на формування та рівень втрат електроенергії, в залежності від терміну та умов експлуатації, в основних елементах СЕП.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт Державного ВНЗ "Національний гірничий університет": "Дослідження динаміки властивостей та складових втрат електроенергії в елементах систем електропостачання" (№ держреєстр. 0106U001375); "Дослідження енергетичного потенціалу, розробка способів і технологій використання нетрадиційних та техногенних джерел енергії" (№ держреєстр. 0112U000874); "Обґрунтування й розробка

способів, технологій і систем перетворення й використання нетрадиційних джерел енергії ЖКГ" (№ держреєстр. 0113U000412с), де автор був виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності електропостачання за рахунок зниження технічних і комерційних втрат електроенергії на основі врахування і формування режимів роботи силових і контрольних елементів СЕП.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні завдання досліджень:

1) дослідити динаміку зміни фізичних характеристик і технічних втрат електроенергії впродовж терміну експлуатації в повітряних ЛЕП і силових трансформаторах, як основних елементах, що формують втрати електроенергії при її транспортуванні;

2) дослідити вплив критичних експлуатаційних режимів вимірювальних трансформаторів на похибку роботи систем обліку електроенергії і формування комерційних втрат;

3) обґрунтувати методику обліку динаміки технічних втрат електроенергії на транспорт при розрахунках і формуванні нормативних показників;

4) розробити технічні засоби, що спрямовані на мінімізацію розкрадань електроенергії та зниження рівня комерційних втрат в СЕП.

Об'єкт досліджень – процеси передачі електричної енергії і фактори, що впливають на формування та рівень втрат в СЕП під час експлуатації.

Предмет досліджень – експлуатаційна динаміка зміни параметрів і втрат електроенергії в елементах СЕП.

Методи досліджень. При виконанні роботи використані: аналітичні методи досліджень та загальна теорія електричних кіл для отримання залежності рівня втрат в елементах СЕП від їхнього "старіння"; математичне моделювання на основі формалізації досліджуваних процесів і побудови приватних математичних моделей для встановлення ступеня впливу терміну експлуатації і ремонтів магнітопроводів силових трансформаторів, а також натурні спостереження та експерименти з метою практичної перевірки результатів теоретичних досліджень і прийнятих технічних рішень.

Наукові положення.

1. Значення приросту активного опору проводів повітряних ЛЕП залежать від тривалості експлуатації, швидкості корозії, значень стандартних діаметрів дротів фазних проводів, а ступінь впливу корозійних процесів на характер зміни навантажувальних втрат наростає зі зменшенням діаметра дротів.

2. Динаміка зміни втрат потужності холостого ходу силових трансформаторів характеризується приростом, що наростає в степеневій функції від терміну служби, коефіцієнти якої залежать від параметрів трансформатора.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Встановлено залежність рівня втрат у повітряних ЛЕП і силових трансформаторах при транспортуванні електроенергії від "старіння" зазначених елементів СЕП, яке, в свою чергу, залежить від тривалості, умов і інтенсивності експлуатації та характеризується зміною активного поздовжнього опору прово-

дів повітряних ліній і магнітних властивостей магнітопроводу силових трансформаторів.

2. Вперше виконана оцінка змін фізичних параметрів та навантажувальних втрат електроенергії в повітряних ЛЕП в залежності від терміну їх експлуатації та встановлено ступінь впливу тривалості терміну й умов експлуатації та конструктивних характеристик проводів повітряних ЛЕП на зазначені втрати.

3. Встановлено ступінь впливу терміну експлуатації й ремонтів магнітопроводів силових трансформаторів на збільшення втрат холостого ходу й отримані аналітичні залежності для коректування значень паспортних втрат потужності в магнітопроводах силових трансформаторів, що експлуатуються тривалий час, напругою 150 кВ;

4. Розроблені принципи визначення показників нормативних втрат енергії в повітряних ЛЕП і силових трансформаторах, що враховують динаміку корозійних змін активного опору фазних проводів і зміни магнітних властивостей осердь трансформаторів залежно від терміну й умов експлуатації.

Практична цінність отриманих результатів полягає в розробці методики розрахунків нормативних втрат енергії в СЕП, яка враховує динаміку зміни втрат залежно від терміну експлуатації повітряних ЛЕП і силових трансформаторів, а також встановленні основних технічних причин формування комерційних втрат електроенергії при її передачі; розробці організаційних і технічних рекомендацій зі зменшення технічних і комерційних втрат енергії при її транспортуванні; створенні технічних пристроїв контролю несанкціонованого відбору електроенергії та охоронної сигналізації знеструмлених ЛЕП.

Реалізація результатів досліджень.

Наукові положення, висновки рекомендації використані:

– ПАТ "ДТЕК Дніпрообленерго" – результати досліджень процесів зміни параметрів повітряних ліній і силових трансформаторів залежно від терміну й умов їх експлуатації; методика розрахунків нормативних втрат енергії в елементах електричних мереж, що враховує експлуатаційні прирости; рекомендації зі зменшення технічних і комерційних втрат енергії при її транспортуванні;

– ДП "НЕК "Укренерго" – результати досліджень ступеня впливу терміну й умов експлуатації повітряних ЛЕП і силових трансформаторів на формування й розрахунки нормативних втрат у СЕП при транспортуванні електроенергії; результати досліджень технічних причин, що формують комерційні втрати електроенергії; організаційні й технічні рекомендації зі зменшення технічних і комерційних втрат;

– у навчальному процесі в Державному ВНЗ "Національний гірничий університет" при підготовці фахівців зі спеціальності 7(8).05070107 "Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії".

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується: коректністю та відповідністю прийнятих припущень при розробці математичних моделей меті завданням досліджень; обґрунтованістю вихідних посилок, що впливають з фундаментальних законів природни-

чих наук та основ теорії електричних кіл і підтверджується задовільним результатом теоретичних і експериментальних досліджень.

Особистий внесок здобувача полягає в обґрунтуванні і постановці мети й завдань досліджень; у теоретичному обґрунтуванні та формалізації результатів дослідження зміни фізичних параметрів повітряних ЛЕП і силових трансформаторів у процесі їхньої тривалої експлуатації й одержанні якісних і кількісних характеристик динаміки втрат електроенергії; в обґрунтуванні та вивченні основних технічних причин, що формують комерційні втрати електроенергії в СЕП; у розробці методики уточнення розрахунку нормативних втрат електроенергії, що враховує термін експлуатації елементів мережі.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні матеріали й результати, отримані в дисертаційній роботі, доповідались й одержали схвалення на: міжнародній науково-технічній конференції "Неделягорняка" у Московському державному гірничому університеті (м. Москва, Росія, 2005 р.); міжнародній науково-технічній конференції "Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації" (м. Кременчук, 2005 р.); першій міжнародній науково-практичній конференції "Електрифікація залізничного транспорту ТРАНС-ЕЛЕКТРО-2007" (п. Місхор, АР Крим, 2007 р.); дев'ятому міжнародному науково-технічному симпозиумі "Проблеми вдосконалювання електричних машин і апаратів" SIEMA 2007 (м. Харків, 2007 р.); другій міжнародній науково-практичній конференції "Електрифікація залізничного транспорту ТРАНС-ЕЛЕКТРО-2008" (п. Місхор, АР Крим, 2008 р.); шостій міжнародній науково-технічній конференції "Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств" EPQ 2008 (м. Маріуполь, 2008 р.); всеукраїнській науковій конференції "Підвищення ефективності роботи електричних мереж" (м. Чернігів, 2013).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані в 16 наукових працях, з них: 7 – у фахових виданнях, що включені до переліку МОН України; 2 – у міжнародних виданнях; 2 – патенти України; 3 – тези доповідей; 2 – в інших виданнях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку літературних джерел із 111 найменувань (13 сторінок), чотирьох додатків (5 сторінок). Загальний обсяг дисертації – 180 сторінки, 21 рисуноків, 7 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність досліджень і показаний зв'язок з науковими програмами, сформульовані наукова задача та мета досліджень, викладені наукові положення, що виносяться на захист, показані наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, їх апробація та впровадження, кількість публікацій за темою дисертації і особистий внесок автора.

У першому розділі здійснений аналіз і дана класифікація складових втрат електроенергії в СЕП і методів їх розрахунку, розглянуто технічні та експлуатаційні фактори, що впливають на динаміку технічних і комерційних втрат електроенергії, представлено обґрунтування задач досліджень.

Для планування й аналізу ефективності діяльності підприємств, галузей і економіки в цілому застосовується балансовий метод. У загальному випадку баланс електроенергії для СЕП можна представити рівнянням:

$$W_{oc} = W_{оп} + \Delta W_{пн} + \Delta W_T + \Delta W_{ком}, \quad (1)$$

де W_{oc} – електроенергія, відпущена в мережу (що надійшла в СЕП); $W_{оп}$ – електроенергія, відпущена споживачам; $\Delta W_{пн}$ – електроенергія, витрачена в розглянутій СЕП на виробничі (власні) потреби; ΔW_T – технологічна витрата електроенергії на передачу (технічні втрати); $\Delta W_{ком}$ – комерційні втрати.

В структурі втрат за елементами СЕП основна частина втрат припадає на ЛЕП (в окремих випадках до 65 %). Втрати в трансформаторах складають близько 30 % сумарних втрат в мережі даного ступеня напруги, причому близько половини з них – втрати в сталі. Втрати в інших елементах мережі (в реакторах, компенсуючих пристроях, вимірювальних приладах, трансформаторах струму і напруги) незначні і можуть бути оцінені в межах 3-5 % сумарних втрат.

Із загальних втрат електроенергії технічному аналізу піддається тільки частина, яка називається технічними втратами; інша – комерційні втрати (приблизно 10-20 %) – пов'язана з недосконалістю системи обліку електроенергії. В умовах паралельної роботи енергосистем виникає необхідність передачі певної кількості електроенергії транзитом через мережі енергосистеми. При цьому мають місце додаткові втрати електроенергії, що пов'язані з транзитними перетіканнями. На значення втрат електроенергії в елементах СЕП впливає ряд технічних і експлуатаційних факторів, у тому числі характеристики навантаження, стан і рівень зносу електротехнічного обладнання, термін та інтенсивність його експлуатації.

Виходячи з вищевикладеного, а також з урахуванням того, що основний обсяг технічних втрат припадає на електричні лінії та силові трансформатори (СТ), важливим є оцінка можливої динаміки в часі фізичних параметрів зазначеного електрообладнання (наприклад, активного опору фазних проводів ЛЕП, магнітних властивостей магнітопроводів СТ та ін.) і, відповідно, дати оцінку ступеню та характеру можливої динаміки технічних втрат за період експлуатації та їх відмінності від розрахункових (паспортних) даних.

Переважаючими причинами формування комерційних втрат є недостатній та недостовірний облік потоків електроенергії та розкрадання електроенергії. З погляду уточнення розподілу обсягів за структурами комерційних втрат та їх мінімізації важливо знати можливі похибки систем обліку при критичних експлуатаційних режимах роботи (наприклад, режим близький до холостого ходу (XX)) елементів СЕП та мати технічні можливості протистояти розкраданням.

В результаті виконаного аналізу реальних умов функціонування та експлуатації СЕП виділені основні технічні та експлуатаційні фактори, які призводять до зміни технічного стану і втрат електроенергії в елементах СЕП при тривалій експлуатації, сформульовано мету та завдання досліджень.

У другому розділі виконані дослідження характеру зміни технічних втрат в процесі експлуатації повітряних ЛЕП та ступеня впливу різних експлуатаційних факторів на динаміку зазначених втрат. В загальному випадку для повітря-

них ЛЕП, при передачі електроенергії від джерел до споживачів, можна розглядати навантажувальні втрати, втрати ХХ та втрати на корону.

З точки зору оцінки впливу терміну та умов експлуатації повітряних ЛЕП на значення та можливу при цьому динаміку технічних електричних втрат при транспортуванні електроенергії, слід розглянути характер та ступінь зміни параметрів повітряних ліній під час експлуатації та виділити основні технічні та фізичні характеристики повітряних ліній, що впливають на:

- навантажувальні втрати

$$\Delta W_H = 3R \int_0^T I^2(t) dt, \quad (2)$$

де R – активний опір проводу однієї фази повітряної лінії; $I(t)$ – повний струм в лінії протягом інтервалу часу T ;

- активні втрати холостого ходу

$$\Delta W_{xx} = \frac{\Delta P_{xx}}{U_{ном}^2} \int_0^T U^2(t) dt, \quad (3)$$

де ΔP_{xx} – втрати потужності холостого ходу лінії при номінальній напрузі, які визначаються струмами витоку через ізоляцію (міжфазний та відносно землі); $U_{ном}$ – номінальна напруга в мережі, при якій працює лінія; $U(t)$ – напруга в лінії протягом інтервалу часу T ;

- втрати на корону

$$\Delta P_{кор} = \omega C^2 \frac{U_m (U_m - U_0)}{2} \cdot \frac{K_1 \cos \varphi_{K1}}{C_{об} - C}, \quad (4)$$

де U_0 – напруга, що відповідає критичному заряду на поверхні проводу; U_m – амплітуда фазної напруги; $C_{об} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(r_H/r_P)}$ – ємність об'ємного заряду; C – ємність однієї фази повітряної лінії; r_H – радіус зовнішньої області, в якій сумарна щільність об'ємного заряду має нульове значення; r_P – радіус фазного проводу; ϵ_0 – електрична постійна; φ_{K1} – кут зсуву фаз першої гармоніки струму відносно напруги; $K_1 = Q_1/Q_{K,макс}$ – відношення амплітуди першої гармоніки до амплітуди компенсованого заряду; ω – кутова частота змінної напруги.

Виконані дослідження показали: величиною, що відноситься до технічних параметрів повітряної лінії і впливає на значення навантажувальних втрат, є активний (поздовжній) опір R проводу однієї фази повітряної лінії, а на значення втрат ХХ і втрат на корону в повітряних лініях експлуатаційні (протягом терміну експлуатації) зміни параметрів самих ліній (конструкція і характеристики проводів) будь-якого помітного впливу не мають. Отже, основні зміни у часі можливі в рівнях навантажувальних втрат за рахунок динаміки значень активних опорів фазних проводів повітряних ліній від дії корозійних процесів за час їх експлуатації.

Явище атмосферної корозії за рахунок поверхневого руйнування металу в довгостроковій перспективі призводить до зменшення діаметру проводу (або окремих провідників багатодротяних проводів), тобто, при довгостроковій экс-

платуації ЛЕП опір проводів електричному струму збільшується, втрати енергії в проводах повітряних ліній з тих же причин зростають за інших рівних умов.

Швидкість хімічної корозії визначається, насамперед, властивостями плівки, що виникає при корозії на поверхні металу, характер якої визначається природою окиснювача, а також температурою і наявністю корозійно-активних домішок, що забруднюють атмосферу.

Залежність площі поперечного перерізу алюмінієвої жили проводу повітряних ЛЕП від тривалості дії корозії T_k , (якщо знехтувати нерівномірністю корозійних процесів за всією довжиною ЛЕП)

$$F_{0k} = \frac{\pi \cdot (d_0 - \Delta d_0 T_k)^2}{4}, \quad (5)$$

де d_0 – діаметр алюмінієвої жили (окремого дроту) проводу; Δd_0 – зменшення діаметра алюмінієвої жили (окремого дроту) проводу від дії корозії протягом одного року, мкм/рік.

Тоді залежність питомого поздовжнього активного опору проводу від тривалості дії корозії

$$r_{0k} = \frac{1000}{\gamma \cdot F_{0k} \cdot n}, \quad (6)$$

а ступінь його зміни або коефіцієнт корозії визначиться як

$$k_k = \frac{r_{0k}}{r_0}, \quad \text{или} \quad k_k = \frac{1}{\left(1 - \frac{\Delta d_0}{d_0} \cdot T_k\right)^2}, \quad (7)$$

де γ – питома провідність матеріалу; n – кількість алюмінієвих жил (дротів) діаметром d_0 кожна; r_0 – питомий поздовжній активний опір проводу на початку експлуатації.

Аналіз літературних джерел за швидкістю (глибиною) корозії алюмінію та умов, що впливають на неї, дозволили зробити висновок: для умов України швидкість корозії Δd_0 для алюмінію слід приймати в діапазоні 1,75 - 3,5 мкм/рік.

Залежність активних втрат потужності в повітряних ЛЕП від часу експлуатації ЛЕП та швидкості корозії алюмінієвих проводів з урахуванням їх початкових фізичних характеристик

$$\Delta P_{ВЛ} = 3I^2 R_{нач} \left(1 - \frac{\Delta d_0}{d_0} \cdot T_{\text{э}}\right)^{-2}. \quad (8)$$

На рис. 1 і 2 наведені графічні залежності, що ілюструють ступінь і характер наростання активних навантажувальних втрат потужності (у відносних одиницях) в повітряних ЛЕП для алюмінієвих проводів стандартних перетинів.

Аналіз графічного представлення зміни навантажувальних втрат електроенергії в повітряних ЛЕП протягом терміну їх експлуатації показує, що ступінь впливу корозійних процесів наростає зі зменшенням діаметра дротів, що формують фазний провід, і за 70 років експлуатації може призвести до подвоєння навантажувальних втрат.

Третій розділ присвячений дослідженню експлуатаційної динаміки втрат електроенергії в СТ СЕП. Втрати в СТ складають істотну частку (до 20%) в за-

гальних втратах електроенергії в електричних мережах і є однією зі складових нормативів технологічних втрат електроенергії на її передачу. У загальному випадку перетворення активної потужності в трансформаторі супроводжується електричними втратами в первинній та вторинній обмотках, а також магнітними, зумовленими струмом намагнічування (втрати ХХ).

Структура втрат ХХ в СТ складається з: магнітних втрат; втрат в сталевих елементах конструкції остова трансформатора; втрат в первинній обмотці від струмів намагнічування ХХ; діелектричних втрат в ізоляції.

Саме втрати ХХ можуть змінюватися протягом терміну експлуатації внаслідок зміни з різних причин магнітних характеристик магнітної системи трансформаторів, тобто, втрати в СТ змінюються в часі, а динаміка цих змін залежить як мінімум від терміну та умов експлуатації, а також від видів і кількості пошкоджень трансформаторів та якості їх ремонту.

Вплив терміну експлуатації на втрати ХХ проявляється внаслідок різних експлуатаційних впливів. Основними з них є теплові, імпульсні і комутаційні

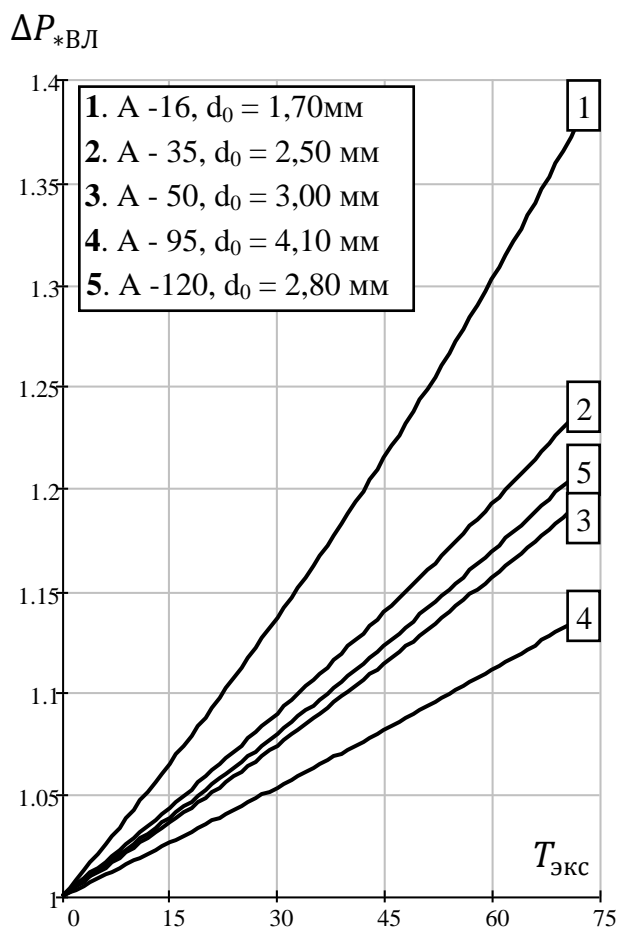


Рис.1. Характер зміни навантажувальних втрат у повітряних ЛЕП під час експлуатації для $\Delta d_0 = 2 \times 1,75$ мкм/рік

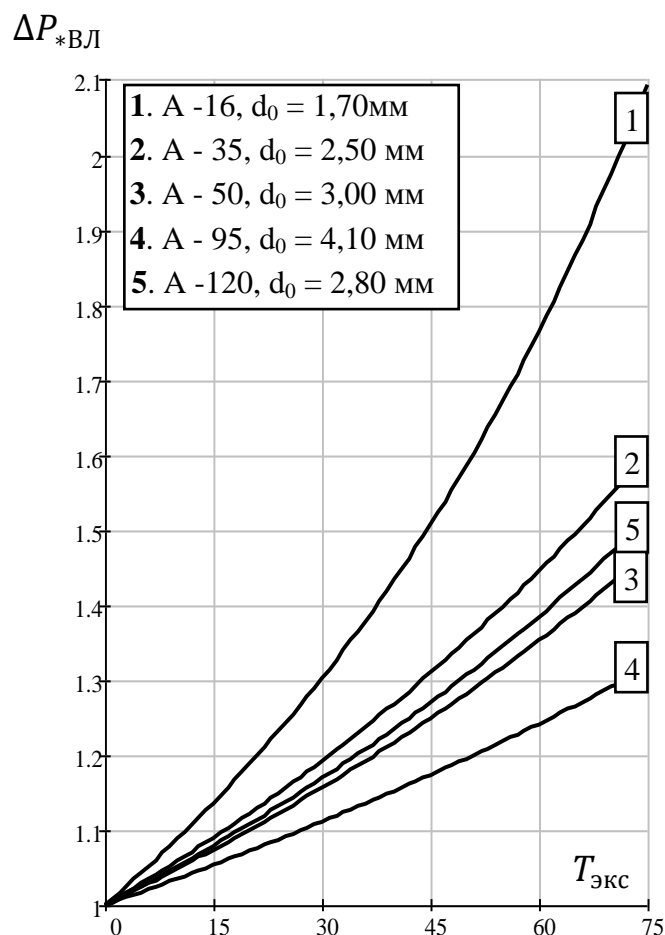


Рис.2. Характер зміни навантажувальних втрат у повітряних ЛЕП під час експлуатації для $\Delta d_0 = 2 \times 3,5$ мкм/рік

перенапруги, перевантаження, короткі замикання, зовнішні механічні дії. Зазначені явища сприяють утворенню струмопровідних замкнутих контурів навколо основного магнітного потоку або його частини та призводять до збільшення втрат електроенергії у магнітопроводі СТ. Вплив ушкоджень в СТ на збільшення втрат ХХ проявляється у вигляді ушкоджень ізоляції пластин сталі магнітопроводу, локальних ушкоджень в обмотках і погіршення властивостей трансформаторного масла. Збільшення втрат після капітальних ремонтів з розбиранням магнітопроводів обумовлено механічними впливами на електротехнічну сталь магнітопроводу, застосування електротехнічних сталей з гіршими магнітними характеристиками, проведення ремонту без заміни пошкоджених пластин і т.п.

При розробці математичної моделі експлуатаційної зміни втрат потужності в магнітопроводі СТ напругою 150 кВ використовувалися статистичні дані вимірювання втрат потужності в магнітопроводах СТ напругою 150 кВ ПАТ "ДТЕК Дніпрообленерго" і ВАТ "Запоріжжяобленерго". Зібрані дані охопили 48 СТ з діапазоном номінальних потужностей 25-63 МВА і термінами експлуатації від 3 до 39 років. В регресійній моделі за вихідний параметр приймалося перевищення виміряних втрат потужності ХХ над паспортними значеннями, %:

$$d\Delta P_{x.i} = \frac{(\Delta P_{x.изм.i} - \Delta P_{x.пасп.i})}{\Delta P_{x.пасп.i}} \cdot 100, \quad (9)$$

де $\Delta P_{x.изм.i}$, $\Delta P_{x.пасп.i}$ – виміряні та паспортні втрати потужності ХХ-го СТ, кВт.

На підставі наявних статистичних даних за основні чинники, що впливають на експлуатаційну зміну втрат потужності в магнітопроводі, попередньо обрані: $T_{\text{э}}$ – термін експлуатації СТ, років; $S_{\text{н}}$ – номінальна потужність СТ, кВА; $\Delta P_{x.пасп.i}$ – паспортні втрати потужності ХХ СТ, кВт. Для отримання залежності зміни втрат потужності в магнітопроводах розглядалося чотири варіанти регресійних математичних моделей. Нормальність розподілу підтверджена перевіркою за середнім абсолютним відхиленням та χ^2 -критерієм. Відповідно до порядку розробки математичної моделі перевірку значимості коефіцієнтів моделей здійснювали за t-критерієм Стьюдента, а адекватність моделей оцінювали за F-критерієм Фішера. Розроблені регресійні моделі та їх параметри, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 Однофакторні регресійні моделі зміни втрат потужності (%) в магнітопроводі СТ 150 кВ

Регресійна модель (%)	t_{a_0}	t_{a_1}	R^2	F	t_{α}	F_{α}
$d\Delta P_{x.i} = 12,52 + 0,64 \cdot T_{\text{э}i}$	3,38	4,15	0,27	17,16	2,01	4,05
$d\Delta P_{x.i} = 5,55 \cdot T_{\text{э}i}^{0,49}$	5,48	4,74	0,33	22,41		
$d\Delta P_{x.i} = 12,4 e^{0,029 \cdot T_{\text{э}i}}$	15,31	4,29	0,285	18,37		
$d\Delta P_{x.i} = 32,46 - \frac{86,82}{T_{\text{э}i}}$	14,49	3,59	0,22	12,88		

Отримана однофакторна регресійна модель, яку рекомендується використовувати для коригування паспортних втрат потужності в магнітопроводах трансформаторів напругою 150 кВ, що експлуатуються тривалий час

$$\Delta P_{x.150} = \Delta P_{x \text{ пасп.}} \cdot \left(1 + 5,55 \cdot \frac{T_{\text{э}i}^{0,49}}{100} \right), \quad (10)$$

а на рис. 3 зображено характер зміни втрат потужності в магнітопроводах СТ 150 кВ підчас експлуатації у відносних одиницях, які визначаються як:

$$\Delta P_{*x.150} = \frac{\Delta P_{x.150}}{\Delta P_{x \text{ пасп.}}} = 1 + 5,55 \cdot \frac{T_{\text{э}i}^{0,49}}{100}.$$

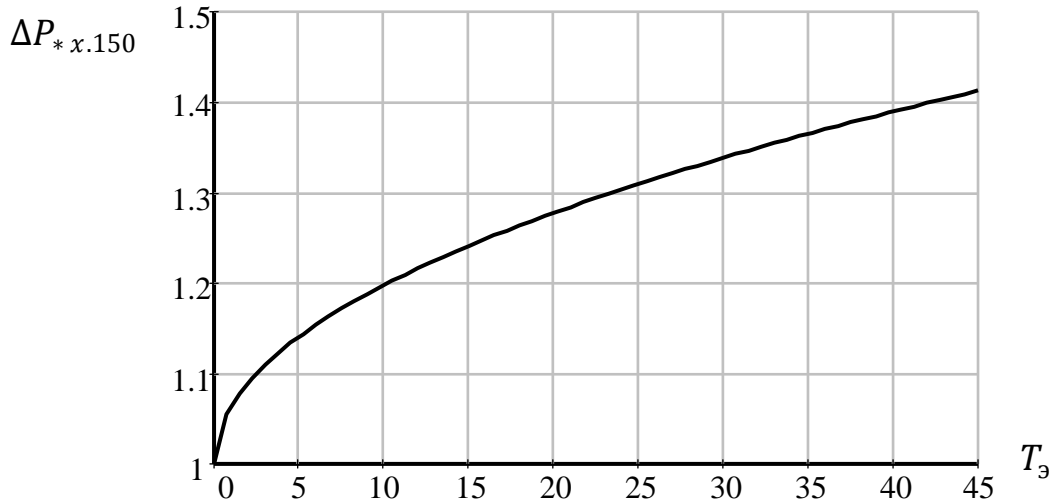


Рис.3. Характер зміни втрат потужності в магнітопроводах СТ 150 кВ підчас експлуатації

Для одержання й оцінки загальної картини зміни підчас експлуатації втрат ХХв СТ різних класів напруг, на додаток до отриманої математичної моделі для СТ напругою 150 кВ, розглянуті й оцінені математичні моделі зміни втрат потужності в магнітопроводі СТ із первинною напругою 10(6), 35 та 110 кВ. Дослідження наші та низки авторів показали, що крім зростання втрат ХХ з плином терміну служби ($\delta P_{x.э}$), іншою причиною збільшення втрат ХХ є капітальний ремонт трансформатора з расшіткою магнітопроводу ($\delta P_{x.рем}$), необхідність проведення якого спричиняється ушкодженням обмоток, магнітної системи або зношенням їхньої ізоляції:

$$\Delta P_{x.э.рем} = \Delta P_{x \text{ пасп.}} + \delta P_{x.э} + \delta P_{x.рем} \quad (11)$$

Виходячи з перерахованого вище, виведені скориговані паспортні втрати потужності в магнітопроводі для СТ 10(6)/0,4 кВ потужністю до 630 кВА після проведення капітального ремонту та з урахуванням терміну експлуатації:

$$\Delta P_{x.э.рем} = \Delta P_{x \text{ пасп.}} \cdot \left(1 + \frac{T_{\text{э}i}^{1,0935} - 25,32 + 82,2 \cdot S_{\text{тн}}^{-0,19}}{100} \right). \quad (12)$$

На рис. 4 показані залежності для коригування паспортних втрат потужності в магнітопроводі для СТ 10(6)/0,4 кВ потужністю до 630 кВА без проведення капітального ремонту (криві 1, 2) і після проведення капітального ремонту (криві 4, 5) з урахуванням терміну експлуатації у відносних одиницях.

В дисертації розроблено методику уточнення розрахунку втрат ХХ в СТ з тривалими термінами експлуатації та наявністю капітального ремонту з розбиранням магнітопроводу.

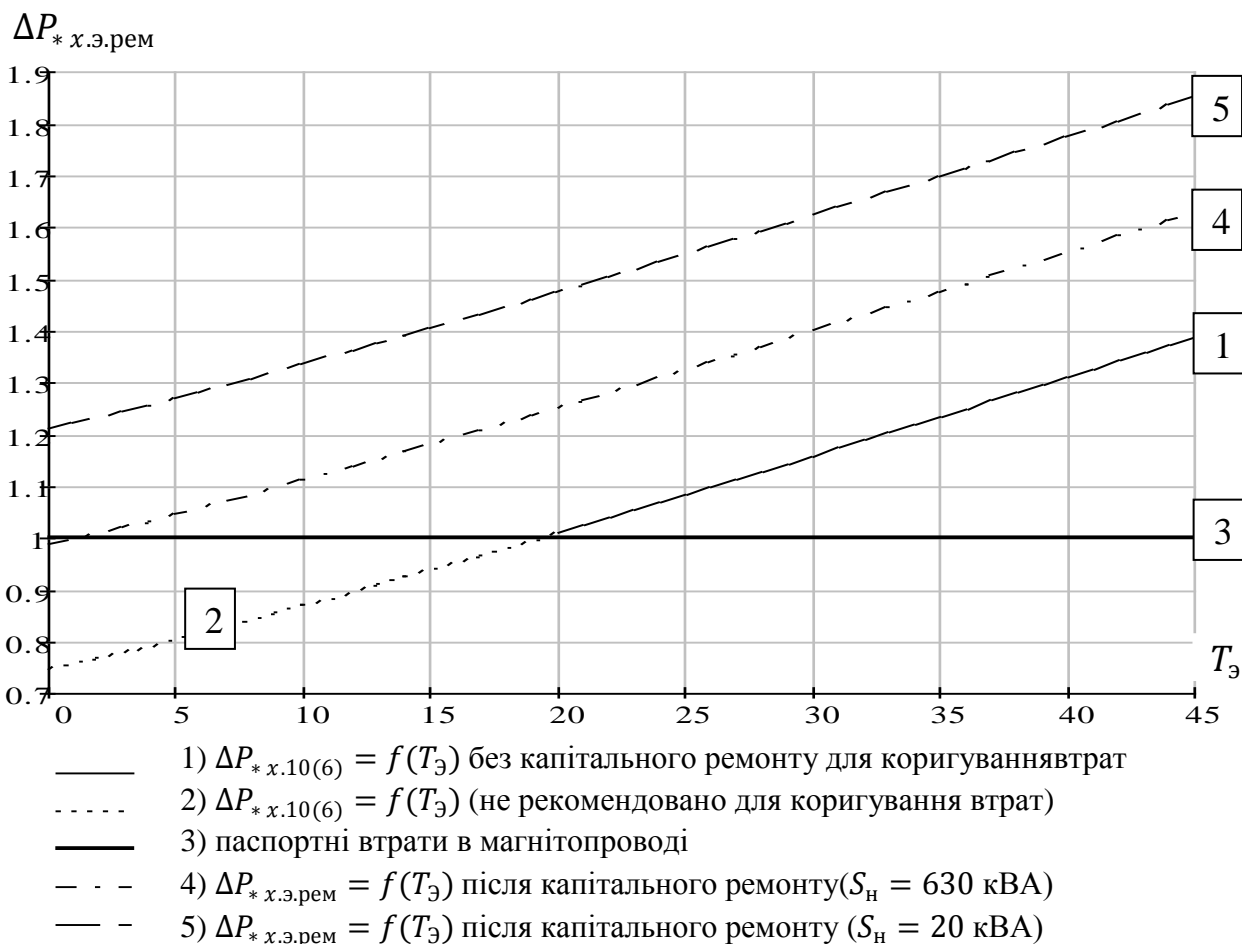


Рис.4.Характер зміни втрат потужності в магнітопроводах СТ 10 (6) кВ підчас експлуатації

У четвертому розділі представлені результати досліджень впливу критичних експлуатаційних режимів вимірювальних трансформаторів на формування комерційних втрат електроенергії. У загальному випадку комерційні втрати електроенергії включають такі складові, як втрати за рахунок експлуатаційної недостовірності вимірів ($\Delta W_{\text{НИ}}$); втрати зумовлені точністю вимірів ($\Delta W_{\text{ТИ}}$); втрати за рахунок прямих розкрадань ($\Delta W_{\text{ПХ}}$):

$$\Delta W_{\text{КОМ}} = \Delta W_{\text{НИ}} + \Delta W_{\text{ТИ}} + \Delta W_{\text{ПХ}}. \quad (13)$$

Основними технічними причинами формування комерційних втрат електроенергії при її передачі, слід вважати ненормативні умови роботи вимірювальних трансформаторів і приладів обліку електроенергії за рахунок їх недовантаження або перевантаження, відхилення умов експлуатації від нормативних, порушення схем підключення та пошкоджень.

Аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень похибок різних типів трансформаторів струму (ТС) дозволив зробити наступні висновки:

- в діапазоні зміни первинного струму від номінального значення від 1 до 20% струмова похибка має негативний знак і зі збільшенням первинного струму абсолютне значення струмової похибки зменшується;

- кількість електроенергії, що відпускається споживачам, через негативну струмову похибку ТС занижено порівняно з фактичною величиною, що і є одним з факторів, що впливають на рівень комерційних втрат.

Крім того, при короткому замиканні в мережі струм, що протікає через первинну обмотку ТС, характеризується великою кратністю, наявністю аперіодичної складової в кривій струму, що призводить до насичення магнітопроводу ТС з електротехнічної сталі, виходу його з класу точності та, відповідно, до наростання похибок протягом певного часу та після ліквідації короткого замикання, особливо в режимах малого (менше 20 % номінального) завантаження мереж (рис. 5).

Зменшення навантажень в деяких вузлах енергосистеми, а також зниження споживання електроенергії промисловістю сформувало умови роботи ТС в нелінійній частині характеристики намагнічування та призвело до виникнення негативної похибки у переважній більшості ТС та, відповідно, до комерційного недообліку спожитої енергії.

Перевантаження вимірювальних трансформаторів напруги (ТН) будь-яким способом (рис.6), а також невідповідність характеру вторинного навантаження нормативним параметрам, призводить до наростання похибки в негативній області та, відповідно, до недообліку електроенергії.

На метрологічні характеристики роботи вимірювальних ТН можуть також впливати виконання вимірювальних ТН та електромагнітні процеси в силових ланцюгах систем електропостачання, що непередбачені нормальним режимом їх роботи (наприклад, при однофазних замиканнях в силових мережах напругою 6-35 кВ, відключення яких у відповідності з ПУЕ не є обов'язковим).

У п'ятому розділі представлено матеріали практичного використання результатів досліджень і технічні розробки автора, що забезпечують зменшення втрат електроенергії в системах електропостачання.

На основі отриманих результатів запропоновано методичні рекомендації з уточнення розрахунку нормативних втрат потужності (електроенергії) в СЕП, динаміка яких обумовлена зміною технічних параметрів повітряних ЛЕП та СТ під час їх тривалої експлуатації, відповідно до яких уточнене значення сумарних втрат потужності в повітряних ЛЕП СЕП визначається виразом

$$\Delta P_{\Sigma \text{ВЛ}} = \sum_{i=1}^n \Delta P_{\text{экс}} = \sum_{i=1}^n \Delta P_{\text{ВЛ}_i} \cdot \Delta P_{*\text{ВЛ}_i} = \sum_{i=1}^n \Delta P_{\text{ВЛ}_i} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{\Delta d_{0i}}{d_{0i}} \cdot T_{\text{э}_i}\right)^2}, \quad (14)$$

а для СТ досліджуваної (контрольованої) СЕП з урахуванням часу їх експлуатації та можливих ремонтів значення сумарних втрат ХХ дорівнює

$$\Delta P_{\text{х.}\Sigma} = \Delta P'_{\text{х.}\Sigma} + \delta P''_{\text{х.}\Sigma} \quad (15)$$

або

$$\Delta P_{\text{х.}\Sigma} = (\Delta P_{\text{х.пасп.}i} + dP_{\text{х.}i}) + \Delta P_{\text{х.пасп.}j} (0,8 \dots 0,85) \cdot S_{\text{ТН.}j}^{-0,19}, \quad (16)$$

де $\Delta P_{*\text{ВЛ}}$ – відносні значення втрат потужності в повітряних лініях з урахуванням динаміки опору проводів ЛЕП від дії корозії; $\Delta P'_{\text{х.}i}$ – уточнені значення втрат ХХ з урахуванням терміну експлуатації; $\delta P''_{\text{х.}j}$ – приріст втрат ХХ для СТ, що пройшли капітальний ремонт з розбором магнітопроводу; $dP_{\text{х.}i}$ – приріст втрат ХХ СТ, що обумовлене експлуатаційним "старінням" магнітопроводу.

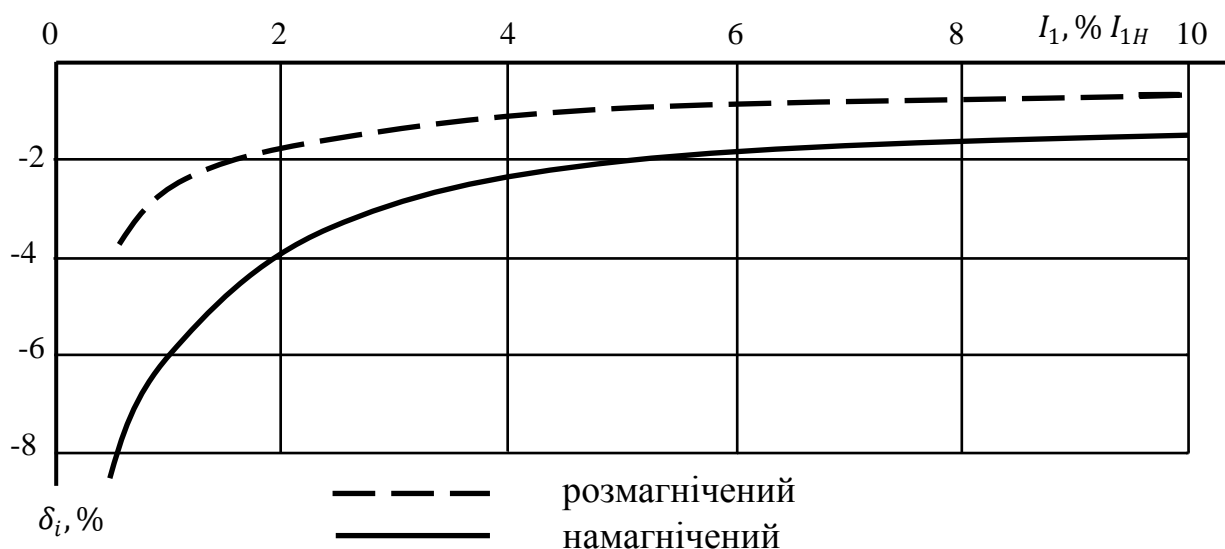


Рис. 5. Залежність струмової похибки ТС Т0П-0,66-100/5 від первинного струму та залишкового намагнічування

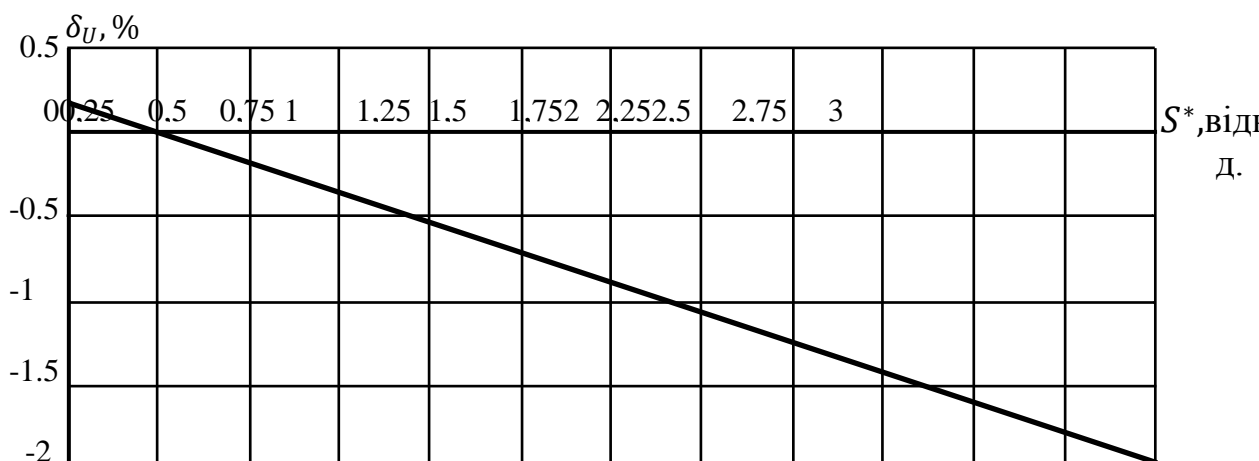


Рис. 6. Похибка ТН за напругою в залежності від вторинного навантаження

З безлічі причин що обумовлюють комерційні втрати електроенергії слід виділити ненормативні умови роботи вимірювальних ТС і ТН, а також лічильників електроенергії, підключення приймачів електроенергії в обхід електролічильників, шахрайство з приладами і системами обліку електроенергії. Однією зі значущих причин наявності та росту комерційних втрат слід вважати розкрадання електроенергії. Розроблено організаційні та технічні заходи і рекомендації щодо зменшення навантажувальних і комерційних втрат електроенергії і ресурсів у СЕП. Зокрема в рамках дисертації розроблено пристрій контролю обліку електроенергії, який дозволяє виключити безоблікове споживання електроенергії при несправності індукційних засобів обліку або навмисне втручання в їх роботу, а також забезпечити автоматичний контроль індукційних засобів обліку електроенергії, припинення та відновлення подачі електроенергії споживачу залежно від їх справності. Також розроблено пристрій охоронної сигналізації в електричних ме-

режах, яким забезпечується автоматизація системи вимірювання та точність визначення місця пошкодження ЛЕП при знятій робочій напрузі незалежно від відстані до місця пошкодження і за рахунок цього, виконання автоматичного контролю наявності проводу ЛЕП та своєчасне оповіщення про його вилучення (викрадення).

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі, що є завершеною науковою працею, в результаті теоретичних і експериментальних досліджень вирішена важлива наукова задача, яка полягає у встановленні динаміки та характеру зміни фізичних параметрів, що впливають на формування та рівень втрат електроенергії, в залежності від терміну та умов експлуатації, в основних елементах СЕП, що дозволяє підвищити ефективність електропостачання за рахунок зниження технічних і комерційних втрат електроенергії.

Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації дисертаційної роботи полягають в наступному:

1. В системах електропостачання при транспортуванні електроенергії технічні втрати доцільно представити як суму трьох складових втрат в лініях і обладнанні електричних мереж: втрат, що залежать від навантаження електричної мережі (навантажувальні втрати); втрат, що залежать від складу увімкненого обладнання (умовно-постійні втрати); втрат, що залежать від погодних умов (втрат на коронний розряд). При цьому тільки навантажувальні втрати в повітряних ЛЕП при інших рівних умовах змінюються протягом терміну експлуатації.

2. На величину втрат електроенергії в елементах СЕП впливає низка технічних і експлуатаційних факторів, в тому числі характеристики навантаження, стан і рівень зношення електротехнічного обладнання, термін та інтенсивність його експлуатації. Старіння і зношення елементів СЕП викликають додаткові втрати електричної енергії, що особливо характерно для електрообладнання, що знаходиться в експлуатації тривалий період і що пройшло капітальний ремонт.

3. Атмосферна корозія алюмінію проводів повітряних ЛЕП призводить до зменшення ефективного перерізу дротів алюмінієвої жили проводу і, відповідно, до збільшення значення поздовжнього активного опору ЛЕП та практично не впливає на значення реактивного опору ЛЕП. Встановлено закон зміни поздовжнього активного опору повітряних ЛЕП, відповідно до якого значення приросту активного опору проводів залежать від тривалості експлуатації повітряної ЛЕП, значень стандартних діаметрів дротів, що формують провід, і ступеня зміни діаметру дроту проводу від корозії за один рік (швидкості корозії).

4. Для умов України швидкість корозії для алюмінію слід приймати в діапазоні 1,75-3,5 мкм/рік. При цьому поздовжній активний опір фазних алюмінієвих проводів, що складаються з дротів мінімального стандартного діаметру (1,7 мм) за 30 років експлуатації може (при максимальній швидкості корозії) збільшитися на 30 %, а за 70 років - подвоїтися (100 %). Навантажувальні втрати в повітряних ЛЕП протягом терміну їх експлуатації змінюються за тим же законом, що і поздовжні активні опори.

5. Наростання терміну експлуатації силових трансформаторів веде до збільшення відмінності між паспортними та вимірними втратами потужності в магнітопроводах. На основі статистичних даних про результати вимірів втрат потужності холостого ходу розроблена регресійна математична модель зміни втрат потужності в магнітопроводі трансформаторів 150 кВ в залежності від терміну експлуатації.

6. Розроблено методику розрахунку нормативних втрат енергії в СЕП, яка враховує динаміку корозійних змін активного опору фазних проводів повітряних ЛЕП протягом терміну експлуатації і, відповідно, динаміку зміни навантажувальних втрат електроенергії в повітряних ЛЕП з урахуванням конструкції проводів повітряних ЛЕП і тривалості їхньої експлуатації.

7. Встановлено ступінь впливу терміну експлуатації та ремонту магнітопроводів силових трансформаторів на збільшення втрат холостого ходу і отримані аналітичні залежності для коригування значень втрат потужності в магнітопроводах трансформаторів, що експлуатуються тривалий час. Показано, що динаміка зміни втрат потужності холостого ходу трансформатора протягом терміну їх експлуатації характеризується приростом, значення якого залежить від тривалості експлуатації і конструктивних особливостей.

8. Встановлено, що на якісні показники вимірювальних ТС і формування негативної похибки суттєво впливає їх робота в нелінійній частині характеристики намагнічування в умовах зниження споживання та передачі електроенергії, а також залишкове намагнічування ТС з магнітопроводом з електротехнічної сталі, особливо в області малих первинних струмів, від дії струмів короткого замикання при пошкодженнях в СЕП.

9. До наростання похибки в негативній області роботи вимірювальних ТН і, відповідно, до недообліку електроенергії крім їх перевантаження будь-яким способом та невідповідності характеру вторинного навантаження нормативним параметрам, також призводять електромагнітні процеси в силових колах СЕП, наприклад, однофазні замикання в силових мережах.

10. Розроблено організаційні і технічні заходи, а також рекомендації щодо зменшення навантажувальних і комерційних втрат електроенергії і ресурсів у системах електропостачання. Запропоновані пристрої контролю обліку електроенергії та охоронної сигналізації в електричних мережах, які дозволяють зменшити рівень комерційних втрат електроенергії.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Шкрабец Ф.П. Влияние критических эксплуатационных режимов работы трансформаторов на погрешность измерительных и информационных систем / Ф.П. Шкрабец, П.Ю. Красовский, Е.А. Вареник // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, 2005. – №11. – С. 307 – 310.

2. Krasovskiy P. Operating dynamics of parameters and technical losses in the components of power supply systems / P. Krasovskiy, D. Tsyplenkov, O. Nesterova // Energy Efficiency I-

improvement of Geotechnical Systems, Taylor & Francis Group, London, UK. – 2013. – С. 113-119.

3. Красовский П.Ю. Классификация и расчет технологических потерь электроэнергии в распределительных сетях / П.Ю. Красовский // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2004. – Вип. 73. – С. 23 – 28.

4. Красовський П.Ю. Фактори, що впливають на динаміку технічних втрат в трансформаторах / П.Ю. Красовський // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2005. – Вип. 75. – С. 52-55.

5. Красовський П.Ю. Фактори, що впливають на динаміку технічних втрат в лініях електропередач / П.Ю. Красовський // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2006. – Вип. 76. – С. 33-37.

6. Красовский П.Ю. Погрешность информационно-измерительных систем и влияющие на них факторы / П.Ю. Красовский // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2006. – Вип. 77. – С. 54-57.

7. Шкрабець Ф.П. Класифікація і структура втрат електроенергії / Ф.П. Шкрабець, Ю.В. Куваєв, Д.В. Циценков, П.Ю. Красовський // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Вип. 3(32). – 2005. – С. 122-124.

8. Шкрабець Ф.П. Влияние коррозии алюминия на электрические параметры ЛЭП / Ф.П. Шкрабець, П.Ю. Красовський // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2007. – Вип. 79. – С. 36 – 39.

9. Красовский П.Ю. Эксплуатационная динамика параметров и технико-экономические потери в силовых трансформаторах / П.Ю. Красовский // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2012. – Вип. 89. – С. 20-23.

10. Пат. на винахід 84472 Україна, МПК G01R 21/133, G01R 19/25. Пристрій контролю споживання електроенергії на ділянці мережі. / Шкрабець Ф.П., Вишня В.Б., Мирошніченко В.О., Красовський П.Ю.; заявники та патентовласники Держ. вищ. навч. закл "Нац. гірн. ун-т" та Дніпропетр. держ. ун-т внутр. справ. – № а200613112; Заявл. 11.12.2006; Опубл. 27.10.2008. Бюл. № 20.

11. Пат. на винахід 79846 Україна, МПК G01R 11/24, G01R 21/133. Пристрій контролю обліку електроенергії. / Шкрабець Ф.П., Вишня В.Б., Мирошніченко В.О., Красовський П.Ю.; заявник та патентовласник Держ. вищ. навч. закл "Нац. гірн. ун-т". – № а200507318; Заявл. 22.07.2005; Опубл. 25.07.2007. Бюл. № 11.

12. Шкрабець Ф.П. Влияние коррозии на электрические и механические параметры линии электропередач / Ф.П. Шкрабець, А.Н. Гребенюк, П.Ю. Красовский // Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств: VI міжнар. наук.-техн. конф. EPQ 2008 (21-23 травня 2008 р., м. Маріуполь) : зб. праць. / М-во освіти і науки України, Приазов. держ. техн. ун-т. – Маріуполь, 2008. – С. 201-203.

13. Остапчук А.В. Устройство контроля хищений электроэнергии / А.В. Остапчук, П.Ю. Красовский // Электрификация железнодорожного транспорта ТРАНСЭЛЕКТРО-2007: Тезисы I междунар. науч.-практ. конф. (03-06 окт. 2007 г., п. Мисхор): тез. докл. / Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – С. 51.

14. Красовский П.Ю. Складові втрат електроенергії в елементах систем електропостачання / П.Ю. Красовский // Электрифікація залізничного транспорту ТРАНСЕЛЕКТРО-2008: матеріали II міжнарод. науч.-практ. конф. (30.09-04.10 2008 г., п. Мисхор): тез. докл. / Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – С. 42.

15. Красовський П.Ю. Складові втрат електроенергії в елементах систем електропостачання / П.Ю. Красовський // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – Вип. 27. – 2009. – С. 77 – 80.

16. Шкрабець Ф.П. Аналіз впливу параметрів повітряних ЛЕП на технічні втрати при транспортуванні електроенергії / Ф.П. Шкрабець, П.Ю. Красовський // Вісник Чернігівського державного технологічного університету (Серія „Технічні науки”). – 2013. – №2(65). – С. 173 – 178.

Особистий внесок дисертанта в роботах, що опубліковані в співавторстві.

У публікаціях, в яких відображено основні результати дисертації і які написані в співавторстві, автору належить: в [1] – обґрунтування впливу особливих режимів вимірювальних трансформаторів на формування комерційних втрат; [2], [8], [12] – оцінка швидкості корозії алюмінію як матеріалу проводів повітряних ЛЕП та результати досліджень динаміки в часі електричного опору ЛЕП від швидкості корозії та конструкції проводів; [7] – порівняльна оцінка і структуризація втрат енергії в системах електропостачання; [10], [11], [13] – розробка функціональних та принципових схем пристроїв контролю споживання та обліку електроенергії; [16] – аналіз структури технологічних втрат в залежності від терміну експлуатації повітряних ЛЕП.

Анотація

Красовський П.Ю. Експлуатаційна динаміка втрат електричної енергії в елементах систем електропостачання. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – "Електротехнічні комплекси та системи". – ДВНЗ "Національний гірничий університет", Дніпропетровськ, 2014.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню наукової задачі встановлення динаміки та характеру зміни фізичних параметрів, що впливають на формування та рівень втрат електроенергії, в залежності від терміну та умов експлуатації, в основних елементах систем електропостачання.

Виконано аналіз формування та характеру зміни втрат у системах електропостачання. Показано, що на величину втрат електроенергії в елементах системи електропостачання впливає ряд технічних і експлуатаційних факторів, у тому числі старіння та зношення елементів систем електропостачання. Встановлено залежність динаміки значень активних втрат потужності в повітряних лініях електропередачі від часу їх експлуатації та швидкості корозії алюмінієвих проводів з урахуванням їх початкових фізичних характеристик; ступінь впливу терміну експлуатації та ремонту магнітопроводів силових трансформаторів на збільшення втрат холостого ходу й отримано аналітичні залежності для коригування значень втрат потужності в магнітопроводах силових трансформаторів, що експлуатують-

ся тривалий час. Виконано дослідження впливу критичних експлуатаційних режимів вимірювальних трансформаторів і електромагнітних процесів в силових колах на формування комерційних втрат електроенергії.

Ключові слова: експлуатаційна динаміка навантажувальних і комерційних втрат електроенергії, повітряні ЛЕП, силові трансформатори, похибки і критичні режими вимірювальних трансформаторів.

Аннотація

Красовський П.Ю. Эксплуатационная динамика потерь электрической энергии в элементах систем электроснабжения. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – "Электротехнические комплексы и системы". – ГВУЗ "Национальный горный университет", Днепропетровск, 2014.

Диссертационная работа посвящена решению научной задачи установления динамики и характера изменения физических параметров, влияющих на формирование и уровень потерь электроэнергии, в зависимости от срока и условий эксплуатации, в основных элементах систем электроснабжения.

Выполнен анализ формирования и характера изменения потерь в системах электроснабжения при транспортировке электроэнергии и показано, что только нагрузочные потери в воздушных ЛЭП и потери мощности холостого хода в силовых трансформаторах при прочих равных условиях изменяются в течение срока эксплуатации; выделены основные технические причины обуславливающие уровень коммерческих потерь.

Показано, что на величину потерь электроэнергии в элементах системы электроснабжения влияет ряд технических и эксплуатационных факторов, в том числе характеристики нагрузки, состояние и уровень износа электротехнического оборудования, срок и интенсивность его эксплуатации. Старение и износ элементов систем электроснабжения вызывают дополнительные потери электрической энергии, что особенно характерно для электрооборудования находящегося в эксплуатации продолжительный период и прошедшего капитальный ремонт.

Установлены зависимость динамики значений активных потерь мощности в воздушных линиях электропередачи от времени их эксплуатации и скорости коррозии алюминиевых проводов с учетом их начальных физических характеристик; степень влияния срока эксплуатации и ремонта магнитопроводов силовых трансформаторов на увеличение потерь холостого хода и получены аналитические зависимости для корректировки значений потерь мощности в магнитопроводах длительно эксплуатирующихся силовых трансформаторов.

Выполнены исследования влияния критических эксплуатационных режимов измерительных трансформаторов на формирование коммерческих потерь электроэнергии; доказано, что на качественные показатели работы измерительных трансформаторов и формирование отрицательной погрешности и, соответственно, недоучет электроэнергии влияют, кроме их перегрузки любым способом и несоответствия характера вторичной нагрузки нормативным параметрам, также электромагнитные процессы в силовых цепях систем электроснабжения.

Предложены методические рекомендации по уточнению расчета нормативных потерь мощности (электроэнергии) в системах электроснабжения, динамика которых обусловлена изменением технических параметров воздушных ЛЭП и силовых трансформаторов в процессе длительной их эксплуатации.

Разработаны:

- организационные и технические мероприятия и рекомендаций по уменьшению нагрузочных и коммерческих потерь электроэнергии в системах электроснабжения;

- устройство контроля учета электроэнергии, которое позволяет исключить безучетное потребление электроэнергии при неисправности индукционных средств учета или намеренное вмешательство в их работу, а также обеспечить автоматический контроль индукционных средств учета электроэнергии, прекращение и возобновление подачи электроэнергии потребителю в зависимости от их исправности;

- устройство охранительной сигнализации в электрических сетях, которым обеспечивается автоматизация системы измерения и точность определения места повреждения линии электропередач при снятом рабочем напряжении независимо от расстояния до места повреждения и за счет этого, выполнение автоматического контроля наличия провода ЛЭП и своевременное оповещение о его изъятии.

Ключевые слова: эксплуатационная динамика нагрузочных и коммерческих потерь электроэнергии, воздушные ЛЭП, силовые трансформаторы, погрешности и критические режимы измерительных трансформаторов.

Abstract

KrasovskiiPavlo. Operational dynamics of electric energy losses in the elements of power supply systems. – On the right of manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.09.03 – "Electrotechnical complexes and systems". – State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnipropetrovsk, 2014.

The thesis reveals the solution of scientific task of determining the physical parameters dynamics and changes that influence the formation and the level of energy losses in the basic elements of power supply systems, depending on the exploitation term and conditions.

The analysis of the formation and changes of energy losses in power supply systems is executed. It is shown that a number of technical and operational factors affect the amount of energy losses in power supply system elements, including the ageing and deterioration of the elements.

It has been determined the dependence of the dynamics of the active power losses value in overhead transmission lines on the exploitation term and the corrosion rate of aluminum aerial conductors in accordance with their initial physical characteristics; the level of influence of the exploitation term and the power transformers magnetic cores rework service on increasing the no-load losses. The analytical dependences for correcting the power losses in magnetic cores of long operated power transformers have been deduced. The researches of the impact of the

instrument transformers critical operating conditions and electromagnetic processes in power circuits on the formation of commercial losses of electricity have been completed.

Keywords:operational dynamics of the loading and commercial losses of electricity,overhead transmission lines, power transformers, accuracy and critical conditions of the instrument transformers.

КРАСОВСЬКИЙ Павло Юрійович

**ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ДИНАМІКА ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ
В ЕЛЕМЕНТАХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

(Автореферат)

Підписано до друку 09.09.2014 р. Формат 60x90/16.

Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.

Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 екз. Зам. №197

Віддруковано в "Поліграфцентрі" ФО-П Кучугурний Ю.М.,
свідоцтво про державну реєстрацію №2 224 000 0000 073863,
м. Дніпропетровськ, вул. Леніна, 11, 49000,
Тел.: (056) 735-50-08.